



**Evaluación de la calidad y composición de los lodos y aguas de las
fuentes termales Aguas Hediondas y El Artesón, y propuesta de Plan de
Manejo**

Barrera Cornejo, Samantha Lizeth y Barrera Flores, Jazmin Susana

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Geógrafo y
del Medio Ambiente

Ing. Guevara García, Paulina Valeria. PhD.

10 de enero de 2022

Document Information

Analyzed document	BARRERA_S_BARRERA_J_TESIS.docx (D122319271)
Submitted	2021-12-14T01:39:00.0000000
Submitted by	COOD
Submitter email	process.complete@edu.ec
Similarity	1%
Analysis address	admin@analysis.arkund.com



Finalizado el 14/12/2021 por:
PAULINA VALERIA
GUEVARA GARCIA

Sources included in the report

W	URL: https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1977/CARACTERIZACION%20DE%20AGUAS%20TERMALES%20MEDIANTE%20AN%C3%81LISIS%20FISICOQU%C3%8DMICO.pdf?sequence=1&isAllowed=y5 Fetched: 2021-12-14T01:41:00.0000000	 3
W	URL: http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/11894/T-ESPE-053318.pdf?sequence=1&isAllowed=yHoldridge Fetched: 2021-12-14T01:41:00.0000000	 8
W	URL: https://ebuah.uah.es/xmlui/bitstream/handle/10017/37209/TFG-Miguel-Mu%C3%B1oz-2016.pdf?sequence=1&isAllowed=yNeira Fetched: 2021-12-14T01:41:00.0000000	 1
W	URL: http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/31376/articulo3.pdf?sequence=1&isAllowed=yAlbuja Fetched: 2021-12-14T01:41:00.0000000	 1
SA	plan de marketing.docx Document plan de marketing.docx (D14457303)	 2
SA	Tesis Luis Simbaina FINAL JULIO.docx Document Tesis Luis Simbaina FINAL JULIO.docx (D110403129)	 2
W	URL: https://oeis.org/A001222 Fetched: 2021-12-14T01:41:00.0000000	 1
SA	TESIS JESSICA COMPLETA.docx Document TESIS JESSICA COMPLETA.docx (D16849712)	 2



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación: “**Evaluación de la calidad y composición de los lodos y aguas de las fuentes termales Aguas Hediondas y El Artesón, y propuesta de Plan de Manejo**” fue realizado por las señoritas **Barrera Cornejo, Samantha Lizeth y Barrera Flores, Jazmin Susana**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 10 de enero del 2022

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**PAULINA VALERIA
GUEVARA GARCIA**

Ing. Guevara García, Paulina Valeria. PhD.

C. C.: 1712021110



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotras, Barrera Cornejo, Samantha Lizeth y Barrera Flores, Jazmin Susana con cédulas de ciudadanía 1718801226 y 1722220843, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Evaluación de la calidad y composición de los lodos y aguas de las fuentes termales Aguas Hediondas y El Artesón, y propuesta de Plan de Manejo** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 10 de enero del 2022

Samantha Lizeth Barrera Cornejo

C.C.: 1718801226

Jazmin Susana Barrera Flores

C.C.: 1722220843



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotras, **Barrera Cornejo, Samantha Lizeth** y **Barrera Flores, Jazmín Susana** con cédulas de ciudadanía 1718801226 y 1722220843, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Evaluación de la calidad y composición de los lodos y aguas de las fuentes termales Aguas Hediondas y El Artesón, y propuesta de Plan de Manejo** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Sangolqui, 10 de enero del 2022

Samantha Lizeth Barrera Cornejo

C.C.: 1718801226

Jazmín Susana Barrera Flores

C.C.: 1722220843

Dedicatoria

Este trabajo de tesis está dedicado a mis padres, por su infinito ayuda, confianza y comprensión, porque sin ustedes no sería la persona que soy hoy en día, me formaron y llenaron de sabiduría para afrontar todo lo que se presente, y a mi hermana querida por su paciencia, amistad sincera y apoyo incondicional, por ser la mujer fuerte y llena de amor que siempre ha estado ahí.

Sin ustedes no lo hubiese logrado

Los amo

Samantha Barrera

A Dios por cada día iluminar mi camino y darme fuerza, por las bendiciones que me regala cada día. Mi familia que me ha apoyado durante toda mi vida, aun cuando quise rendirme ellos estuvieron ahí para sacarme adelante, mis padres, sin ellos nunca lo hubiera logrado, sin su amor y sacrificios, por su lucha para brindarnos un futuro mejor, mis hermanos que con su ejemplo cada día me inspiran a ser mejor. Mi hogar, mi pilar fundamental para seguir adelante cada día, los amo.

A todos aquellos que estuvieron presentes a lo largo de toda mi carrera académica, amigos con los que compartí grandes momentos, siempre los llevare conmigo, docentes quienes me formaron como profesional en conocimientos y valores, a todos los que ya no están, pero en su momento aportaron su granito de arena para consolidar este logro.

A todos aquellos que se encuentran en la lucha no se rindan, persigan sus sueños, y si eso implique iniciar de nuevo, háganlo, sin miedo.

Jazmin Barrera

Agradecimiento

A Dios por haberme dado todo, familia, amigos y la capacidad de cumplir mis metas. Si estoy aquí hoy es gracias a él y a su infinita sabiduría.

A mi familia por ser la principal promotora de mis sueños, gracias a su apoyo y confianza es que estoy aquí hoy en día. Madre mía yo te agradezco por todo, me diste la vida, me apoyaste y me diste las alas para ser la persona que soy, sin ti nada de esto hubiese sido posible. A mi papa, por desear siempre lo mejor para mí, gracias por tus consejos y tu paciencia. A mi hermana, valiente y decidida que me ha inspirado para ser mejor cada día, y a mi abuelito, que Dios lo tenga en su gloria, por quererme, enseñarme y encaminarme por el camino correcto.

A Vero, Anita, Jazz, Mabe, Emilio, Nico, Pollito y a quienes me falten por nombrar, por ser como son y convertirse en mis amigos, gracias por los buenos momentos que hemos compartido, y gracias por formar parte de mi vida.

A mi tutora, Ing. Paulina Guevara PhD, por su paciencia, apoyo y entrega a este trabajo de titulación, porque sin sus conocimientos y guías no podríamos haberlo logrado.

A la carrera de ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente por todo lo que esta me enseñó, fueron buenos y malos momentos que contribuyeron a ser la persona que hoy en día soy.

Al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Tulcán, en especial al Ingeniero Danny Burbano, jefe del Departamento de Avalúos y Catastro, por su gestión, apoyo y los recursos que supo brindarnos para llevar a cabo el presente proyecto.

Samantha Barrera

Agradecimiento

A mis padres por todo el apoyo y motivación en cada etapa de mi vida, que sin falta estuvieron presentes en la realización de este trabajo haciéndolo posible, esto es para ustedes. Gracias por su infinito amor y paciencia, por su preocupación en mí, pido que me alcance la vida para poder regresarles, aunque se aun poco de lo mucho que me han dado, gracias a mi familia que es mi refugio en mis días más oscuros, mis hermanos que con su respaldo y cariño me dan fuerzas para seguir adelante, a mi abuelita que siempre cuida de nosotros, haciendo de este mundo un lugar más agradable.

A mis amigos Pipe, Cucuy, Sami, Pollito por volverse los compañeros incondicionales en cada trabajo. A Verito, Anita, Moralitos, Apolito, Nico por mostrarme siempre una amistad sincera. A mis amigos de toda la vida Vivi, Chino, Leo, Ari por siempre estar a mi lado apoyándome y a todos aquellos amigos que estuvieron presentes a lo largo de esta aventura, alegrando los momentos difíciles,

A la Ing. Guevara García, Paulina Valeria. PhD. Nuestra querida tutora, a quien agradezco inmensamente su apoyo y compromiso con la realización de este trabajo, nunca terminaremos de agradecerle su guía y ejemplo como persona, tiene nuestra completa admiración.

Al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Tulcán, en especial al Ing. Danny Hernández, quien nos apoyó en todo lo que estuvo a su alcance y quien nos motivó a la realización de este trabajo. A la Prefectura del Carchi y al Gobierno Autónomo Descentralizado de Tufiño quienes nos brindaron la información cuando se solicitó de forma oportuna y eficiente.

A Dios por permitirme cumplir esta meta, por su compañía en los días pasados y los venideros.

Jazmin Barrera

Índice de Contenido

Carátula	1
Urkund	2
Certificación	¡Error! Marcador no definido.
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
RESUMEN	24
ABSTRACT	25
CAPITULO I	26
Antecedentes.....	26
Estudios relacionados	28
Planteamiento del problema	28
Justificación e importancia	30
Descripción del área de estudio.....	31
Objetivos	32
Objetivo General.....	32
Objetivos Específicos	32
Metas	33

	10
CAPITULO II	34
MARCO TEÓRICO	34
Base teórica	34
Índice de calidad del agua	34
Evaluación de la calidad de los lodos y suelos	34
Factor de enriquecimiento (EF).....	36
Índice de geo acumulación (Igeo).....	36
Riesgo ecológico potencial (RI)	37
Base conceptual.....	38
Agua Termal	38
Agua Mineral	38
Agua Mineromedicinal.....	39
Origen de las Aguas Termales.....	39
Clasificación de las Aguas Termales	40
Según su origen	40
Origen exógeno	40
Origen endógeno.....	40
Origen Magmático	41
Origen Telúrico	41
Según su temperatura.....	41
Según su composición química.....	42

	11
Agua Sulfatada	42
Agua Clorurada	42
Agua Bicarbonatada	42
Aguas Sulfuradas	43
Marco Geológico del Ecuador	43
Aguas termales en el Ecuador	44
Aguas termales en Tufiño	44
Composición química del agua subterránea.....	45
Calidad del Agua	45
Elementos traza.....	46
Lodos o Fangos	46
Planes de Manejo Ambiental	46
Plan de prevención y mitigación de impactos.....	47
Plan de contingencias	47
Plan de capacitación	47
Plan de manejo de desechos.....	47
Plan de Seguridad y Salud ocupacional	47
Plan de relaciones comunitarias	48
Plan de rehabilitación de áreas afectadas.....	48
Plan de abandono y entrega del área.....	48
Plan de monitoreo y seguimiento.....	48

	12
Proyecto Socio Bosque.....	48
Matriz Conesa - Fernández	49
Turismo Sostenible.....	50
Ecoturismo.....	51
Ortomosaico	51
Base legal.....	51
Constitución de la República del Ecuador	51
Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua	52
NTE INEN 2929: Establecimientos Balnearios.....	52
NTE INEN 2226:2013: AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. DISEÑO DE LOS PROGRAMAS DE MUESTREO	53
NTE INEN 2169:2013: Agua. Calidad del agua. Muestreo	53
NTE INEN 2176:2013: AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO	53
Código Orgánico del Ambiente	53
Reglamento Al Código Orgánico del Ambiente: Año III – N° 507	54
Ley de Turismo.....	54
CAPITULO III.....	55
METODOLOGÍA	55
Área de Estudio.....	56
Reconocimiento del área de estudio.....	56

	13
Identificación de los puntos de muestreo	57
Recopilación de Información.....	59
Recopilación de Información bibliográfica	59
Levantamiento de información con vehículo UAV.....	60
Generación de los ortomosaicos	61
Muestreo y análisis en laboratorio	63
Toma de muestras de agua y sedimentos.....	63
Almacenamiento y transporte de muestras	65
Medición de los parámetros in situ	65
Aguas.....	65
Sedimentos.....	66
Medición del caudal de las fuentes termales.....	67
Determinación de los parámetros físico – químicos.....	68
Resultados	70
Generación de la cartografía base de la zona de estudio.....	70
Determinación de la calidad del agua.....	71
Determinación de la calidad de los lodos (Igeo, EF, RI)	72
Propuesta de Plan de Manejo.....	72
Levantamiento de información de línea base	72
Cálculo del impacto ambiental de tipo analítico – cuantitativo.....	74
Elaboración de la propuesta del Plan de Manejo	74
CAPITULO IV.....	76

RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	76
Ortomosaicos generados de la zona de estudio	76
Cartografía base de la zona de estudio.....	79
Parámetros físico – químicos de los lodos y aguas termales.....	82
Composición iónica de los lodos y aguas termales.....	84
Caudal de las fuentes termales.....	89
Comparación de las muestras tomadas en Aguas Hediondas con estudios previos.....	90
Determinación de la calidad del agua	93
Determinación de la calidad de los lodos.....	94
Factor de enriquecimiento.....	94
Índice de geo acumulación	96
Riesgo ecológico potencial	97
CAPITULO V.....	100
DIAGNÓSTICO AMBIENTAL – LÍNEA BASE.....	100
Aspectos Generales	100
Ubicación del proyecto en el área de estudio.....	100
Caracterización del Medio Físico.....	101
Clima.....	101
Temperatura	102
Precipitación	102

Geología	104
Pendiente.....	105
Hidrología	107
Suelos.....	108
Tipos de suelos	108
Capacidad de Uso del Suelo.....	110
Uso y Cobertura del Suelo	111
Conflictos de uso de Suelo	113
Riesgos Naturales	114
Caracterización del Medio Biótico	116
Flora.....	116
Zonas de Vida	116
Bosque húmedo Montano Bajo (b.h.M.B.).....	117
Bosque muy húmedo Montano (b.m.h.M.)	118
Bosque pluvial Sub Alpino (b.p.S.A.)	119
Ecosistemas	119
Arbustal siempreverde y Herbazal del Páramo	119
Bosque siempreverde del Páramo.....	119
Bosque siempreverde montano alto de Cordillera Occidental de los Andes.....	120
Herbazal inundable del Páramo.....	121
Herbazal y Arbustal siempreverde subnival del Páramo.....	122
Rosetal caulescente y Herbazal del Páramo (frailejones).....	122

Fauna.....	124
Aves.....	124
Mamíferos.....	126
Herpetofauna.....	128
Caracterización del Medio Socioeconómico y cultural.....	129
Población de la parroquia	129
Distribución de la población por edad.....	131
Grupos étnicos	132
Pobreza y Pobreza Extrema	133
Cobertura de Servicios Básicos	133
Educación.....	134
Salud.....	136
Trabajo y Empleo	136
Población económicamente activa e inactiva	136
Actividades económicas.....	137
Vialidad y Transporte	138
Servicios de Transporte	138
Transporte Urbano e Intercantonal.....	139
Redes viales	139
Atractivos Turísticos	141
Lagunas Verdes	141
Volcán Chiles.....	141

Complejo Turístico “Aguas Hediondas”	142
Aguas Termales “El Artesón”	142
IDENTIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES	143
Planificación	143
Análisis medioambiental inicial	143
Aspectos ambientales	144
Valoración de los Impactos ambientales	146
Objetivos y programas de manejo medioambiental	153
Presupuesto para la implementación de los planes de manejo ambiental	172
CAPITULO VI.....	174
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	174
Conclusiones	174
Recomendaciones.....	176
Referencias Bibliográficas.....	178
Anexos	187

Índice de Tablas

Tabla 1 Proyectos relacionados	28
Tabla 2 Descripción de la calidad de suelos y sedimentos de acuerdo con el Igeo	37
Tabla 3 Descripción del Riesgo Ecológico.....	38
Tabla 4 Clasificación de las aguas termales según su temperatura	42
Tabla 5 Modelo de valoración de importancia del impacto usado por Conesa Fernández	49
Tabla 6 Modelo de valoración de importancia del impacto usado por Conesa Fernández	50
Tabla 7 Puntos de muestreo con la aplicación móvil.....	58
Tabla 8 Información bibliográfica recopilada	59
Tabla 9 Características del vehículo UAV	61
Tabla 10 Puntos de muestreo finales en los ortomosaicos	63
Tabla 11 Metodología utilizada para el análisis de los parámetros en muestras de agua.....	68
Tabla 12 Metodología utilizada para el análisis de los parámetros en muestras de suelos.	70
Tabla 13 Información bibliográfica recopilada	73
Tabla 14 Información geoespacial recopilada	73
Tabla 15 Características de los ortomosaicos de la zona	78
Tabla 16 Parámetros físicos de las muestras de aguas termales.....	82
Tabla 17 Parámetros físicos de las muestras de lodos termales.....	83
Tabla 18 Composición iónica de las muestras de aguas presentadas en mg/L.....	84

Tabla 19 Composición iónica de las muestras de lodos en mg/kg.	87
Tabla 20 Caudal de las termas de estudio en m ³ /s	89
Tabla 21 Comparación de la composición iónica de las muestras de aguas tomadas con estudios previos.	90
Tabla 22 Índice de calidad del agua en cada punto muestreado.....	93
Tabla 23 Factor de enriquecimiento en las muestras de suelo.....	95
Tabla 24 Índice de geo acumulación en las muestras de suelo.....	96
Tabla 25 Factor de riesgo ecológico individual en las muestras de suelo.....	98
Tabla 26 Índice de riesgo ecológico en las muestras de suelo.....	99
Tabla 27 Especies vegetales registradas en el área de estudio	117
Tabla 27 Especies de aves registradas en el área de estudio.....	124
Tabla 28 Especies de mamíferos registradas en el área de estudio	127
Tabla 29 Especies de anfibios registrados en el área de estudio	128
Tabla 30 Especies de reptiles registrados en el área de estudio.....	129
Tabla 31 Establecimientos Educativos de la Parroquia Tufiño	135
Tabla 32 Aspectos e impactos ambientales procedentes del uso de las termas El Artesón.....	144
Tabla 33 Aspectos e impactos ambientales procedentes del uso del complejo turístico Aguas Hediondas.....	145
Tabla 34 Evaluación de los aspectos e impactos ambientales de las termas El Artesón.....	147
Tabla 35 Evaluación de los aspectos e impactos ambientales del complejo turístico Aguas Hediondas.....	149

Tabla 36 Plan de prevención y mitigación de impactos en El Artesón	154
Tabla 37 Plan de manejo de desechos en El Artesón.....	156
Tabla 38 Plan de comunicación, capacitación y educación ambiental en El Artesón	158
Tabla 39 Plan de contingencias en El Artesón	159
Tabla 40 Plan de monitoreo y seguimiento en El Artesón.....	161
Tabla 41 Plan de rehabilitación de áreas contaminadas en El Artesón.....	162
Tabla 42 Plan de prevención y mitigación de impactos en el complejo turístico “Aguas Hediondas”	163
Tabla 43 Plan de manejo de desechos en el complejo turístico “Aguas Hediondas”	165
Tabla 44 Plan de comunicación, capacitación y educación ambiental en el complejo turístico “Aguas Hediondas”	167
Tabla 45 Plan de contingencias en el complejo turístico “Aguas Hediondas”	168
Tabla 46 Plan de monitoreo y seguimiento en el complejo turístico “Aguas Hediondas”	170
Tabla 47 Plan de rehabilitación de áreas contaminadas en El Artesón.....	171
Tabla 48 Presupuesto para la implementación de los planes de manejo en El Artesón	172
Tabla 49 Presupuesto para la implementación de los planes de manejo en el complejo turístico “Aguas Hediondas”	173

Índice de Figuras

Figura 1 Mapa de la Zona de estudio en la parroquia Tufiño	32
Figura 2 Origen de las Aguas Termales	40
Figura 3 Esquema de la metodología empleada en el proyecto.....	56
Figura 4 Problemática presente en las Termas “El Artesón”	57
Figura 5 Levantamiento de información con el vehículo UAV.	60
Figura 6 Selección de las imágenes mediante el software Pix4D	61
Figura 7 Procesamiento de las imágenes mediante el software Pix4D.....	62
Figura 8 Determinación de las coordenadas finales de los puntos de muestreo en los ortomosaicos	62
Figura 9 Toma de muestras de agua en cada una de las fuentes termales	64
Figura 10 Toma de muestras de sedimentos en cada una de las fuentes termales.....	64
Figura 11 Etiquetado, almacenamiento y transporte de las muestras.....	65
Figura 12 Toma de parámetros in situ de las muestras de agua.....	66
Figura 13 Toma de parámetros in situ de las muestras de sedimentos	67
Figura 14 Medición del caudal de las fuentes termales de estudio	68
Figura 15 Creación de los elementos dentro de la zona de estudio.....	71
Figura 16 Mapa del ortomosaico en las Aguas Termales El Artesón.....	76
Figura 17 Mapa del ortomosaico en el complejo termal Aguas Hediondas	77
Figura 18 Mapa de cartografía base en las Aguas Termales El Artesón	80
Figura 19 Mapa de cartografía base en el complejo termal Aguas Hediondas.....	81
Figura 20 Mapa de la Zona de estudio en la parroquia Tufiño	100
Figura 21 Mapa de tipos de climas de la zona de estudio en la parroquia Tufiño	101

Figura 22 Variación de las Temperaturas: Media, Mínima y Máxima del período 2014 - 2020	102
Figura 23 Mapa de Isoyetas Medias Anuales de la serie histórica 1981 - 2010... ..	103
Figura 24 Precipitación media mensual de las termas de estudio del período 2014 - 2020.....	104
Figura 25 Mapa geológico de la zona de estudio en la parroquia Tufiño	105
Figura 26 Mapa de pendientes de la zona de estudio en la parroquia Tufiño.....	106
Figura 27 Mapa de Unidades Hidrográficas de la zona de estudio en la parroquia Tufiño.....	107
Figura 28 Mapa de los suelos de la zona de estudio en la parroquia Tufiño	109
Figura 29 Mapa de Texturas de suelos de la zona de estudio en la parroquia Tufiño	110
Figura 30 Mapa de la Capacidad de uso de suelos de la zona de estudio en Tufiño	111
Figura 31 Mapa de Uso del Suelo de la zona de estudio en la parroquia Tufiño..	112
Figura 32 Mapa del Conflicto de Uso del Suelo de la zona de estudio en la parroquia Tufiño	114
Figura 33 Mapa del Riesgos Naturales de la zona de estudio en la parroquia Tufiño	115
Figura 34 Mapa de Zonas de Vida en la Parroquia Tufiño	117
Figura 35 Mapa de Ecosistemas de la Parroquia Tufiño	123
Figura 36 Crecimiento de la población desde el censo 1990 al 2010 de la Parroquia Tufiño.....	130

Figura 37 Tasa crecimiento de la población desde el censo de 1990 al 2010 de la Parroquia Tufiño.....	131
Figura 38 Pirámide poblacional de la Parroquia Tufiño	132
Figura 39 Grupos étnicos de la Parroquia Tufiño.....	132
Figura 40 Nivel de pobreza y pobreza extrema de la Parroquia Tufiño	133
Figura 41 Cobertura de servicios básicos de la Parroquia Tufiño	134
Figura 42 Nivel de Educación por barrios de la Parroquia Tufiño	135
Figura 43 Nivel de Educación por barrios de la Parroquia Tufiño	136
Figura 44 Población en económicamente activa e inactiva de la Parroquia Tufiño	137
Figura 45 Actividades económicas de la PEA de la Parroquia Tufiño.....	138
Figura 46 Medios de transporte de la Parroquia Tufiño.....	139
Figura 47 Mapa de Redes Viales de la Parroquia Tufiño	140
Figura 48 Lagunas verdes de la Parroquia Tufiño	141
Figura 49 Volcán Chiles de la Parroquia Tufiño.....	141
Figura 50 Complejo Turístico “Aguas Hediondas” de la Parroquia Tufiño	142
Figura 51 Aguas Termales “El Artesón” de la Parroquia Tufiño	143

RESUMEN

Evaluar los lodos y fuentes de agua pertenecientes a complejos termales es necesario para conocer los efectos que podría derivarse de la exposición a estas fuentes bajo ciertas condiciones. El complejo turístico Aguas Hediondas y El Artesón proceden del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro cuyas aguas denotan una gran concentración de elementos traza debido al olor que emana de cada una ellas. Por tanto, a través de una caracterización físico química la presente investigación tiene como objetivo determinar la composición de los lodos y aguas de las fuentes termales de manera que se pueda identificar la calidad y posibles usos que se puedan dar a estos recursos, mismos que serán utilizados para generar programas de manejo implementados en una propuesta de plan de manejo. Se procedió a recopilar información bibliográfica y geográfica de la zona de estudio. Posteriormente, se recolectaron las muestras de agua y lodos en los puntos identificados acorde a la normativa vigente y finalmente se elaboró la propuesta de plan de manejo mediante la aplicación del método de valoración de Vicente Conesa. Se evidenció que existe una gran concentración de elementos traza en estas aguas, especialmente de bicarbonato en El Artesón y de sulfato en Aguas Hediondas, lo que indica que no son aptas para consumo. Además, los lodos muestreados indican una abundancia de arsénico y cadmio lo que indican que no son aptos para el uso dermatológico, cosmetológico y terapéutico. Por último, se halló que los impactos ambientales encontrados fueron en su mayoría moderados, por lo que se elaboraron propuestas de planes de manejo que servirán para contrarrestar la problemática existente.

Palabras clave:

- **FUENTES TERMALES**
- **COMPOSICIÓN FÍSICO QUÍMICA**
- **CALIDAD Y USOS**
- **PROPUESTA DE PLAN DE MANEJO**
- **ELEMENTOS TRAZA**

ABSTRACT

Evaluating slurs and water sources belonging to thermal complexes is necessary to know the effects that could be derived from exposure to these sources under certain conditions. The tourist complex Aguas Hediondas and El Artesón come from the volcanic complex Chiles – Cerro Negro whose waters denote a high concentration of trace elements due to the smell that emanates from each one of them. Therefore, through a physical and chemical characterization of this research aims to determine the composition of sleds and waters of hot springs so that the quality and possible uses that can be given to these resources can be identified, which will be used to generate management programs implemented in a management plan proposal. We proceeded to collect bibliographic and geographical information of the study area. Subsequently, the water and slurs samples were collected at the points identified in accordance with current regulations and finally the proposal for management plan through the application of Vicente Conesa's valuation method. It was evidenced that there is a large concentration of trace elements in these waters, especially bicarbonate in El Artesón and sulfate in Aguas Hediondas, which indicates that they are not suitable for consumption. In addition, the sampled sleds indicate an abundance of arsenic and cadmium indicating that they are not suitable for dermatological, cosmetological and therapeutic. Finally, it was found that the environmental impacts found were mostly moderate, so proposals for management plans were drawn up that will serve to counteract the existing problems.

Key words:

- **HOT SPRINGS**
- **PHYSICAL AND CHEMICAL COMPOSITION**
- **QUALITY AND USES**
- **MANAGEMENT PLAN PROPORSAL**
- **PROPOSAL FOR MANAGEMENT PLAN**

CAPITULO I

Antecedentes

Antiguamente las aguas minerales y termales ya eran aprovechadas por diferentes culturas y civilizaciones (Barberá, Abrisqueta, & Navarro, 2018). Un siglo atrás, el investigador (Wolf, 1892) habló sobre la riqueza de estas aguas en el Ecuador, especialmente en las regiones andina e interandina. Así pues, consecuencia del gran número de complejos volcánicos que posee el país, en el territorio se han documentado 167 manantiales de aguas termales y minerales, de los cuales se desprenden varias fuentes termales, que han sido sometidas a procesos geodinámicos y termodinámicos a muy altas temperaturas y con un alto grado de mineralización (Paladines, 2011).

De ahí que las aguas termales posean ciertas características físico - químicas como temperatura, conductividad, dureza, pH, aniones y cationes dominantes, que, condicionadas por el recorrido subterráneo, profundidad, el tiempo, los compuestos minerales y la variedad de rocas del subsuelo por las que pasan las aguas (Quinche & Velastegui, 2014), junto con diversos factores como la precipitación, los minerales, climáticos, antrópicos, topográficos y más (Güler, Thyne, McCray, & Turner, 2002), determinen las propiedades de cada una y las relaciones que poseen entre los tipos de aguas (Benítez, Mostue, & López, 2015).

Gran parte de las aguas termominerales resultan del ciclo hidrológico natural, estas pueden encontrarse en tránsito y renovación por décadas e inclusive milenios, se le añade el resto de aguas de origen endógeno (aguas juveniles) no renovables (Baeza, López, Fernández, Rubio, & Sánchez, 2001). Los recursos hidrominerales están relacionados con la composición físico-química y el tipo de uso que se le da, permitiendo que en ocasiones las aguas procedentes de una misma captación puedan tener dos o tres aplicaciones distintas, como es el caso de las aguas de Tufiño, donde se aprovechan en la industria balnearia, terapéutica y como agua de bebida por los pobladores de la ciudad (Carrera & Guevara, 2016).

Sánchez et al (2010) en su estudio de “Caracterización fisicoquímica preliminar de fuentes de aguas minerales de Colombia” presentó la caracterización de un conjunto de muestras obtenidas in situ de la localidad de Santa Rosa y San Vicente el cual le permitió obtener información sobre la calidad del agua para compararla con las normas nacionales e internacionales de los recursos hidrotermales colombianos.

Por otra parte, Vargas (2015) en su trabajo “Caracterización hidrogeológica de las cuencas de los Ríos Jequetepeque – Chamán” realizó la caracterización hidrológica, y definió las características químicas de las principales fuentes de agua, con lo que planteo varias propuestas de uso y preservación del recurso.

Atiaga (2004), en su trabajo “Geoquímica de los manantiales termales de las zonas de Tufiño, Chachimbiro y Papallacta, Ecuador”, realizó la composición química e isotópica de los manantiales termales de las zonas de estudio mediante la toma de muestras y datos químicos del Modelo Geotérmicos de Áreas Volcánicas del Ecuador, concluyendo el carácter geoquímico, composición y características de los mismos.

La mayoría de los efectos benéficos que tienen se relacionan con su composición, por tanto, el baño en aguas termales hoy en día es considerado una alternativa de salud, que se ha enfocado mayoritariamente a aquellas personas que buscan alternativas en la medicina natural, con el fin de superar sus dolencias en medio de un ambiente estimulante, con climas libres de contaminación y ecosistemas naturales (Palacios, Busto, & Espinosa, 2015)

En consecuencia, el empleo de estos recursos a nivel mundial para consumo de aguas minerales naturales envasadas o para uso medicinal debido a sus propiedades terapéuticas. Asimismo, los lodos medicinales, también conocidos como peloides, al ser mezclas primarias o secundarias de materiales arcillosos con aguas termo-minerales saladas, obtienen propiedades terapéuticas, medicinales e

inclusive estéticas, que adquieren debido a sus propiedades físicas, como la capacidad de absorción/adsorción, de intercambio de cationes, la saturación del agua, y más (Díaz, et al., 2013).

Estudios relacionados

Los proyectos mencionados en la Tabla 1, servirán como referencia para la elaboración del presente trabajo de investigación.

Tabla 1

Proyectos relacionados

<i>Autores</i>	<i>Tema</i>	<i>Año de Publicación</i>
Carrera, David; Guevara, Paulina	Fuentes termales del Ecuador.	2016
Atiaga Franco, Oliva Lucía	Geoquímica de los Manantiales Termales en las zonas de Tufiño, Chachimbiro y Papallacta, Ecuador	2004
Paladines, Agustín	Aguas termales, minerales y naturales de manantial en el Ecuador.	2011
González, Tannya; Viteri, María	Análisis del Proceso de Gestión Ambiental del Parador Ecoturístico "Termales de las Nieves Puertas del Cielo" de la Parroquia Guapán, Cantón Azogues.	2013
Tipanta, Santiago	Estudio de la calidad ambiental de las aguas termales del balneario "El Tingo"	2018

Planteamiento del problema

El Ecuador es un país privilegiado debido a la presencia de aguas termales y minerales localizadas mayoritariamente en el callejón Interandino. Aunque el país cuenta con una gran cantidad y variedad de estos yacimientos que se cree poseen propiedades medicinales curativas, existe un total desconocimiento sobre la composición química de los fluidos hidrotermales que emergen a la superficie (Muñoz V. d., 2016). Y es que, debido a la procedencia de estas aguas, y a la

interacción agua-roca que sufre durante su recorrido, los elementos trazas constituyen parte de su composición, convirtiéndose en un serio problema debido a la toxicidad y las repercusiones fisiológicas que podrían generar tanto en los seres humanos como en la flora y fauna de su entorno.

El uso de las aguas y los recursos termales son conocidos desde hace ya varios años atrás, sin embargo, los efectos negativos que podría ocasionar la exposición a estas fuentes bajo ciertas condiciones son ignorados en muchos casos. Los estudios del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, han analizado únicamente los parámetros físico-químicos básicos, que proporcionaron una idea del estado del recurso, pero no identificando los elementos tóxicos presentes en los mismos, además se ha ignorado los peligros de los componentes que podrían hallarse en estas aguas debido a su composición y se ha dejado al azar el aprovechamiento que se le pueda dar a los lodos y aguas termales presentes en la zona de estudio. (IG-EPN, 2014).

A raíz de esto, se planteó el presente proyecto de investigación, que parte de la necesidad de la población de Tufiño de generar un aprovechamiento de los lodos y aguas provenientes del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro que serán aprovechadas por visitantes y la comuna La Esperanza para uso turístico, medicinal y personal, requiriendo para ello de información sobre su calidad y composición, por lo que para satisfacer la necesidad planteada se consideró importante determinar la composición físico - química de los lodos y aguas, con el fin de establecer los componentes principales y el uso que se puede dar a estos recursos, en función de índices de riesgos ecológicos, de tal manera que se pueda generar una propuesta de plan de manejo para su aprovechamiento, uso y gestión de manera eficiente y responsable, obteniendo además información base de los recursos existentes en la zona de estudio mediante el uso de herramientas SIG.

Justificación e importancia

A lo largo y ancho del Ecuador existen varias fuentes termales, producto de la gran cantidad de manifestaciones volcánicas que en él se encuentran, como es el caso de las Aguas Hediondas y El Artesón ubicadas en el complejo volcánico Chiles-Cerro Negro, de ahí que posea ciertas características físico-químicas determinadas por las condiciones a las que fueron sometidas las aguas.

Hoy en día las fuentes de aguas termales benefician a diversas comunidades en el mundo, debido a sus características terapéuticas y recreacionales. Además, brindan agua potable (envasada), para uso doméstico y agrícola (Moreno C. , Díaz, Caraballo, Chacón, & Baptista, 2007). En el país existen zonas donde el agua subterránea es el único recurso accesible para abastecer a poblaciones o para la irrigación de cultivos, además, constituye un recurso esencial para la seguridad alimentaria y a la vez, es vital para el funcionamiento de los ecosistemas (Burbano, Becerra, & Pasquel, 2014).

Debido al peligro que trae consigo la presencia de metales y elementos tóxicos como arsénico, boro, mercurio, entre otros en aguas provenientes de complejos volcánicos, es indispensable que se realice un estudio de los acuíferos volcánicos a través del análisis de sus componentes, que podrían resultar perjudiciales para las comunidades que usan este recurso. Es por ello que este estudio generará información precisa que facilitará a las autoridades la toma de decisiones sobre el mejor aprovechamiento del recurso.

De modo que, previo a que se realice cualquier intervención por parte de los pobladores de la zona que buscan darle usos recreativos y medicinales a las aguas y lodos provenientes de estas termas, este trabajo busca determinar una línea base sobre los componentes químicos presentes, a través de un análisis físico – químico de manera que se conozcan las características y composición de los lodos y aguas del complejo Aguas Hediondas y El Artesón, con el fin de que se pueda definir un plan de manejo apropiado que sirva a los comuneros como guía para su

aprovechamiento, uso y gestión de manera eficiente y responsable del recurso hídrico y lodos en beneficio terapéutico.

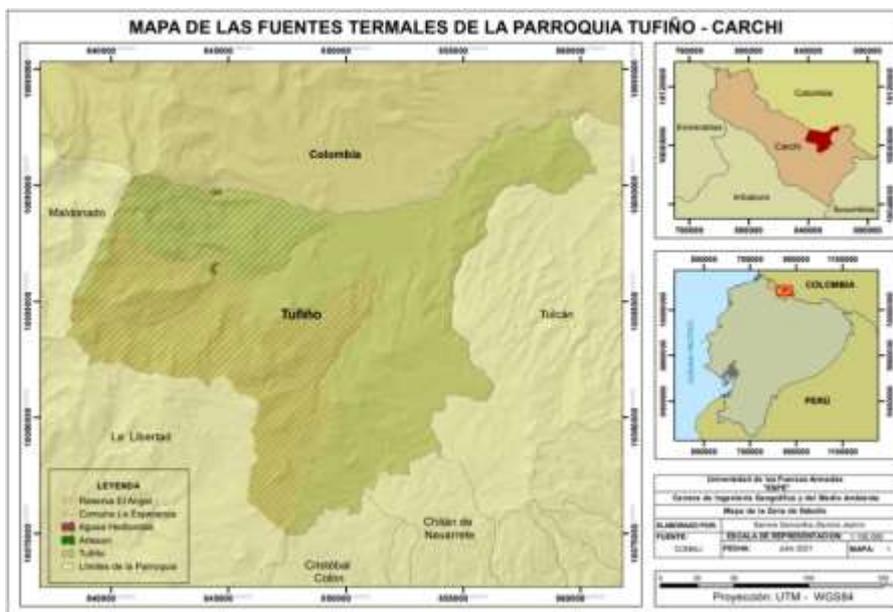
Descripción del área de estudio

Al noroeste de la parroquia Tufiño, se encuentra parte del territorio perteneciente a la Comuna La Esperanza, el mismo que abarca dos complejos termales importantes para la zona: El Complejo Turístico “Aguas Hediondas” perteneciente al Gobierno Autónomo Descentralizado De La Provincia Del Carchi se ubica a 3 km del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro en el límite con Colombia, y un poco mas al sur, al norte de la Reserva Ecológica El Ángel, se encuentran las fuentes Termales “El Artesón” pertenecientes a la comuna La Esperanza, ambos complejos caracterizados porque sus aguas subterráneas provienen del volcán Chiles.

Para acceder al complejo Aguas Hediondas existe una vía de tipo lastrada por la cual pueden circular todo tipo de vehículos, además sus instalaciones cuentan con piscinas, baños, parqueaderos y zonas donde se puede realizar senderismo. Por otro lado, se accede a las termas El Artesón a pie por un camino de verano, además debido a conflictos por la ubicación del balneario cuenta con instalaciones incompletas como es el caso de los vestidores y baños.

Figura 1

Mapa de la Zona de estudio en la parroquia Tufiño



Objetivos

Objetivo General

Evaluar la calidad y composición de los lodos y aguas de las fuentes termales Aguas Hediondas y El Artesón provenientes del complejo volcánico Chiles - Cerro Negro, mediante una caracterización físico – química, con el fin de plantear propuestas de aprovechamiento que se plasmaran en un plan de manejo.

Objetivos Específicos

- Recolectar información del complejo volcánico Chile – Cerro Negro, mediante un levantamiento con vehículo UAV, para la generación de cartografía base de la zona de estudio.
- Determinar los parámetros físico - químicos en las aguas termales Aguas Hediondas y El Artesón del complejo volcánico Chiles-Cerro Negro, mediante la toma y análisis de muestras, de manera que se logre identificar la calidad y cantidad de las aguas termales comparando con valores de normativas vigentes.

- Conocer la calidad de los lodos de las fuentes Aguas Hediondas y El Artesón del complejo volcánico Chiles-Cerro Negro, mediante el uso de índices de riesgo ecológico (RI), factor de enriquecimiento (EF) e índice de geo acumulación (Igeo), con el fin de identificar los usos adecuados del recurso.
- Generar una propuesta de plan de manejo de los lodos y aguas de las fuentes termales Aguas Hediondas y El Artesón provenientes del complejo volcánico Chiles-Cerro Negro, plasmado en un plan de manejo donde se incorporará información recolectada in situ, bibliográfica y de línea base, con el fin de apoyar a la comunidad en el manejo de estos recursos

Metas

- Dos mapas de la cartográfica base y dos ortomosaicos de la zona de estudio a escala en función del área.
- Una base de datos de los resultados del análisis físico - químico de los lodos de las dos fuentes termales y evaluación de los índices de riesgo ecológico y de contaminación.
- Propuesta de plan de manejo ambiental de las termas y uso de los lodos en relación con los resultados de análisis de calidad de agua y sedimentos.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

Base teórica

Índice de calidad del agua

Es la caracterización física, química y biológica, que define la composición de una muestra de agua. Desde muchos puntos de vista se creen que la concentración de una sustancia específica causará un impacto identificable en función de las variables que presenta. En una investigación de calidad el número de variables se suelen combinar los valores de diferentes parámetros, tomando en cuenta la concentración e importancia de cada uno de ellos. “La calidad de las aguas superficiales se ha determinado empleando el Índice Simplificado de Calidad del Aguas (ISQA), que es un número adimensional el cual permite operar con pocos parámetros analíticos (Bustamante, et al., 2002).

$$ISQA = T * (DQO + SS + OD + Cond.) \quad (1)$$

Donde T es la temperatura en °C, DQO es la demanda química de oxígeno expresada en mg/l, SS son los sólidos suspendidos en mg/l, OD es el oxígeno disuelto en mg/l y Cond es la conductividad eléctrica expresada en $\mu S/cm$ (Bustamante, et al., 2002).

Evaluación de la calidad de los lodos y suelos

La presencia de metales como Fe y Mn en las aguas subterráneas en forma soluble es alto, pero el principal problema que presentan es al momento de entrar en contacto con el oxígeno del aire donde precipitan formando óxidos de coloración pardo oscura (McFarland & Dozier, 2001).

Los metales divalentes liberados al agua intersticial por la reducción de los oxihidróxicos de Fe y Mn logran desplazar al Fe en los monosulfuros de hierro

(FeS) formando sulfuros metálicos no solubles según la reacción (2), esto puede tomar minutos o hasta horas. (Di Toro D. , et al., 1990; Di Toro D. , et al., 1992):

Al ocurrir esto, se ve reducida significativamente la movilidad, toxicidad y biodisponibilidad en los metales divalentes. Mediante el modelo AVS se puede predecir si en el sedimento la concentración de sulfuros volátiles en medio ácido es superior al sumatorio de los metales divalentes extraídos con disoluciones ácidas débiles, el sistema no presentará toxicidad para los macroinvertebrados.

Inicialmente esta idea fue expuesta por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) con objeto de valorar la toxicidad, biodisponibilidad y calidad de los metales que se encuentran en los sedimentos (EPA, 1991).

Este indicador de la toxicidad potencial del sedimento en función de la disponibilidad de sulfuros, es medido como sulfuros ácidos volátiles (AVS) que se encargan de mantener los metales divalentes, precipitados y que son extraídos simultáneamente en el proceso con HCl y se los denomina (SEM), el conjunto de AVS - SEM forma de sulfuros metálicos que se encuentran en los sedimentos estabilizando los posibles metales tóxicos (Guevara, 2020).

El alto contenido de H_2S en el agua termal puede provocar una adsorción a los oxihidróxicos de Fe y Mn , en condiciones óxicas, o la coprecipitación con los sulfuros de Fe puede atenuar la movilidad de los metales divalentes, la cuestión es conocer que puede en las aguas termales en las cuales los oxihidróxicos de Fe y Mn se han reducido (por los menos las formas menos cristalinas) y no han iniciado la sulfato-reducción. Trabajos recientes apuntan que son estas condiciones las que permiten una mayor movilización de metales traza divalentes (Carignan & Nriagu, 1985).

En relación con el contenido de metales en los suelos y sedimentos se puede evaluar la influencia geológica y antropogénica de los metales asociados,

para lo cual se evaluarán varios índices que indicarán los posibles riesgos ecológicos asociados a los mismos tales como factor de enriquecimiento (EF), Índice de geo acumulación (I_{geo}), entre otros que se consideren convenientes.

Factor de enriquecimiento (EF)

Este factor es utilizado con el fin de cuantificar el nivel de influencias antropogénicas por influencia de polución de metales pesados presentes en los sedimentos, (Buat-Menard & Chesselet, 1979) empleado ampliamente en estudios e investigaciones de metales pesados presentes (Ding, Ye, Yuan, & Krauss, 2018; Zhuang, 2014; Zhu, Liu, Xu, & Xie, 2017):

$$EF = \frac{(Me/Fe)}{(Me/Fe)_{fondo}} \quad (3)$$

Donde (Me/Fe) es la concentración del metal y hierro en la muestra, y $(Me/Fe)_{fondo}$ es la concentración del metal y hierro de background.

Al y Fe son elementos de referencia de uso común para compensar las fluctuaciones en el tamaño y composición del grano, ya que representa la cantidad de aluminosilicatos, que es la fase portadora predominante para los elementos adsorbidos en los sedimentos costeros (Chatterjee, et al., 2007).

Índice de geo acumulación (I_{geo})

El índice de geo acumulación fue introducido originalmente por (Muller, 1969), para revelar la contaminación por metales pesados considerando el efecto litológico, con lo que se incluyó dentro de la concentración de fondo (B_n) el factor 1.5. Los valores del índice de geo acumulación (I_{geo}) se definen como:

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5B_n} \right) \quad (4)$$

Donde C_n es la concentración de un metal (n) y B_n es la concentración de fondo geoquímico del mismo metal. Los valores de fondo son lo que se utilizan para

el EF (Tabla 2). El rango de Igeo va de la clase 0 (Igeo ≤ 0, no contaminado) a 6 (Igeo > 5, extremadamente contaminado) según lo definido por (Muller, 1969). El Igeo considera tanto la influencia de las actividades humanas en el medio ambiente como los factores que pueden causar cambios en el valor de fondo debido a la diagénesis natural (Ding, Ye, Yuan, & Krauss, 2018)

Tabla 2

Descripción de la calidad de suelos y sedimentos de acuerdo con el Igeo

I geo	Categoría	Descripción de la calidad de los sedimentos o suelos
>5	6	Extremadamente contaminado
4-5	5	Fuertemente a extremadamente contaminado
3-4	4	Fuertemente contaminado
2-3	3	Moderadamente a fuertemente contaminado
1-2	2	Moderadamente contaminado
0-1	1	No contaminado a moderadamente contaminado
<0	0	No contaminado

Fuente: (Muller, 1969)

Riesgo ecológico potencial (RI)

Hakanson (1980) desarrolló una técnica con el cual se podría valorar los riesgos ecológicos por contaminación de metales pesados presentes en sedimentos comúnmente utilizados (Yang, Hu, Yu, He, & Lin, 2016). Las fórmulas de cálculo son las siguientes:

$$RI = \sum E_r^i \quad (5)$$

$$E_r^i = T_r^i \times C_f^i \quad (6)$$

$$C_f^i = C_0^i \times C_n^i \quad (7)$$

Donde E_r^i es el posible factor de riesgo ecológico de un elemento (i), y T_r^i es el factor de "respuesta tóxica" a la contaminación de un elemento (i). En este trabajo, los valores de T_r^i se tomarán como Cu=Pb=5, As=10, Hg=40; Cr=2; Cd=30; Ag=1. (Zhuang, 2014; Yang, Hu, Yu, He, & Lin, 2016). C_f^i es el factor de contaminación individual del elemento (i), C_0^i es la concentración medida del elemento (i) en los sedimentos, y C_n^i es la concentración de fondo del elemento (i) en la zona de estudio.

Tabla 3

Descripción del Riesgo Ecológico

RI	Descripción del riesgo
< 75	Bajo
75-150	Moderado
150-300	Considerable
≥300	Muy alto

Fuente: (Zhuang, 2014; Yang, Hu, Yu, He, & Lin, 2016)

Base conceptual

Agua Termal

Estas emergen a la superficie con una temperatura de al menos 5°C mayor a la de la superficial; este recurso hídrico proviene de las capas subterráneas, son ricas en diferentes componentes minerales brindándole propiedades terapéuticas a dichas aguas (Malca, 2015).

Agua Mineral

Se denominan aguas minerales, a aquel recurso hídrico que se compone químicamente por altas concentraciones de ciertos iones (Σ iones > 1000 mg/L). Es importante destacar que estas pueden presentarse tanto calientes como frías. Las

termominerales, se denominan como termales y a su vez como minerales (Terán, 2016).

Agua Mineromedicinal

Son aquellas que, gracias a su composición y características que presentan, podrían ser utilizadas con propósitos terapéuticos. Estos efectos benéficos guardan relación con las cualidades físicas, químicas y biológicas que adquiere el agua al momento de emerger. Al momento de envasarlas para la conservación de las mismas se produce una pérdida o variación de dichas propiedades medicinales (Terán, 2016).

Por ello, el aprovechamiento de las mismas se debe llevar a cabo en las cercanías del punto de nacimiento para asegurar su eficacia (Terán, 2016).

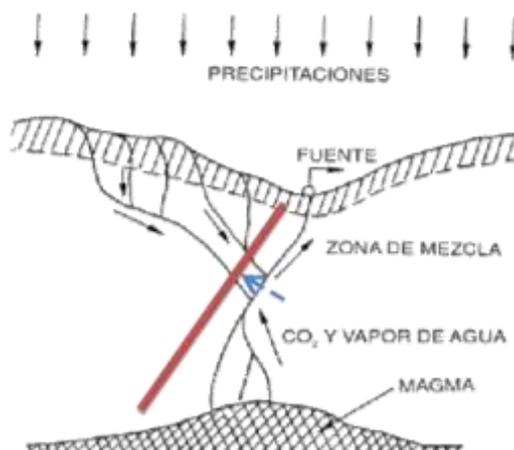
Origen de las Aguas Termales

El origen de estas aguas deriva especialmente de la infiltración por gravedad de su precipitación, combinados con la variedad de componentes minerales, temperatura y al recorrido subterráneo que realizan antes de emerger (Burbano, Becerra, & Pasquel, 2014).

Según Muñoz (1949) el origen de las aguas termominerales puede darse debido a la infiltración de lluvia y aguas superficiales (ríos, lagos, torrentes), a zonas de vulcanismo reciente donde se producen o a la mezcla de ambos.

Figura 2

Origen de las Aguas Termales



Fuente: (Martinez, Duarte, & Maestre, 2014)

Clasificación de las Aguas Termales

Su categorización podría determinarse considerando el origen, temperatura y concentración de aniones y cationes a manera de factor determinante para su composición química (Burbano, Becerra, & Pasquel, 2014).

Según su origen

Origen exógeno

La fuente principal de sales disueltas es el lavado de terrenos, por los cuales circulan las aguas subterráneas; el agua al entrar en contacto con los terrenos por los cuales transita, disuelve y arrastra consigo minerales de las rocas, el potencial físico-químico aumenta con la profundidad por aumento de temperatura, presión y el tiempo de contacto (Terán, 2016).

Origen endógeno

El vapor de agua producido en las zonas profundas de la corteza terrestre por fenómenos magmáticos y volcánicos lleva consigo elementos, que tienen como

consecuencia un conjunto de interacciones físicas, químicas y biológicas con el medio, provocando que pueda sufrir modificaciones drásticas en sus elementos como cloruros, bromo, yodo, sulfato y sulfuro de hidrógeno, entre otros, que pueden estar incluidos en la misma (Ortiz, 2019).

Origen Magmático

Su particularidad está en que su composición química no depende de la roca de donde han salido, presentan componentes minerales propias, contenido de sales, temperatura y características hidrológicas. Se crean por una relación directa entre filones metálicos o eruptivos, caracterizada por presentar temperaturas elevadas (Tipanta , 2018).

Origen Telúrico

Proceden de el afianzamiento de lavas y del vapor de agua de origen volcánico, la humedad destilada de las rocas, junto a la expulsión del vapor de agua de las capas profundas y el vapor de agua emitido va acompañado de gas carbónico, ácido fluorhídrico y dióxido de azufre (Terán, 2016).

Según su temperatura

Esta clasificación depende de la depresión de su nacimiento, de modo que la temperatura aumenta conforme la hondura del acuífero. Considerando que las fuentes termales se identifican esencialmente por sus temperaturas, se han elaborado diversas categorías basadas en este parámetro como se observa en la Tabla 4:

Tabla 4

Clasificación de las aguas termales según su temperatura

Clasificación	Temperatura ° C
Fuente fría	< 20
Hipotermal	20 – 30
Termal	30 - 40
Hipertermal	> 40

Fuente: (Burbano, Becerra, & Pasquel, 2014)

Según su composición química

Las aguas normalmente nunca se presentan en estado puro, suelen hallarse mezcladas en distintas proporciones, en seguida, se mencionará los grupos más relevantes según su composición.

Agua Sulfatada

En ellas predomina el anión sulfato, presente con más de 20 % *meq/l*, influidas fuertemente en sus cualidades terapéuticas por otros iones como Cl⁻, Mg, NaHCO₃ y Na (Bacaicoa & Valenzuela, 1994).

Agua Clorurada

En estas el ion cloruro, en una concentración superior a 20 % *meq/l*, suele estar acompañado de sodio en proporciones parecidas. (Bacaicoa & Valenzuela, 1994). Su composición refleja un origen profundo y la presencia de mares antiguos. La presencia de fallas y grietas ayuda a su ascenso a la superficie.

Agua Bicarbonatada

En estas el ion NaHCO₃ es acompañado de Ca, Mg, Na, Cl⁻ y otros. Presentan importantes cantidades de CO₂ libre y normalmente pobre en SO₄ son

frecuentes en las regiones de volcanismo terciario y cuaternario, lo que explica la abundancia de CO₂ (Farinango & Zambrano, 2014).

Aguas Sulfuradas

Caracterizado especialmente por la presencia de agregados sulfurados y de ácido sulfhídrico libre o combinado, por presentar una composición química total, baja diferencia frente a los demás tipos. Presenta una temperatura elevada y posee baja concentración en sales (Farinango & Zambrano, 2014).

Marco Geológico del Ecuador

Ecuador forma parte de la famosa concentración de volcanes llamado el Círculo de Fuego del Pacífico razón por la que guarda relación a los procesos de subducción (Burbano, Becerra, & Pasquel, 2014), esto ha incidido para la consolidación del arco volcánico ecuatoriano del Cuaternario, caracterizado por presentar con al menos 60 volcanes (Inguaggiato, Hidalgo, Beate, & Bourquin, 2010).

La fuerte acción magmática y elevados flujos térmicos generados en la capa externa terrestre permiten a las aguas subterráneas, procedentes de estos edificios volcánicos, circulen a grandes profundidades, donde atraviesan por procesos geodinámicos y termodinámicos, para luego manifestarse al exterior en forma de aguas calientes (Burbano, Becerra, & Pasquel, 2014)

Por otro lado, el arco volcánico ecuatoriano representa un gran potencial para el aprovechamiento de la energía geotérmica en país, aunque la evaluación de todas las perspectivas geotérmicas aún se encuentra en una fase inicial (Inguaggiato, Hidalgo, Beate, & Bourquin, 2010).

Aguas termales en el Ecuador

Ecuador cuenta dentro de su territorio con la presencia de aproximadamente 98 fuentes de aguas termominerales, localizadas principalmente en el callejón interandino donde se pueden encontrar diversos volcanes, ecosistemas actualmente se desconoce si presentan problemas de contaminación bacteriana, por el uso no regulado que se le han dado (Andueza, et al., 2018).

En Ecuador las aguas termo minerales, se relacionan con sistemas volcánicos jóvenes, fallas y fisuras. Estas aguas provienen del interior de la tierra, en donde mediante a los procesos geodinámicos y termodinámicos, se hallan a temperaturas muy elevadas y con un alto grado de mineralización. El agua, al encontrar una zona que presenta fallas, escala rápidamente (Burbano, Becerra, & Pasquel, 2014).

Aguas termales en Tufiño

En la Unidad Hidrológica Tulcán las aguas subterráneas se caracterizan por ser presentar bajos niveles de salinidad, caracterizada como dulce, y presentan valores de conductividad menores de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con la excepción de los manantiales termo-minerales, que tienen conductividades que superan localmente los 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Burbano, Becerra, & Pasquel, 2014)

Cerca de la zona fronteriza con Colombia y exactamente a 30 km de Tulcán en la Provincia de Carchi, encontramos localizado a Tufiño. Esta pequeña parroquia posee una variedad de complejos turísticos de ámbito termal, se destacan principalmente los complejos termales Aguas Hediondas y Artesón, con temperaturas que sobrepasan los 40 °C. Debido a su procedencia, son aprovechadas para tratamientos medicinales por las comunidades aledañas y turistas que acuden a ellas (Carrera & Guevara, 2016).

Composición química del agua subterránea

El agua subterránea adquiere su composición química mediante un proceso donde intervienen factores que incluyen físico - químicos, geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos, las precipitaciones, climáticos, antrópicos, mineralógicos, topográficos (Fagundo, Valdés, & Rodríguez, 1994).

Está constituida por nueve iones principales (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- y SiO_2) que conforman el 99% del contenido soluto en las aguas, y por metales traza que no siempre están presentes en el agua (V, Se, As, Cd, Co, Ni, Cr, Pb, Al, Li, Ba, Cu, Mn, U, I, P, B, Br, Fe, y Zn) y representan el 1% de los constituyentes disueltos en forma natural, esenciales para el ser humano, siempre y cuando se encuentren en pequeñas cantidades (Vargas L. , 2004).

Esta composición está condicionada por características fisicoquímicas como: temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, así también su composición en base a las especies iónicas presentes en la muestra. (Vargas L. , 2004).

Calidad del Agua

Hace referencia a las características físico-químicas y biológicas, que presenta una muestra antes o después de ser alteradas las actividades antrópicas. Para Barrenechea (2004) hablar de este término es relativo y únicamente representa importancia universal cuando está asociado al uso del recurso. Es decir que la calidad del recurso dependerá del uso que se le requiera dar, como por ejemplo una suficientemente limpia que permita la vida acuática, pero puede no ser idónea para uso recreacional o una cuya sea idónea para consumo quizá podría resultar inadecuada para la industria (Hidalgo, 2016).

Elementos traza

También llamados oligoelementos, presentes en cantidades reducidas, en tejidos corporales, son nutrientes fundamentales pues desempeñan tareas indispensables para conservar la vida. Sus ingresos inapropiados deterioran las funciones tisulares que, por lo general, producen enfermedades. Otros componentes que se pueden hallar en reducidas concentraciones pueden obstruir funciones vitales del organismo (Alarcón, 2009).

Lodos o Fangos

Barro que resulta de mezclar tierra con el agua mineromedicinal, éstos se obtienen de los cauces de corrientes diversas, principalmente de ríos. El componente sólido comúnmente se encuentra formado por cuarzos, calizas y arcillas, podemos destacar los compuestos como silicio, aluminio, calcio, sulfatos, carbonatos y fosfatos. También presenta un porcentaje de contenido orgánico formado por humus (INEN, 2014).

Planes de Manejo Ambiental

“Es el conjunto detallado de actividades, que producto de una evaluación ambiental, están orientadas a prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos y efectos ambientales que se causen por el desarrollo de un proyecto, obra o actividad. Incluye los planes de seguimiento, monitoreo, contingencia, y abandono según la naturaleza del proyecto, obra o actividad” (Martínez, 2009). Deberá incluir propuestas de acción, programas y cronogramas de inversión precisos con los cuales incorporar acciones alternativas de prevención de contaminación, cuya intención sea optimar el uso de insumos, y mermar o inclusive buscar eliminar las emisiones, descargas y vertimientos, desacuerdo a lo determinado en la normativa ambiental efectiva (Martínez, 2009).

Plan de prevención y mitigación de impactos

Acciones “in situ” con el fin de controlar y atenuar los impactos significativos, de tal forma que los efectos sean disminuidos o eliminados buscando poder cumplir con la legislación ambiental efectiva (Ministerio del Ambiente, 2015).

Plan de contingencias

Diseño de un plan de ocurrencias y eventualidades, es decir acciones inmediatas y posteriores para controlar los riesgos ambientales derivados de situaciones de emergencias, en donde el riesgo es el producto de posibilidades y consecuencia en términos de rigidez del impacto al medio (Ministerio del Ambiente, 2015).

Plan de capacitación

Trata temas de concienciación y comunicación entre ellos: difusión del plan de manejo, impactos ambientales, legislación, manejo de desechos, principalmente (Ministerio del Ambiente, 2015).

Plan de manejo de desechos

Debe contemplar una gestión ordenada de desechos desde la generación hasta la disposición final, límites permisibles, tratamientos previos a la descarga, etc., (Ministerio del Ambiente, 2015).

Plan de Seguridad y Salud ocupacional

Actividades de SSO en función de los riesgos y condiciones de trabajo, ejemplo, exámenes ocupacionales, comité formado, señalización, reportes de incidentes, etc. (Ministerio del Ambiente, 2015).

Plan de relaciones comunitarias

Acciones con la comunidad del sector en función del área de influencia, y la periodicidad de las reuniones de acuerdo a la criticidad del negocio (Ministerio del Ambiente, 2015).

Plan de rehabilitación de áreas afectadas

En el caso de que la sociedad ocupe zonas salvaguardadas como es el caso con el Proyecto Yasuní (Ministerio del Ambiente, 2015).

Plan de abandono y entrega del área

Labores que conviene efectuarse al momento del término del ejercicio del proyecto: seguimientos ambientales de los bienes utilizados, fuentes hídricas entre otros. (Ministerio del Ambiente, 2015)

Plan de monitoreo y seguimiento

Su propósito está dedicado a certificar que todas las variables esenciales establecidas que proporcionaron el comienzo del Estudio de Impacto Ambiental, se desarrollen de acuerdo a lo determinado en el archivo que consta como parte a la valoración correspondiente. (Ministerio del Ambiente, 2015)

Proyecto Socio Bosque

Programa de incentivos que busca velar por la protección de la vegetación nativa en todas las regiones del Ecuador, excluyendo la zona insular, se pretende conservar más de 3 millones de hectáreas, aunque esta se mantiene en función de aquellos que de forma voluntaria deseen acceder al mismo, pueden ser de forma individual como colectiva. Se encuentra en ejecución desde el año 2008 hasta la actualidad, con su ejecución se planea promover un manejo sostenible de bienes naturales estratégicos, disminuir los índices de deforestación y hacer partícipe a la población del manejo ambiental (Ministerio del Ambiente, 2013).

Matriz Conesa - Fernández

Se entiende que una matriz de Impacto, que sea de tipo causa – efecto, se muestra como una matriz de entrada doble, estando las columnas representadas por los impactos y sus filas los factores susceptibles. Este método analítico permite asignar la importancia de cada efecto ambiental que afecte una determinada zona de estudio mediante la siguiente ecuación (Conesa Fernández, 2010):

$$I = \pm [3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC] \quad (8)$$

Dónde cada nomenclatura representa un aspecto del impacto como: (\pm) naturaleza, (I) importancia, (i) intensidad, (EX) extensión, (MO) momento, (PE) persistencia, (RV) reversibilidad, (SI) sinergia, (AC) acumulación, (EF) efecto, (PR) periodicidad y (MC) recuperabilidad.

Cuyos valores son definidos por el autor (Tabla 5) (Conesa Fernández, 2010):

Tabla 5

Modelo de valoración de importancia del impacto usado por Conesa Fernández

Signo		Intensidad (IN)		Extensión (EX)	
Beneficioso	+	Baja	1	Puntual	1
		Media	2	Parcial	2
Perjudicial	-	Alta	4	Extenso	4
		Muy alta	8	Total	8
		Total	12	Crítica	12
Momento (MO)		Persistencia (PE)		Reversibilidad (RV)	
Largo plazo	1	Fugaz	1	Corto plazo	1
Medio plazo	2	Temporal	2	Medio plazo	2
Inmediato	4	Permanente	4	Irreversible	4
Crítico	8				
Sinergia (SI)		Acumulación (AC)		Efecto (EF)	
Sin sinergismo	1	Simple	1	Indirecto	1
Sinérgico	2	Acumulación	4	Directo	4
Muy sinérgico	4				
Periodicidad (PR)		Recuperabilidad (MC)			
Irregular	1	Inmediata	1		
Periódico	2	Recuperable	2		
Continuo	4	Mitigable	4		

	Irrecuperable	8
--	---------------	---

De los valores obtenidos, se define el nivel de importancia de cada aspecto ambiental, cuyo rango va de 13 a 100 como se detalla a continuación (Tabla 6):

Tabla 6

Modelo de valoración de importancia del impacto usado por Conesa Fernández

Valor (I)	Calificación	Significado
< 25	Bajo	Tiene una afectación irrelevante en comparación con los fines del proyecto en cuestión
25 - 50	Moderado	Tiene una afectación sobre el mismo, no precisa de prácticas correctivas
50 - 75	Severo	Tiene una afectación que exige la recuperación de las condiciones del medio a través de medidas correctivas. Necesita de un tiempo de recuperación en un período prolongado
≥ 75	Crítico	Tiene una afectación superior al umbral aceptable. Se produce una pérdida permanente en la calidad ambiental. No hay posibilidad de recuperación.

Turismo Sostenible

Se establece sí como un modelo de mejora con importancia en la economía, pero que al mismo tiempo está apoyado en la cultura local, riqueza natural y patrimonio cultural, atribuyendo la responsabilidad a la gente impulsadora de turismo y el turista mismo, siendo los pilares significativos para el desarrollo del turismo en un lugar con potencial turístico, primero por los empresarios y la administración pública y segundo, todos en conjunto buscar formular planes estratégicos bajo el enfoque de desarrollo turístico sostenible, prevaleciendo la creación de códigos éticos de conducta, para cada actor que interviene, tomando en cuenta los intereses individuales y colectivos, así como la interacción del mercado y condiciones del destino turístico al que se aplicará la sostenibilidad (Cardoso, 2006).

Ecoturismo

Se presenta como un fenómeno complejo y muy nuevo, por lo tanto, no existe un acuerdo en cuanto a su definición, pero se acerca bastante a la modalidad de turismo inspirada principalmente en la historia natural de una zona, incluyendo sus cultura, como un sinónimo de turismo para la protección y conservación de áreas naturales, logra ingresos económicos a través de la preservación del recurso natural, esto implica un manejo planificado por parte del país receptor o la región (Coppin, 1992).

Ortomosaico

Es un producto de imagen fotogramétricamente ortorrectificado organizado como mosaico a partir de una colección de imágenes, donde la distorsión geométrica se ha corregido y donde se ha realizado un balance de color de las imágenes para producir un data set de mosaico continuo. (esri, 2021)

Base legal

Constitución de la República del Ecuador

Siendo esta la Norma Suprema a nivel nacional, en ella se contemplan las más fundamentales normas para todos los ciudadanos, como también otorga bases legales para la preservación, cuidado y protección de los derechos de la naturaleza. Dentro de su estructura encontramos artículos relevantes para el presente estudio referentes al tema ambiental como el Art. 276 donde nos habla acerca de la recuperación y conservación de la naturaleza o el Art. 408 que establece como propiedad del Estado todo recurso no renovable que se encuentren dentro de su territorio continental y marítimo. Podemos denotar el Art. 411 que habla sobre el manejo integral de los recursos hídricos y estipula que se deberá regularizar

cualquier actividad que pudiese afectar su calidad y cantidad (Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador, 2008).

Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua

Esta ley regula el uso y manejo del recurso hídrico. Abarca tanto el agua subterránea como la superficial y todo lo asociada a la misma, incluyendo inclusive la atmosférica. Prohíbe la privatización del recurso agua en cualquiera de sus formas, no puede usársele como objeto de ningún intercambio comercial. Su manejo será solo de forma pública o comunitaria. Podemos destacar artículos como el 49 donde habla de las aguas minerales, termales y medicinales, establece que deberán ser manejadas preferentemente por el Estado o el Art. 115 que establece el aprovechamiento turístico que se le podrá dar al mismo, y deberá contar con las autorizaciones pertinentes (Asamblea Nacional del Ecuador, 2014).

NTE INEN 2929: Establecimientos Balnearios

Determina las exigencias que deberán cumplir las termas, estructuras y equipamiento con el fin de brindar un adecuado servicio. Aplica a las instalaciones autorizados quienes manejan las aguas termo minerales. Deberá determinarse la composición de la piscina para poder ser considerada como mineromedicinal y solo podrá catalogarse así al demostrarse en su totalidad de carácter del mismo. De lo contrario deben indicarlo explícitamente (INEN, 2014).

Análisis: El balneario debe efectuar cada año un estudio físico - químico de los parámetros mayoritarios y espacialmente de aquellos que caractericen al agua por un laboratorio autorizado, con el fin de mantener la constancia, dentro de las incertidumbres naturales, de la estructura que dio lugar a la afirmación del agua como mineromedicinal. De igual forma, debe efectuar un análisis microbiológico anual por el laboratorio acreditado (INEN, 2014).

NTE INEN 2226:2013: AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. DISEÑO DE LOS PROGRAMAS DE MUESTREO

Primera del grupo de las normas propuestas para ser usada con la NTE INEN 2176 y 2169 que tratan respectivamente de las Técnicas de Muestreo del Manejo y Conservación de Muestras. En ella se detallan los principios para un diseño de muestreo, tanto para sedimentos como para lodos. (INEN, 2013)

NTE INEN 2169:2013: Agua. Calidad del agua. Muestreo

Normativa destinada a establecer los métodos y precauciones fundamentales cuando se desea almacenar y transportar una muestra de cualquier tipo de recurso hídrico, tanto puntual como compuesta. Especialmente usada para aquellos estudios que solo pueden hacerse en laboratorio autorizado, por lo que demanda ejecutar el traslado al mismo (INEN, 2013).

NTE INEN 2176:2013: AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO

En esta se establecen los principios acerca de las técnicas de muestreo aplicadas en los análisis de calidad en aguas naturales, contaminadas y residuales para su respectiva caracterización. (INEN, 2013)

Código Orgánico del Ambiente

Este Código garantizar la facultad a hallarse en un medio equilibrado, así mismo instituye los derechos de la naturaleza con el fin de alcanzar el Sumak Kawsay o mejor conocido como buen vivir. Este Código regula lo estipulado en la Constitución referente al ámbito ambiental, así como los instrumentos que fortalecen su ejecución, los que deberán asegurar la sostenibilidad de los recursos, así como su protección y buscar su conservación (Código Orgánico del Ambiente, 2017).

Reglamento Al Código Orgánico del Ambiente: Año III – Nº 507

Este reglamento sustenta a los dispuesto en el Código Orgánico del Ambiente, de carácter obligatorio para todas los organismos y entidades de cualquier naturaleza inclusive las comunidades que se encuentren dentro del territorio nacional de forma temporal o permanente. A lo largo de todo el documento brindará una guía que establecerá los lineamientos para preparar un Plan de Manejo Ambiental de una respectiva zona de estudio. (Reglamento Al Código Orgánico del Ambiente, 2019)

Ley de Turismo

El objetivo de esta ley es establecer el marco legal que regirá en el sector turístico; los poderes del Estado y los derechos y deberes de acreedores y usuarios. Tomando especial relevancia a los Art. 3 y Art. 4, donde se especifica como principio de toda actividad turística la sostenibilidad y uso justo permanente de los recursos naturales en conjunto de la participación de las comunidades en el camino de un buen progreso sustentable (Ley de Turismo, 2014).

CAPITULO III

METODOLOGÍA

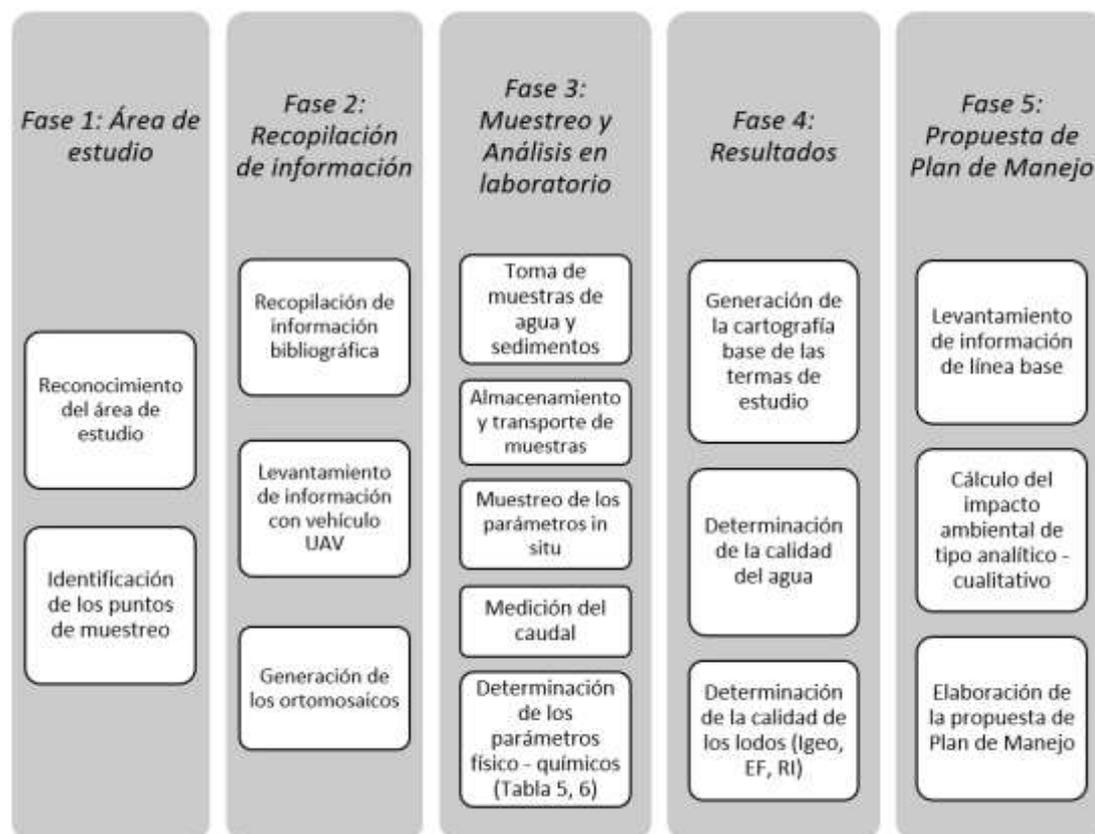
Se llevó a cabo una etapa de recopilación y revisión bibliográfica de la información existente de la zona de estudio. Se realizó una primera vista de campo donde se reconoció el área de estudio y se determinaron los puntos de muestreo, además se identificó la problemática que enfrenta el uso y aprovechamiento de este recurso.

Posteriormente se realizó la recopilación de información bibliográfica y geoespacial de la zona mediante un levantamiento de información con un vehículo UAV. Se procedió a la recolección de muestras de agua y lodos en los puntos indicados (Tabla 10) de acuerdo a la normativa vigente en los puntos de surgencia y de aprovechamiento de las dos fuentes termales. Para finalizar, en base a la normativa del Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (RCOA), se elaboró la Propuesta del Plan de Manejo Ambiental con la información recolectada y resultante de los diferentes análisis. (Código Orgánico del Ambiente, 2017)

En este contexto la metodología empleada para la presente disertación se esquematiza en la Figura 3.

Figura 3

Esquema de la metodología empleada en el proyecto.



Área de Estudio

Reconocimiento del área de estudio

Junto con el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Tulcán, se realizó una visita de campo guiada con especialistas de la zona, para el reconocimiento del área a estudiar y la problemática presente.

Debido a la emergencia sanitaria, el Complejo Turístico Aguas Hediondas no se encuentra en funcionamiento, y no se sabe cuándo volverá a estarlo, por lo que para acceder al sitio se necesitó de un permiso concedido por la Prefectura del Carchi, entidad propietaria de las termas. Una vez dentro, se pudieron identificar los puntos de surgencia y salida de las aguas termales, que después sirvieron como puntos de muestreo. Cabe señalar que debido a la cantidad de gases tóxicos que se emanan desde los suelos que rodean el punto de surgencia de las aguas

termales, mismo que han causado el deceso de personas y animales, y con el objeto de precautelar el bienestar de los turistas y trabajadores, este punto se encuentra cercado por una estructura de ladrillos que impide el ingreso del personal no autorizado; Además el balneario se encuentra en la frontera con Colombia, y no existe ningún límite físico que impida la entrada o salida del lugar.

Por otro lado, para acceder a las Termas El Artesón, se necesitó recorrer un sendero rústico y de complejidad media de 2,5 km, donde se pudo apreciar la problemática del lugar. Este sitio debido a su ubicación y pertenencia no cuenta con un plan de turismo ecológico sustentable, pues debido a las construcciones incompletas del balneario: vestidores, piscinas, baños, la falta de alcantarillado y al constante uso que los turistas hacen del mismo (residuos, senderos improvisados), se está infringiendo un daño grave al componente biofísico de la zona (Figura 4).

Figura 4

Problemática presente en las Termas “El Artesón”



Identificación de los puntos de muestreo

Para la identificación de los puntos de muestreo, se realizó un recorrido dentro de las instalaciones de las dos termas de estudio.

En el complejo Turístico “Aguas Hediondas”, operado por la Prefectura del Carchi, se requirió de un permiso especial para el ingreso tanto al balneario como al

punto de surgencia de las aguas termales, esto se debió a que para la fecha de muestreo las instalaciones se encontraban cerradas y fuera de operación consecuencia de la crisis sanitaria, por ello se modificó el punto de muestreo correspondiente a las piscinas por el punto de salida de las aguas previo al punto de mezcla.

Las muestras de lodo se tomaron a 0.25 km del mismo, esto se debe a que existía escases de lodos en el punto de surgencia del agua termal, producto de los deslizamientos previos de rocas que han ido sucediendo con el pasar de los años cubriendo los suelos en su totalidad.

Para el caso de las aguas termales “El Artesón”, una vez atravesado el sendero para llegar a ellas, el punto de aprovechamiento fue de fácil acceso. En la zona de abastecimiento del recurso se encontraron varios puntos de surgencia, por lo que se escogió el punto más prominente para realizar el muestreo. Para el muestreo de los lodos, se seleccionó un punto en una de las paredes de la zona de surgencia de las aguas termales, cerca al lugar de ebullición.

Mediante el uso de la aplicación móvil OsmAnd se realizó la toma de las coordenadas de los puntos de muestreo como se refleja en la Tabla 7.

Tabla 7

Puntos de muestreo con la aplicación móvil

N.º	Zona	Tipo	Coordenada X	Coordenada Y
1	Artesón	Agua aprovechamiento	176506.1	86235.6
2	Artesón	Agua surgencia	176480.5	86225.7
3	Artesón	Sedimento	176478.3	86224.6
4	Aguas Hediondas	Agua surgencia	Sin acceso	Sin acceso
5	Aguas Hediondas	Agua de salida	176555.3	89639.9

6	Aguas Hediondas	Sedimento	176689.1	89719.5
---	-----------------	-----------	----------	---------

Recopilación de Información

Recopilación de Información bibliográfica

Para el desarrollo de la investigación, se recopiló información bibliográfica de fuentes primarias y secundarias como: artículos académicos y científicos, informes, revistas científicas, tesis, entre otras, relacionadas con el tema de disertación, además de información geoespacial disponible, proveniente de fuentes oficiales de acceso público, tomando como referencia la literatura existente sobre este tipo de estudios y trabajos realizados en la zona de estudio y aledañas al mismo, y considerando la disponibilidad de información para el área de interés (Tabla 8).

Tabla 8

Información bibliográfica recopilada

Titulo	Autores	Año
Fuentes termales del Ecuador.	Carrera, David; Guevara, Paulina	2016
Geoquímica de los Manantiales Termales en las zonas de Tufiño, Chachimbiro y Papallacta, Ecuador.	Artiaga Franco, Oliva Lucía	2004
Aguas termales, minerales y naturales de manantial en el Ecuador.	Paladines, Agustin	2011
Análisis del Proceso de Gestión Ambiental del Parador Ecoturístico "Termales de las Nieves Puertas del Cielo" de la Parroquia Guapán, Cantón Azogues.	González, Tannya; Viteri, María	2019
Estudio de la calidad ambiental de las aguas termales del balneario "El Tingo"	Tipanta, Santiago	2018
Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquia Rural de Tufiño	GAD Parroquial Rural de Tufiño	2015 - 2019

Actualización Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial “PDYOT”	GAD Parroquial Rural de Tufiño	2019 - 2023
Estudios de factibilidad, impacto ambiental e ingeniería definitivos para la rectificación y mejoramiento de la carretera Tulcán – Tufiño - Maldonado; tramo no. 2: Tufiño - Maldonado	Ministerio De Transporte y Obras Públicas, MTOP Consortio PKS - ACOLIT	2012
Plan de manejo de la comuna La Esperanza	Consultora Visión Ambiental	2020

Levantamiento de información con vehículo UAV

Se realizó el levantamiento de información geográfica mediante el uso de un dron (Tabla 9, Figura 5). Uno de los factores más importantes para este paso fueron las condiciones climáticas de la zona, que se caracteriza por ser húmeda la mayor parte del año. Para el caso de las aguas termales “El Artesón” se abarcó un área total de 6.36 ha, donde se incluyó parte del sendero que lleva al balneario, mientras que en el complejo turístico “Aguas Hediondas” se abarcaron 6.35 ha, es decir, la totalidad de las instalaciones del balneario.

Figura 5

Levantamiento de información con el vehículo UAV.

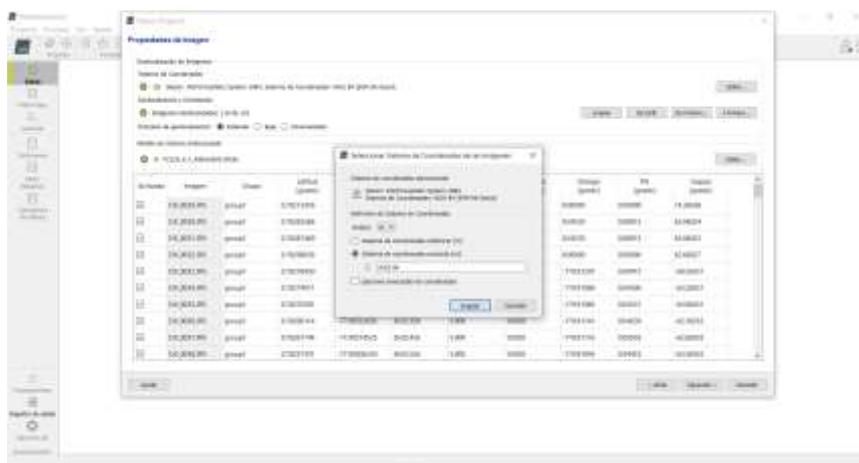


Tabla 9*Características del vehículo UAV*

Marca/Modelo del DRON	Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
DJI MAVIC PRO	FC220 (4.7mm)	4000 x 3000	4.7 mm	1.56 x 1.56 micras	Sí

Generación de los ortomosaicos

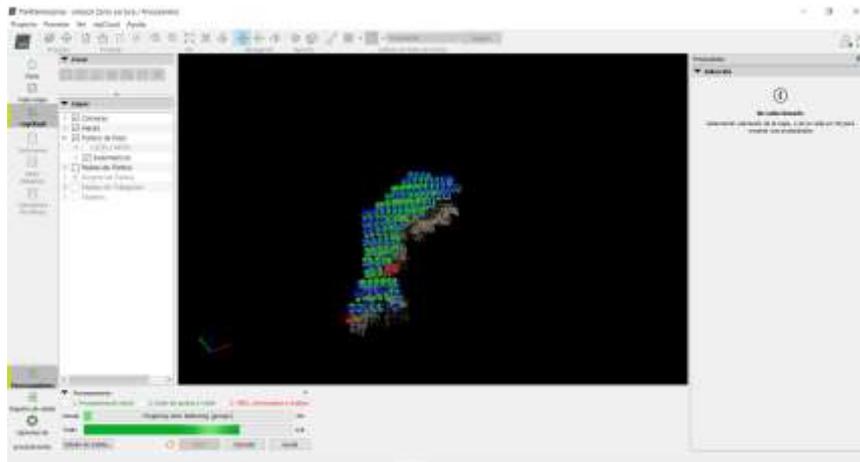
Como resultado del vuelo con el vehículo UAV realizado en la zona de estudio, se obtuvieron 71 imágenes del complejo turístico “Aguas Hediondas” y 214 imágenes de las aguas termales “El Artesón”, mismas que fueron procesadas mediante el uso del software Pix4D, con la cuenta que ofrece el programa, válida por 24 días. Se procedió a cargar las imágenes capturas al software, definir el sistema de coordenadas y el tipo de cámara empleada (Figura 6).

Figura 6*Selección de las imágenes mediante el software Pix4D*

A continuación, se seleccionó el tipo de procedimiento que se desea obtener y se inició el procesamiento que constó de tres etapas: el procesamiento inicial, la creación de la nube de puntos y la generación del MDS, ortomosaico y el informe final como se observa en la Figura 7.

Figura 7

Procesamiento de las imágenes mediante el software Pix4D



Una vez obtenidos los ortomosaicos de las dos fuentes termales, se procedió a determinar los puntos donde se realizó el muestreo, mediante el uso de la herramienta *Add XY Coordinates* (Figura 8, Tabla 10).

Figura 8

Determinación de las coordenadas finales de los puntos de muestreo en los ortomosaicos

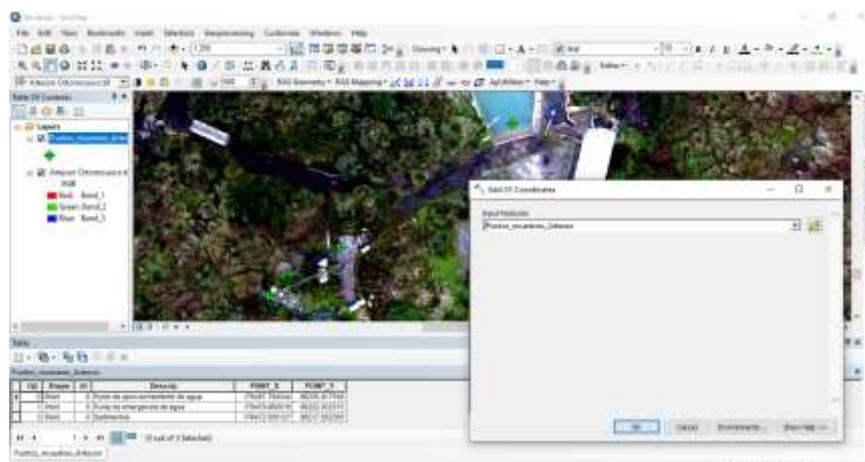


Tabla 10*Puntos de muestreo finales en los ortomosaicos*

N.º	Zona	Tipo	Coordenada X	Coordenada Y
1	Artesón	Agua aprovechamiento	176497.794344	86235.817549
2	Artesón	Agua surgencia	176479.882016	86222.932315
3	Artesón	Sedimento	176472.500127	86217.852305
4	Aguas Hediondas	Agua surgencia	176530.892078	89613.384145
5	Aguas Hediondas	Agua de salida	176550.719993	89634.847188
6	Aguas Hediondas	Sedimento	176697.164956	89729.997278

Muestreo y análisis en laboratorio**Toma de muestras de agua y sedimentos**

Para la recolección de muestras de agua y sedimentos, se realizó un muestreo puntual en el punto de surgencia y el punto de aprovechamiento de cada una de las fuentes termales, tomando en cuenta que las condiciones climáticas sean adecuadas y no exista presencia de precipitaciones, para evitar la alteración de los resultados.

En el muestreo de agua y sedimentos, se utilizó la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2169:2013, NTE INEN 2226:2013, NTE INEN 2176:2013:

Las muestras de agua para los análisis físico - químicos fueron recolectadas en base a la normativa NTE INEN 2169:2013, que especifica el uso de frascos de polietileno de 1 Litro de tapa y contratapa, completamente llenos evitando dejar burbujas de aire en su interior, luego de una previa homogenización con la misma muestra. Las muestras microbiológicas fueron recolectadas en recipientes esterilizados a $\frac{3}{4}$ de su capacidad.

Previo al envío de las muestras al laboratorio, todas las muestras fueron almacenadas a 4°C y en la oscuridad con su respectiva hoja de custodia etiquetada

de manera que se pueda identificar el ID de la muestra, persona responsable, fecha, lugar y hora del muestreo.

Figura 9

Toma de muestras de agua en cada una de las fuentes termales



Para el muestreo de sedimentos se utilizó un tubo PVC de 11 cm de diámetro que sirvió como barreno, el mismo fue insertado en cada una de las paredes de los puntos de surgencia de las aguas en las fuentes termales.

Se tomó una cantidad superior a los 500g que fue almacenada dentro de una bolsa hermética (Ziploc), procurando almacenar la menor cantidad de agua posible.

Figura 10

Toma de muestras de sedimentos en cada una de las fuentes termales



De las muestras recolectadas, se tomaron 2 muestras por punto de muestreo, una que sirvió para realizar los análisis en laboratorio y otra que se usó como testigo en caso de necesitar repetir el análisis de algún parámetro.

Almacenamiento y transporte de muestras

Después de que las muestras fueron debidamente etiquetadas, envasadas y selladas, se transportaron en frío a 4°C y en la oscuridad al laboratorio en un período de tiempo menor a las 24 horas como establece las normas NTE INEN 2176:2013 y NTE INEN 2226:2013.

Figura 11

Etiquetado, almacenamiento y transporte de las muestras



Medición de los parámetros in situ

Aguas

Para la medición de los parámetros in situ de pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto de las muestras de agua, se utilizó los equipos TDS&EC meter (hold) y un pHmetro previamente calibrado. Se procedió a tomar una porción de agua en un frasco previamente lavado con agua destilada y homogenizado con la misma muestra y a sumergir las sondas limpias de los equipos de campo dentro de los recipientes.

Se realizó la medición de la temperatura, los parámetros de conductividad y oxígeno disuelto y por último los parámetros de pH mediante el método del electrodo. Para asegurar la confiabilidad de los datos, se midió tres veces los parámetros de cada muestra tomada, los mismos que fueron registrados en las hojas campo.

Figura 12

Toma de parámetros in situ de las muestras de agua



Sedimentos

Para la medición de los parámetros in situ de pH y conductividad de las muestras de sedimentos, se utilizaron los equipos TDS&EC meter (hold) y un pHmetro previamente calibrado. Se procedió a colocar en un frasco esterilizado 10 ml de una muestra de sedimento con 25 ml de agua destilada, agitar la mezcla y dejar reposar por unos minutos hasta que la muestra de sedimento se asiente en la base del frasco.

Una vez separada la muestra de suelo del agua destilada, se midieron los parámetros de conductividad, oxígeno disuelto y pH. Para asegurar la confiabilidad de los datos, se midió tres veces los parámetros de cada muestra tomada, los mismos que fueron registrados en las hojas campo.

Figura 13

Toma de parámetros in situ de las muestras de sedimentos

**Medición del caudal de las fuentes termales**

Para la medición del caudal de las termas, se identificaron los puntos por donde circula el agua antes de su aprovechamiento. En las Termas “El Artesón” el agua es distribuida por dos caudales diferentes, mientras que en el complejo turístico “Aguas Hediondas” existe un solo caudal de salida.

Mediante el uso de un balde plástico de 4 Litros, se procedió a colocar en los lugares por el lugar de salida del agua y con un cronómetro se tomó el tiempo que se demoró en llenarse el balde. Para asegurar la confiabilidad de los datos, se midió de tres a cinco veces los tiempos de cada punto (Figura 14).

Figura 14

Medición del caudal de las fuentes termales de estudio



Determinación de los parámetros físico – químicos

Debido a que no se pudo hacer uso del Laboratorio de Medio Ambiente de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE para el análisis de los resultados de las 4 muestras de aguas y las 2 muestras de sedimentos se utilizó el Laboratorio ALS Global, un laboratorio acreditado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano. En la Tabla 11 y 12 se detallan las metodologías empleadas en la determinación de los parámetros físico-químicos de las muestras de agua y sedimentos.

Tabla 11

Metodología utilizada para el análisis de los parámetros en muestras de agua

Nº	Parámetro	Unidad	Referencia
1	Bicarbonatos	mg/l	(SM, 2017) Método 2320 Ed. 23
2	Sulfatos	mg/l	(EPA, 1978) Método 375.4
3	Cloruros	mg/l	(SM, 2017) Método 4500-Cl- B Ed. 23
4	Sulfuros	mg/l	(SM, 2012) Método 4500-S2- A y 4500-S2- D Ed. 22
5	Calcio	mg/l	(SM, 2017) Método 3120 B Ed. 23

6	Magnesio	mg/l	(SM, 2017) Método 3120 B Ed. 23
7	Manganeso	mg/l	(SM, 2017) Método 3120 B Ed. 23
8	Hierro	mg/l	(SM, 2017) Método 3120 B Ed. 23
9	Sodio	mg/l	(SM, 2017) Método 3111 B
10	Potasio	mg/l	(SM, 2017) Método 3120B, 3030B, 3030D, 3030E
11	Boro	mg/l	(SM, 2017) Método 4500-B C Ed. 23
12	Nitratos	mg/l	(SM, 2017) Método 4500-NO3- E Ed. 23
13	Fosfatos	mg/l	(SM, 2017) Método 4500-P B y 4500-P C Ed. 23
14	Fenoles	4500-P B	(SM, 2017) Método 5530 A y 5530 C Ed. 23
15	Tensoactivos	mg/l	(SM, 2012) Método 5540 A y 5540 C Ed. 22
16	Parásitos Nemátodos Intestinales	Ausencia/ Presencia	(NMX, 2012) AA-113-SCFI-2012 Rev. 02
17	Coliformes totales	NMP/100ml	(SM, 2017) Método 9221 B, E y F Ed. 23
18	Coliformes fecales	NMP/100ml	(SM, 2017) Método 9221 B, E y F Ed. 23
19	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	(SM, 2017) Método 2540 A y 2450 D Ed. 23
20	Oxígeno Disuelto	ppm	(EPA, 1983) Método 360.2
21	Conductividad Eléctrica	μs/cm	(APHA, 1995) Método 2510B.
22	Temperatura	°C	(EPA, 1983) Método 170.1
23	pH	--	(EPA, 1983) Método 150.1

Tabla 12

Metodología utilizada para el análisis de los parámetros en muestras de suelos.

N.º	Parámetro	Unidad	Referencia
1	Cobre	mg/kg	(SM, 2017) Método 3120 B Ed. 23
2	Arsénico	mg/kg	(SM, 2017) Método 3120 B Ed. 23
3	Mercurio	mg/kg	(EPA, 2007) Método 7471 B Rev. 2
4	Fluoruros	mg/kg	(SM, 2017) Método 3120 B Ed. 23
5	Plomo	mg/kg	(SM, 2017) Método 3120 B Ed. 23
6	Cromo Total	mg/kg	(SM, 2017) Método 3120 B Ed. 23
7	Hierro	mg/kg	(SM, 2017) Método 3120 B Ed. 23
8	Cadmio	mg/kg	(SM, 2017) Método 3120 B Ed. 23
9	Plata	mg/kg	(SM, 2017) Método 3120 B Ed. 23
10	Conductividad Eléctrica	$\mu\text{s/cm}$	(APHA, 1995) Método 2510B.
11	Temperatura	°C	(EPA, 1983) Método 170.1
12	pH	--	(EPA, 1983) Método 150.1

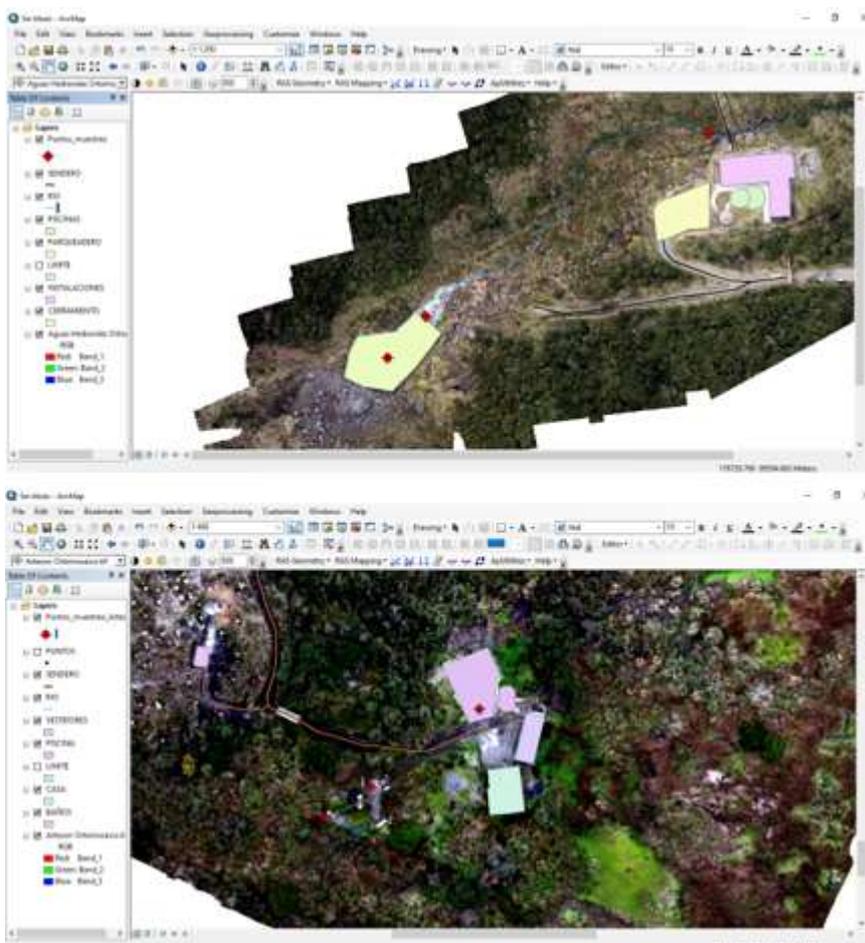
Resultados

Generación de la cartografía base de la zona de estudio

Una vez generadas los ortomosaicos, sirvieron como insumo para realizar el trazado de los elementos de la zona como ríos, senderos, instalaciones y puntos de muestreo, mediante el uso del software ArcMap 10.8 donde se generó un nuevo shapefile y con la herramienta EDITOR se añadió y editó los componentes de cada capa creada.

Figura 15

Creación de los elementos dentro de la zona de estudio



Por último, se asignó una simbología adecuada para cada elemento.

Determinación de la calidad del agua

Para realizar la evaluación de la calidad y posibles usos del agua termal de las dos fuentes de estudio, se utilizaron los resultados obtenidos del análisis de los parámetros físico – químicos en el laboratorio. Se procedió a comparar los valores obtenidos del análisis de agua con los límites permisibles propuestos por el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) del Libro VI, Anexo 1 que hace referencia a aguas para consumo humano, medicinal y con fines recreativos. Además, se utilizaron los estándares de calidad del agua potable según la Organización Mundial de Salud. Adicional se

determinó el índice de calidad de agua mediante la ecuación (1), lo que permitió clasificar el recurso y los posibles usos del mismo.

Determinación de la calidad de los lodos (Igeo, EF, RI)

Para realizar la evaluación de la calidad y posibles usos de los lodos de las dos fuentes de estudio, se utilizaron los resultados obtenidos del análisis de los parámetros físico – químicos en el laboratorio. Se procedió a comparar los valores obtenidos del análisis de lodos con los límites permisibles propuestos por el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) del Libro VI, Anexo 2 que hace referencia a los criterios de calidad del suelo.

Además, con resultados obtenidos en el laboratorio se evaluaron los posibles riesgos que podría causar la presencia o el uso de estos lodos, por ello se valoró ciertos índices como el factor de enriquecimiento (EF), el índice de geo acumulación (Igeo) o el potencial de riesgo ecológico (RI), mediante las ecuaciones (3) (4) y (5), lo que permitió caracterizar de mejor manera al recurso.

Propuesta de Plan de Manejo

Levantamiento de información de línea base

Para la realización de la Propuesta del Plan de Manejo se recopiló información bibliográfica y geoespacial de la parroquia Tufiño, por ello se procedió a contactar a diferentes fuentes primarias y secundarias, quienes disponen de información útil para realizar un diagnóstico estratégico de la zona de estudio.

Para la recopilación de información geográfica se contó con el apoyo de la Dirección de Gestión Ambiental perteneciente al Gobierno Autónomo Descentralizado De La Provincia Del Carchi, así como del Departamento de Avalúos y Catastro del GAD Municipal de Tulcán y del GAD Parroquial de Tufiño,

quienes poseen información relevante para la realización de la línea base ambiental.

Por otro lado, se buscó información de fuentes de información en línea, tanto en formato .shp como en literatura existente sobre este tipo de estudios y trabajos realizados en la zona de estudio que son de libre acceso como se especifica en la Tabla 13 y 14.

Tabla 13

Información bibliográfica recopilada

INFORMACIÓN	FUENTE
Plan de Manejo de la Comuna La Esperanza	Dirección de Gestión Ambiental, Consultoría Visión Ambiental
Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Tufiño (Administración 2014 – 2019)	Prefectura del Carchi, GAD Parroquial de Tufiño
Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, Parroquia Rural de Tufiño (Administración 2015 – 2019)	Prefectura del Carchi, GAD Parroquial de Tufiño
Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial “PDYOT” (Administración 2019 – 2023)	Prefectura del Carchi, GAD Parroquial de Tufiño
Estudios de factibilidad, impacto ambiental e Ingeniería definitivos para la rectificación y mejoramiento de la carretera Tulcán – Tufiño - Maldonado	MTOP, Consorcio “PKS ACOLIT”
Plan de Manejo de la Reserva Ecológica El Ángel	Ministerio del Ambiente

Tabla 14

Información geoespacial recopilada

INFORMACIÓN	FUENTE	Escala
Limite parroquial	CONALI	
Geología	MAGAP	1:100000
Pendientes	Autoras	
Isoyetas	INAMHI	
Isotermas		
Tipo de Suelo	SIGAGRO	

Textura del Suelo		
Conflicto de uso del Suelo		
Riesgos		1:50000
Zonas de Vida		
Capacidad de uso del Suelo		
Uso y Cobertura del Suelo		
Ecosistemas	Prefectura del Carchi	
Unidades Hidrográficas		1:250000
Red Vial	MTOP	

Cálculo del impacto ambiental de tipo analítico – cuantitativo

Para la elaboración de la Propuesta del Plan de Manejo, y previo al levantamiento de información de línea base, se realizó el cálculo del impacto ambiental de tipo analítico - cualitativo propuesto por Vicente Conessa (2010), que consistió en elaborar una matriz de causa-efecto y un cuadro de doble entrada (acciones impactantes y factores ambientales impactados), con el objeto de evaluar los efectos que pueden alterar cada factor ambiental.

A continuación, se valoraron los atributos (signo, intensidad, extensión, momento, persistencia, reversibilidad, recuperabilidad, sinergia, acumulación, efecto y periodicidad), y se calculó la importancia del impacto, obteniendo una valoración cualitativa.

Elaboración de la propuesta del Plan de Manejo

Para finalizar, en base a la recopilación de información bibliográfica, los resultados de la evaluación de la calidad y composición del recurso hídrico y de los lodos presentes en el área de estudio, y a la identificación y valoración de los impactos, se procedió a la elaboración del Plan de Manejo Ambiental según el reglamento de código orgánico ambiental.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Ortomosaicos generados de la zona de estudio

En las Figuras 16 y 17 se presentan los ortomosaicos generados a partir del procesamiento de las imágenes obtenidas en el vuelo con vehículo UAV

Figura 16

Mapa del ortomosaico en las Aguas Termales El Artesón

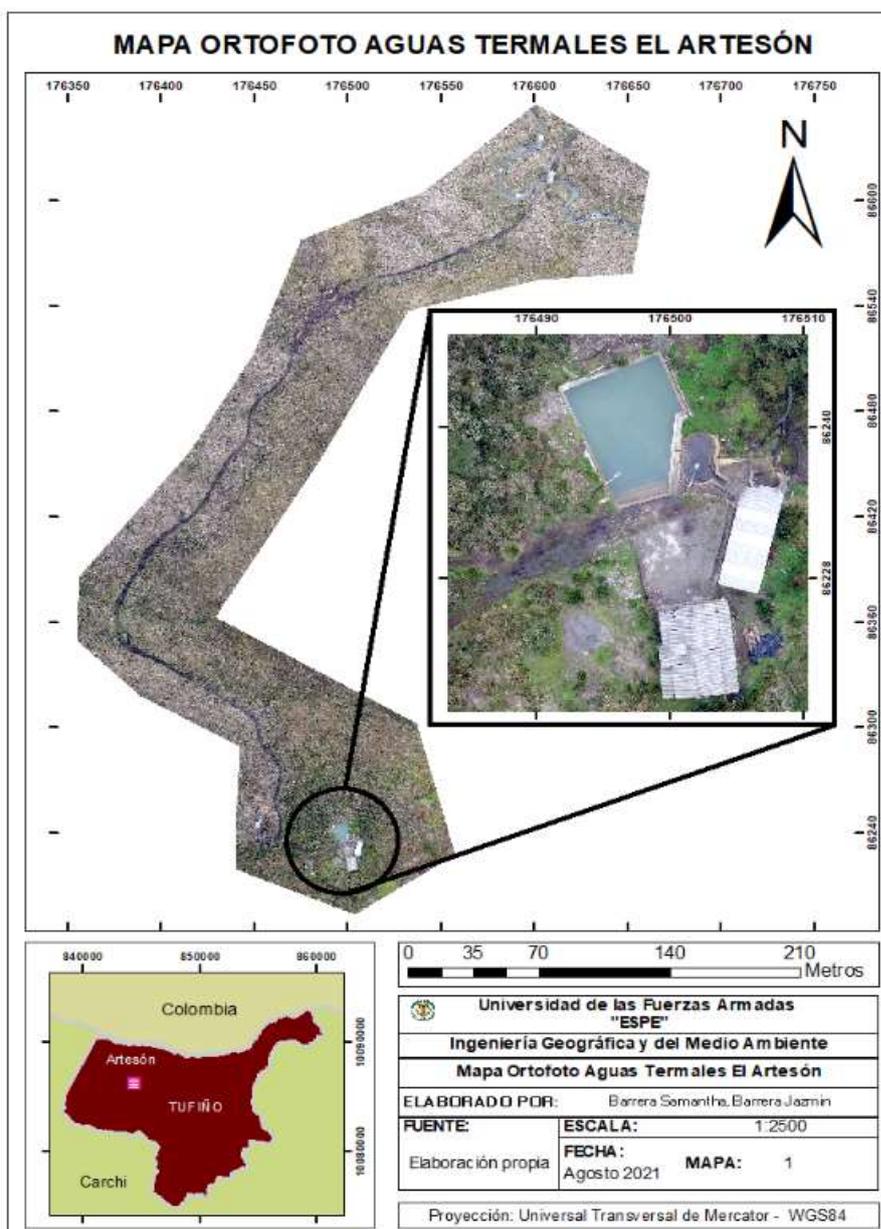
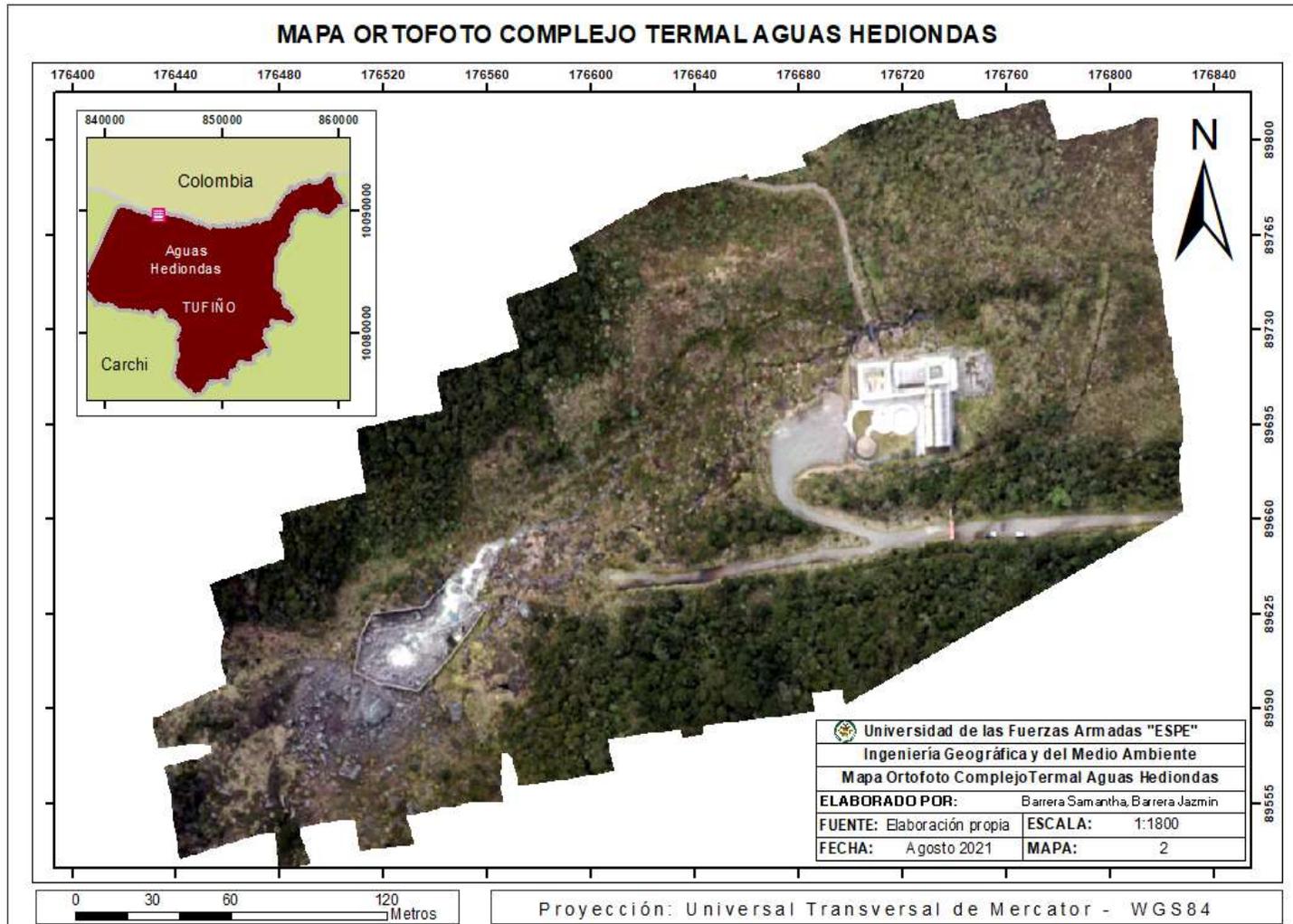


Figura 17

Mapa del ortomosaico en el complejo termal Aguas Hediondas



Como se observa en la Figura 16, de las termas El Artesón se obtuvo un ortomosaico que abarcó el total del complejo termal, incluido parte del sendero que sirve como acceso al mismo. En la imagen se puede visualizar que el Artesón cuenta con dos piscinas de diferentes tamaños que son abastecidas a través de un sistema de tuberías plásticas ubicadas desde el punto de surgencia de las aguas termales, una zona de vestidores y una cabaña que es usada por los turistas que acuden al lugar para acampar. Además, la vegetación que rodea las termas es en su mayoría de pajonales y frailejones.

Por otra parte, en la Figura 17 se puede observar el total de la estructura del complejo turísticos Aguas Hediondas, incluida parte de la vía que es usada para acceder al mismo. En la imagen se puede visualizar que el complejo termal cuenta con una estructura cubierta donde se encuentran dos piscinas de diferentes tamaños, mientras que en la parte exterior está ubicada la piscina principal, todas abastecidas a través de un sistema de tuberías plásticas ubicadas desde el punto de surgencia de las aguas termales localizado en la parte superior del lugar. Además, debido a la cantidad de gases tóxicos que se emana del suelo y agua, el lugar de surgencia de las aguas, se encuentra cercado por una estructura de ladrillos, impidiendo la entrada y salida de personal no autorizado.

Tabla 15

Características de los ortomosaicos de la zona

Termas	Áreas (ha)	Altura de vuelo (m)	Distancia Focal (m)	Escala	1/E
Artesón	6.36	73.9	0.0047	15723.40	1/16000
Aguas Hediondas	6.35	45.1	0.0047	9595.74	1/10000

Como se muestra en la Tabla 15, el área abarcada en cada terma para el vuelo del Dron fue muy similar, pese a esto la altura de vuelo fue diferente, esto se debió al área de interés de cada fuente termal.

En el caso de las termas El Artesón, se encuentran ubicadas en terrenos bajos con pendientes pronunciadas que van de medias a fuertes, además el vuelo captura el sendero por el cual se ingresa a la zona, lo que dio como resultado un ortomosaico más oblongo, mientras que Aguas Hediondas, que dispone de una estructura que la delimita, se encuentra ubicada en un área más homogénea, aunque con una vegetación arbolea en los costados, que impidió que el vuelo sea realizado a menor altura.

Como resultado se obtuvieron escalas relativamente medianas si se toma en cuenta las dimensiones del área de estudio.

Cartografía base de la zona de estudio

En la Figuras 18 y 19 se observa que En el caso de las fuentes termales El Artesón su área se encuentra mayormente constituida por paramo de Frailejones y pajonales a sus alrededores e infraestructura recientemente añadida que cubren las necesidades de sus visitantes, esto se puede evidenciar durante el trayecto del sendero, donde se encontró varios escombros de material usado. Por otro lado, el área de estudio en Aguas Hediondas cuenta con una infraestructura completa que actualmente no se encuentra en uso, además de sendero más seguros para transitar. Cabe mencionar que en las dos fuentes termales se logra observar diferentes puntos de surgencia de agua proveniente del páramo.

Figura 18

Mapa de cartografía base en las Aguas Termales El Artesón

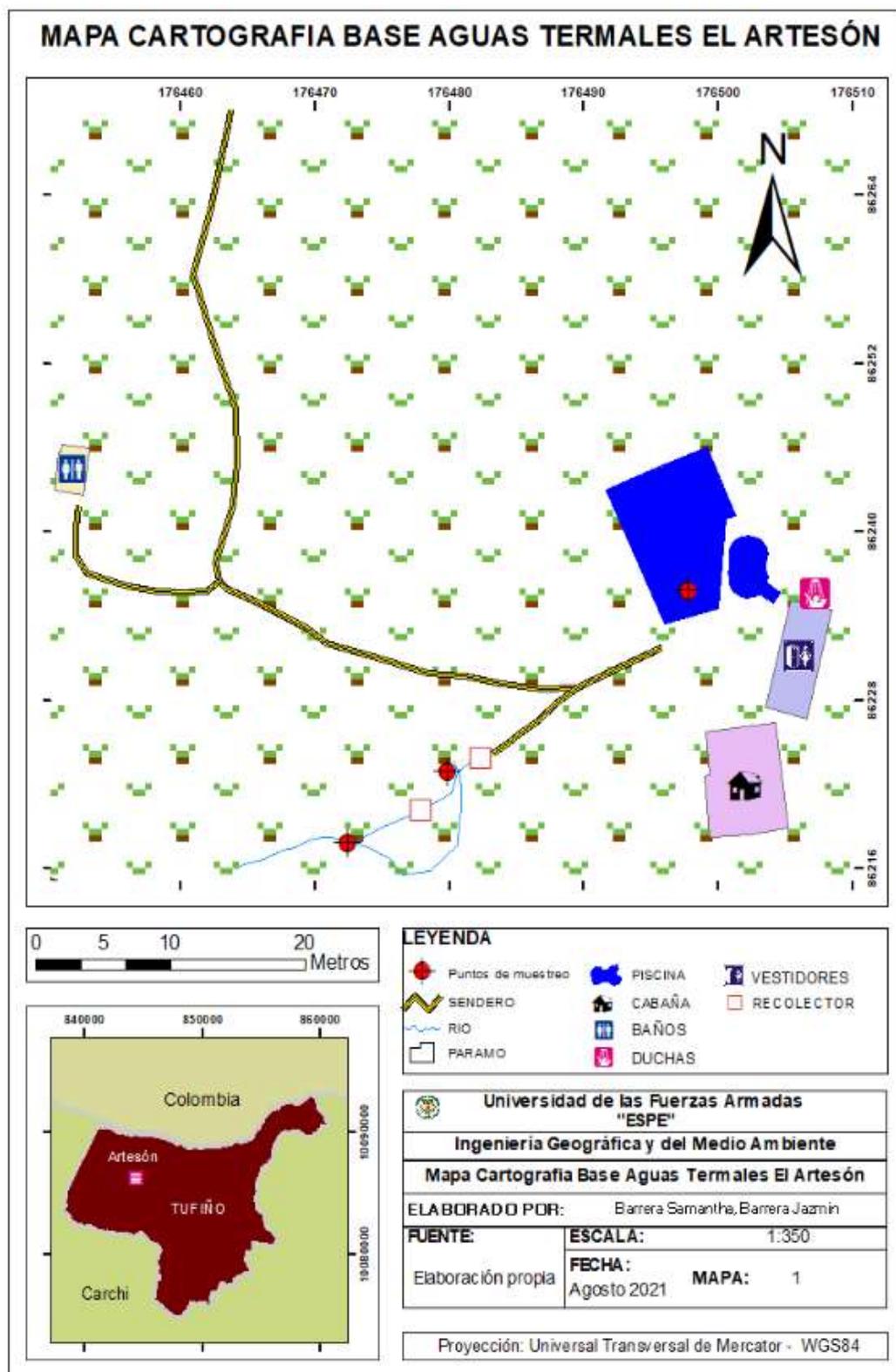
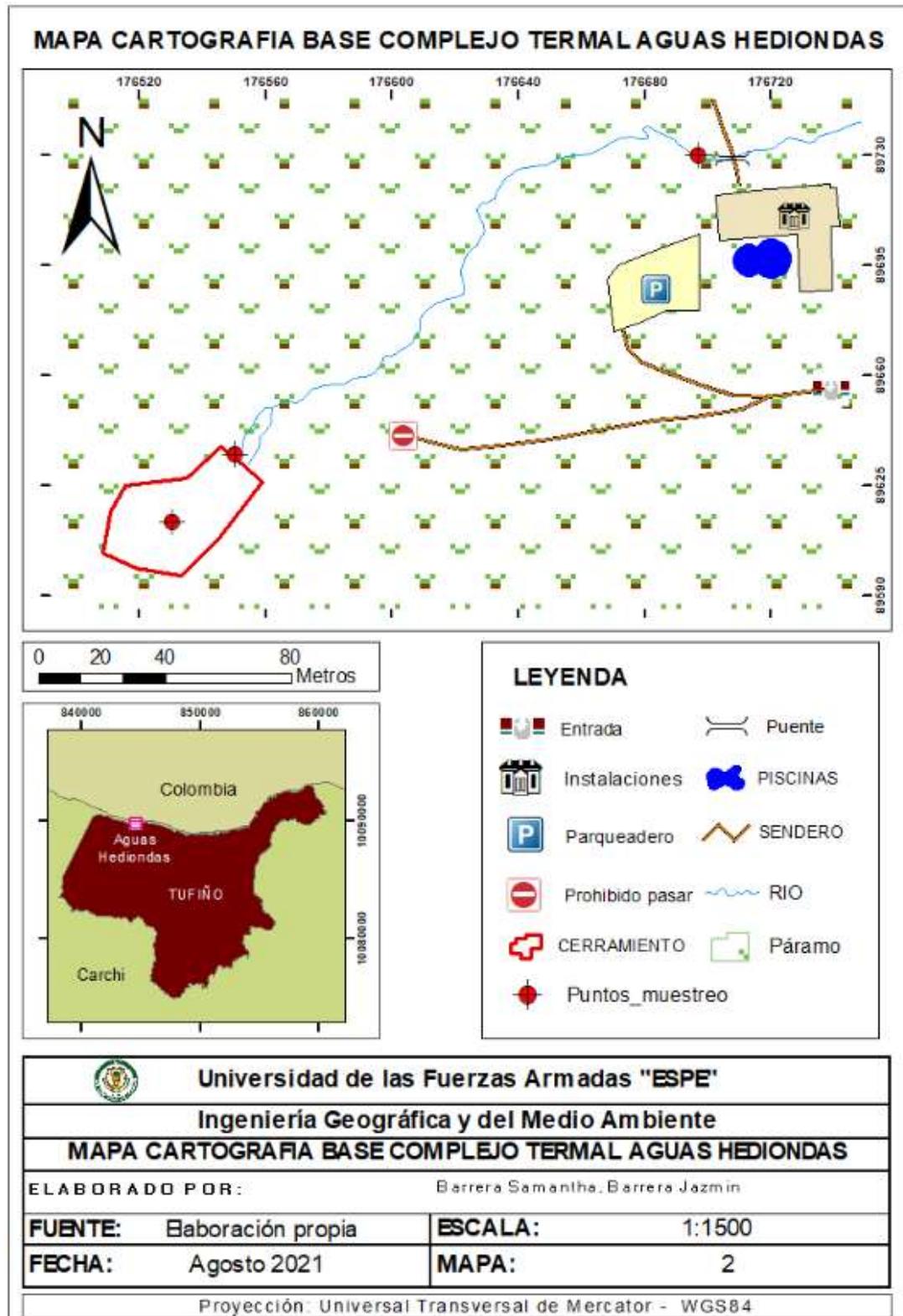


Figura 19

Mapa de cartografía base en el complejo termal Aguas Hediondas



Parámetros físico – químicos de los lodos y aguas termales

En las Tablas 16 y 17 se presentan los valores obtenidos in situ de los parámetros físicos – químicos de las muestras de aguas termales y lodos recogidos, en sus respectivas unidades.

Tabla 16

Parámetros físicos de las muestras de aguas termales

Nº	Nombre de la Muestra	T (°C)	pH	CE (μ s/cm)	STD (ppm)	OD (mg/L)
1	Pe_A	39	5.58	2193.00	1147.50	6.57
2	Pa_A	36	6.08	2179.33	1089.67	6.87
3	Pe_AH	59	3.42	5262.00	2630.50	3.27
4	Pa_AH	55	3.69	4334.67	2232.67	3.95

Los resultados físico - químicos obtenidos in situ permiten describir las propiedades básicas del agua de las fuentes termales (ver Tabla 16). Haciendo referencia a la temperatura que no varía entre los puntos muestreados en cada balneario, y según la clasificación de aguas termales propuesta en Burbano, donde se tomaron los valores de referencia de Becerra, & Pasquel (2015), Capítulo II, se puede catalogar como aguas termales a las encontradas en El Artesón y como hipertermales a las halladas en el complejo Aguas Hediondas. La temperatura de las aguas termales osciló entre 36°C (muestra 2) y 59 °C (muestra 3), presentando un gradiente térmico de 23°C. Estos resultados son similares a los presentados en el estudio de Benítez, Mostue & López (2015), municipio Libertador – Venezuela, donde explican que estas variaciones pueden producirse debido a la mezcla con aguas más frías procedentes de áreas superiores del acuífero y/o a interacciones con el terreno aledaño.

En cuanto al pH, según el TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 6. Criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto primario, ninguna muestra tomada se encuentra dentro de los límites permisibles (6,5 - 8,3). Además,

debido al pH que poseen, estas son aguas altamente ácidas, consecuencia de los equilibrios que se establecen por la presencia del ácido sulfhídrico (y su derivado de oxidación, sulfato) (Moreno C. , Díaz, Caraballo, Chacón, & Baptista, 2008). Por otra parte, los valores de pH en las muestras varían de forma inversamente proporcional a la temperatura (Arnórsson, Bjarnason, Giroud, Gunnarsson, & Stefánsson, 2006), de manera que a medida que aumenta la temperatura el pH disminuye, volviéndolo más ácido como es el caso de Aguas Hediondas.

En el caso de la conductividad eléctrica, las termas El Artesón poseen valores inferiores a los 3000 $\mu\text{s/cm}$ mientras que en Aguas Hediondas estos rangos sobrepasan el límite establecido, dotando a estas termas de un contenido elevando de salinidad (Olías, Cerón, & Fernández, 2005), mientras que los valores de los sólidos totales disueltos oscilaron entre 1089.67 ppm (muestra 2) y 2630.50 ppm (muestra 3). Los valores de conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos en soluciones acuosas son directamente proporcionales (Barraza, 2017), y para el presente estudio indican que estas son aguas de mineralización importante (Benítez, Mostue, & López, 2015).

Por último, según TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 6. Criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto primario, los valores de oxígeno disuelto no deben ser menores a 6 mg/l, notándose que las dos muestras de agua tomadas en el balneario Aguas Hediondas no cumplen con este criterio (TULSMA, 2015).

Tabla 17

Parámetros físicos de las muestras de lodos termales

Nº	Nombre de la Muestra	T (°C)	pH	CE ($\mu\text{s/cm}$)
1	Ps_A	16.1	4.12	143
2	Ps_AH	26.3	5.74	532

Los resultados físico - químicos obtenidos in situ permiten describir las propiedades básicas de las muestras de sedimentos de las fuentes termales (ver Tabla 17). Haciendo referencia al pH, según el TULSMA, Libro VI, Anexo 2, Tabla 1. Criterios de calidad del suelo, ninguna muestra tomada se encuentra dentro de los límites permisibles establecidos dentro del rango de 6 a 8. En el caso de la conductividad eléctrica, las termas El Artesón poseen una conductividad inferior al límite permisible de 200 $\mu\text{s/cm}$, mientras que en aguas Hediondas este valor fue de 532 $\mu\text{s/cm}$, lo que indica que estas aguas son más salinas (TULSMA, 2015).

Composición iónica de los lodos y aguas termales

En las Tablas 18 y 19 se presentan la composición de cationes y aniones prioritarios obtenidos de las muestras de aguas termales, además de la composición de los lodos recogidos, en sus respectivas unidades.

Tabla 18

Composición iónica de las muestras de aguas presentadas en mg/L.

Nº	Parámetro	Pe_A	Pa_A	Pe_AH	Pa_AH
1	Bicarbonatos	468.10	486.60	<20.00	<20.00
2	Sulfatos	262.00	301.60	877.3	886.5
3	Cloruros	34.40	26.00	418.00	394.7
4	Sulfuros	<0.30	<0.30	105.03	13.48
5	Calcio	93.50	91.54	90.33	88.95
6	Magnesio	52.56	51.54	56.35	55.25
7	Manganeso	0.229	0.197	3.97	3.91
8	Hierro	11.31	1.58	<0.10	<0.10
9	Sodio	160.08	147.17	318.18	329.98
10	Potasio	27.70	25.69	56.44	61.52
11	Boro	2.51	1.16	6.80	6.70
12	Nitratos	<1.00	<1.00	14.36	1.99
13	Fosfatos	<1.23	<1.23	29.21	<1.23
14	Fenoles	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
15	Tensoactivos	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10

16	Parásitos Nemátodos Intestinales	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
17	Coliformes totales	<1.80	4.5	<1.80	<1.80
18	Coliformes fecales	<1.80	1.8	<1.80	<1.80
19	Sólidos Suspendidos Totales	50.00	14.00	<10.00	<10.00
20	Grasas y aceites	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
21	Materia Flotante	Presencia	Presencia	Ausencia	Ausencia

De acuerdo a la Tabla 18, y haciendo referencia los límites máximos establecidos en el TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 6. Criterios de calidad de aguas para fines recreativos, los parámetros microbiológicos analizados en laboratorio cumplen con la normativa a excepción del material flotante, el cual se encontraba presente en los puntos de surgencia y aprovechamiento de las termas, materializado en forma de algas en las superficies acuosas de las termas para el caso del balneario El Artesón, contrario a las aguas presentes en las termas Aguas Hediondas, cuyas muestras cumplen con todas las normativas.

Tomando como referencia los límites máximos establecidos en el TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 1. Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico, los sulfatos exceden los límites máximos permisibles en el caso de Aguas Hediondas, mientras que en El Artesón se encontraron valores que superan los criterios admisibles de hierro, siendo el punto de surgencia de las aguas, el que mayor concentración posee (TULSMA, 2015).

Haciendo referencia a los bicarbonatos presentes en las muestras de agua, los valores oscilaron entre 486.60 mg/L (Artesón) y <20.00 mg/L (Aguas Hediondas), valores notoriamente inferiores a los de Benítez, Mostue & López (2015), que fluctuaron entre 705.70 y 1009 mg/L, lo que afecta al pH del agua, catalogando a estas últimas como alcalinas. Además, los bicarbonatos presentes en los cuerpos de agua, deben su origen al desgaste y disolución de rocas, ocasionado por la disolución de CO₂ en el agua (Raffo, 2013), adicionado a la

nulidad de materia orgánica presente en la terma Aguas hediondas, resulta en la baja concentración de bicarbonatos en sus aguas.

Entre los aniones mayoritarios, los valores de sulfatos varían entre los puntos muestreados en cada balneario entre 262 mg/L (Artesón) a 886.5 mg/L (Aguas Hediondas) parecidos a los del estudio de Llahuilla (2019), San Antonio de Putina – Perú, donde explica que los sulfatos proceden de la oxidación de sulfuros, del lavado de rocas ígneas y de la reducción de este ion en presencia de bacterias o materia orgánica, con aguas de pH < 7 (Marrero, 2010). Por otra parte, los valores de cloruro de las aguas termales oscilaron entre 26 mg/L (Artesón) y 418 mg/L (Aguas Hediondas), valor significativamente más alto, lo que puede deberse a la elevada solubilidad de sus sales, que pasan rápidamente a la fase acuosa alcanzando concentraciones significativas, y al aporte del agua de lluvia que es una fuente importante de ion cloruro (Llahuilla, 2019).

Las aguas subterráneas con las mayores concentraciones de cloruros, sulfatos y otros aniones, suelen encontrarse próximas a zonas volcánicas, lo que puede relacionar la composición de estas aguas a los gases disueltos en el acuífero (Marrero, 2010), y a la posible disolución de minerales como el sulfuro (Chao & Sanzalone, 1977)

Entre los cationes encontrados está el sodio, con una concentración que va de 147.17 mg/L (Artesón) y en mayor abundancia 329.98 mg/L (Aguas Hediondas), parecidos a los obtenidos en el estudio de Armijo, et al. (2008), Colón - Argentina, lo que puede deberse al aporte de las aguas naturales circundantes a los acuíferos (Inserra, 2014), pues proviene de rocas y de suelos que se encuentran de forma natural en el agua. Su abundancia depende de la geología y de la contaminación del agua (Teutli, 2007). Luego se presenta el calcio, con valores que fluctúan entre 88.95 mg/L y 93.50 mg/L, seguido del magnesio con valores máximos de 56.35

mg/L, y por último el potasio con valores que oscilan entre 25.69 mg/L (Artesón) y en mayor abundancia 64.52 mg/L (Aguas Hediondas).

La concentración de cationes como el sodio, potasio y magnesio se da en aguas con una alta concentración carbonatos disueltos, principalmente en forma de bicarbonatos, lo que indica el aumento del contenido de cationes en el agua, la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos, producto de la disolución de CO₂ de las aguas subterráneas de origen volcánico-termal (Marrero, 2010).

Tabla 19

Composición iónica de las muestras de lodos en mg/kg.

Nº	Parámetro	Artesón	Aguas Hediondas
1	Cobre	9.03	33.94
2	Arsénico	736.56	79.57
3	Mercurio	<0.10	<0.10
4	Fluoruros	8.9	4.4
5	Plomo	2.37	4.30
6	Cromo Total	2.59	16.30
7	Hierro	44887.50	6419.70
8	Cadmio	5.85	0.558
9	Plata	1.48	<0.50

De acuerdo a la Tabla 19, y haciendo referencia los límites máximos establecidos en el TULSMA, Libro VI, Anexo 2, Tabla 1. Criterios de calidad de suelos, el arsénico es un elemento traza que incumple con el valor establecido que es de 12 mg/kg, superando en gran proporción el contenido de este metal en los lodos del Artesón, en una relación de 10:1 respecto a los lodos de Aguas Hediondas, siendo este último de 79.57 mg/Kg. Estos resultados son similares a los obtenidos en algunas de las muestras analizadas en Turquía, en el estudio de Çelik & Karakaya, (2018), esto puede deberse al parecido geológico sobre el cual se tomaron estas muestras, además este metal raramente es encontrado en estado libre, pero es abundante en suelos con gran abundancia de sulfuros, oxígeno y

componentes de hierro. El arsénico es un elemento significativamente tóxico, por ello su uso es limitado en fármacos y productos cosméticos (Komar, et al., 2015). La exposición dérmica al arsénico presente en peloides contribuye con menos del 3% de adsorción a través de la piel, por ende, es poco probable que sea perjudicial para la salud (Çelik & Karakaya, 2018), siempre que no ingrese directamente en el organismo. Sin embargo, hay que prestar atención al contenido y uso de arsénico, debido a que es un metal altamente perjudicial para el medio ambiente.

De la misma manera el cadmio es otro metal que se encuentra en abundancia en estos lodos, e incumple el valor establecido de 0.5 mg/kg, mismo que supera la concentración hallada en El Artesón de 5.85 mg/kg, valor 10 veces mayor al de los lodos tomados en Aguas Hediondas. Haciendo referencia al contenido de plomo en las muestras de lodos, el contenido de este metal en las termas El Artesón es de 1.48 mg/kg, valor notoriamente menor al presentado en el estudio de Suárez, et al. (2015), San Diego de los Baños – Cuba; pese a que en los dos trabajos existe gran cantidad de materia orgánica, medio afín para este metal (Marcovecchio & Ferrer, 2005), los complejos que puedan derivarse del plomo no se movilizan si es que el pH tiende a ser alcalino (Suárez, et al., 2015).

La presencia de elementos traza como el As, Hg, Pb y Cd en los peloides ya sea en fase sólida o líquida, puede resultar ser tóxico para el ser humano, y peligroso para el medio ambiente (Çelik & Karakaya, 2018), además, su posible unión con compuestos orgánicos derivados de sus procesos de maduración facilitarían la penetración a través de la piel (Gómez, 2012), pues se liberan compuestos que se incorporan al sedimento original (Veniale, Bettero, Jobstraibizer, & Setti, 2007). Adicionalmente, estos elementos pueden encontrarse de forma natural en forma de partículas absorbentes/adsorbentes y en las composiciones mineralógicas de uso terapéutico (Suárez, et al., 2015).

Por último, el cobre encontrado en la muestra de lodo de Aguas Hediondas supera el valor establecido en la normativa vigente de 25 mg/kg (Ministerio del Ambiente, 2017), pese a esto las concentraciones encontradas no generan una alta contaminación (Komar, et al., 2015)

Cabe mencionar que la muestra de lodo de las fuentes termales El Artesón fue tomada en una de las paredes de la zona de surgencia del agua termal, mientras que la muestra de Aguas Hediondas, fue tomada a 0.25 km de los sitios de muestreo. Este puede ser el causante de la diferencia de las concentraciones en algunos parámetros, pues las condiciones de muestreo como temperatura, pH, y el flujo del agua no fueron las mismas.

Caudal de las fuentes termales

En la Tabla 20 se presentan los caudales obtenidos en las aguas termales en sus respectivas unidades.

Tabla 20

Caudal de las termas de estudio en m³/s

Parámetro	Artesón	Aguas Hediondas
Caudal	0.00158	0.00355

Como se observa en la Tabla 20, los caudales entre las dos fuentes termales no varían significativamente, aunque cabe recalcar que en las aguas termales El Artesón se hallaron varios puntos continuos desde donde emergen sus aguas, las cuales eran receptadas en un pozo desde el cual se hacia la distribución del agua a las dos piscinas que se dispone en el balneario a través de tuberías plásticas, por ello, el caudal determinado fue la suma de los dos caudales.

Por otro lado, en el complejo turístico Aguas Hediondas existen varios puntos de surgencia del agua, los mismos que son recolectados en un tanque de almacenamiento para ser mezclados con agua fría y distribuidos a las piscinas del complejo. Por motivos de pandemia, estos caudales no se encuentran en

funcionamiento, por ello, el caudal fue medido a partir del flujo de agua libera directamente al ambiente.

Comparación de las muestras tomadas en Aguas Hediondas con estudios previos

Debido a la disponibilidad de información del Complejo Turísticos de Aguas Hediondas, se procedió a realizar una comparación de los datos obtenidos en el presente proyecto de disertación con estudios previos como se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21

Comparación de la composición iónica de las muestras de aguas tomadas con estudios previos.

Nº	Parámetro	Pe_AH	Pa_AH	Inguaggiato, et al., (2010)	Carrera & Guevara (2016)	Hidalgo, A. (2016)
1	Bicarbonatos	<20.00	<20.00	-	24.40	33.60
2	Sulfatos	877.30	886.50	816.03	702.72	703.16
3	Cloruros	418.00	394.70	-	-	-
4	Sulfuros	105.03	13.48	-	-	-
5	Calcio	90.33	88.95	90.98	87.57	87.77
6	Magnesio	56.35	55.25	48.00	70.18	70.48
7	Manganeso	3.97	3.91	-	-	-
8	Hierro	<0.10	<0.10	-	-	-
9	Sodio	318.18	329.98	201.16	148.50	149.43
10	Potasio	56.44	61.52	40.27	56.61	56.59
11	Boro	6.80	6.70	-	1.78	1.78
12	Nitratos	14.36	1.99	-	4.60	4.60
13	Fosfatos	29.21	<1.23	-	7.90	7.90
14	pH	3.42	3.69	4.60	4.96	4.96
15	T (°C)	59.00	55.00	52.50	58.00	58.00
16	CE (µs/cm)	5262	3443.67	1850	1833	1833

El análisis de los resultados físico - químicos obtenidos en el laboratorio permitieron describir la composición del agua de las fuentes termales (ver Tabla 22). Haciendo referencia a aniones mayoritarios predominan los sulfatos, cloruros, sulfuros, nitratos y en menor concentración los bicarbonatos.

Los sulfatos presentaron concentraciones que oscilaron entre 877.3 mg/L y 886.5 mg/L, valores que son cercanos al establecido en el estudio de Inguaggiato, et al. (2010), pero algo diferentes al estudio de Carrera & Guevara (2016) e Hidalgo (2016) que fueron de 702.72 mg/L y 703.16 mg/L, siendo estos dos últimos realizados en el mismo año de investigación, lo que explicaría su semejanza, esto podría ocasionar que estas aguas se tornen ácidas o ligeramente ácidas como es el caso del estudio de Benítez, Mostue & López (2015).

Le siguen los cloruros en concentraciones que van desde los 394.70 mg/L a los 418 mg/L, lo que supone según la Organización Panamericana de la Salud (2012), que el agua permanece en contacto directo con rocas tanto en los recorridos subterráneos como al emerger a la superficie ocasionando que estas iones debido a la elevada solubilidad de sus sales presentes en suelos y rocas alcancen concentraciones altas.

Los datos obtenidos de sulfuro oscilan entre los 105.03 mg/L en el punto de surgencia de las aguas y 13.48 mg/L en su punto de salida. Este compuesto proviene del azufre que al combinarse con un elemento químico como el hidrógeno genera un olor característico en las aguas y en los gases tóxicos que se liberan al ambiente (IDEAM, 2007), como el que está presente en el complejo turístico. Además, el gas que desprende este compuesto es inflamable y tóxico para toda forma de vida (ATSDR, 2014), por tal motivo el punto de surgencia de las aguas donde las concentraciones han sido abundantes ha sido aislado dentro de una estructura cerrada con el fin de evitar decesos como ha ocurrido anteriormente.

De acuerdo a los límites máximos establecidos en el TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 1. Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico las concentraciones de nitratos son muy peligrosas cuando exceden los 50 mg/L, obteniendo que las concentraciones tomadas en los puntos de muestreo oscilan entre 1.99 a 14.36 mg/L, muy por debajo de la normativa vigente.

La concentración de bicarbonatos en este tipo de aguas para el presente proyecto fue de 20 mg/L, valor que es cercano al establecido en el estudio de Carrera & Guevara (2016), pero algo diferente al estudio de e Hidalgo (2016) cuyo valor fue de 33.60 mg/L. Esto puede deberse a las propiedades del bicarbonato, que se torna insoluble al aumentar la temperatura, es por ello que la concentración es menor (Rojas , 2017).

Haciendo referencia a cationes mayoritarios predomina el sodio, calcio, potasio, magnesio y en menor concentración el hierro y manganeso. El sodio presentó concentraciones que oscilaron entre 318.18 mg/L y 329.98 mg/L, valores que difieren a los establecidos en el estudio de Inguaggiato, et al. (2010) que fueron de 201.16 mg/L, y se puede decir que duplican a los obtenidos por Carrera & Guevara (2016) e Hidalgo (2016) que fueron de 148.50 mg/L y 149.43 mg/L respectivamente, siendo estos dos últimos realizados en el mismo año de investigación, lo que explicaría su semejanza. (Inguaggiato, Hidalgo, Beate, & Bourquin, 2010)

Los datos obtenidos en el presente proyecto presentan concentraciones de calcio que oscilan entre los 88.95 mg/L a 90.33 mg/L, valores que son cercanos los estudios realizados por Inguaggiato, et al. (2010), Carrera & Guevara (2016) e Hidalgo (2016) cuyos rangos van de 87.77 mg/L a 90.98 mg/L, mientras que las concentraciones de magnesio cuyos valores van de 55.25 mg/L a 56.35 mg/L, difieren de los presentados por Carrera & Guevara (2016) e Hidalgo (2016) cuyas concentraciones oscilan entre 70.18 mg/L a 70.48 mg/L respectivamente. La

presencia de calcio y magnesio determina la dureza total del agua, cuyos valores para las presentes muestras oscilan entre 143.08 mg/L a 146.68 mg/L lo que les da la característica de una dureza moderada (Soto, 2010). Según Neira (2006), las aguas duras, con alto contenido de calcio y magnesio, en forma de carbonato o bicarbonato, están disueltos en el agua, determinan su contenido en cal, que adicionando a las propiedades de insolubilidad que poseen, desarrollan la capacidad de depositarse en los suelos por donde circulan, dotando a las rocas de un color blanquecino, como es el caso del complejo turístico Aguas Hediondas.

Por último, las concentraciones de potasio halladas en este proyecto no varían en su mayoría a las de los estudios de Carrera & Guevara (2016) e Hidalgo (2016) cuyo rango va entre 56.61 mg/L a 61.52 mg/L. Cabe mencionar que los valores de hierro no presentaron valores significativos para el presente estudio.

Determinación de la calidad del agua

En la Tabla 22 se presentan los valores obtenidos para la evaluación de la calidad de las dos fuentes de aguas termales, para ello se empleó el Índice Simplificado de Calidad del Aguas (1), Capítulo II, como se muestra a continuación:

Tabla 22

Índice de calidad del agua en cada punto muestreado

Punto de muestreo	ISQA	Categoría
Pe_A	47.24	3
Pa_A	54.94	3
Pe_AH	29.56	1
Pa_AH	33.41	2

Los valores del ISQA permitieron clasificar el recurso agua, partiendo de rangos establecidos de tal manera que permitan evaluar los usos que se les puede dar. En el caso de las fuentes termales El Artesón, se obtuvieron valores que oscilan entre los 47.24 a 54.94, mismo que puede ser utilizada para consumo

humano siempre y cuando sea tratada, además, puede ser usada en sectores industriales y actividades de riego (Torres, Cruz, & Patiño, 2009).

En el punto de salida del recurso termal de Aguas Hediondas se obtuvo un valor de ISQA de 33.41 lo que indica que esta agua pese a no ser recomendable para el consumo humano, puede ser aprovechada para fines recreacionales. Contrario al uso que debería dársele a estas aguas, usualmente las personas que visitan el lugar, acostumbran a ingerir el agua debido a los efectos laxantes y medicinales que ellos creen que posee. De acuerdo a los datos obtenidos, se puede inferir que por su alto contenido de sulfatos no es tóxico, pero produce este efecto, además de deshidratación a quienes la ingieren (Bolaños, Cordero, & Segura, 2017).

Mientras que, en el punto de surgencia del recurso termal de Aguas Hediondas se obtuvo un valor de ISQA de 29.56 lo que nos indica que no se le puede dar un uso al recurso en su estado actual, por tal motivo, las autoridades propietarias del balneario han optado por mezclar esta agua con corrientes frías provenientes del páramo que las rodea antes de que sea distribuido a las piscinas de tal manera que pueda ser apto para el uso de los visitantes (Bolaños, Cordero, & Segura, 2017). Cabe mencionar que las personas no deben permanecer más de 15 minutos en estas aguas, debido a las altas temperaturas y a la concentración de metales que poseen, mismas que podría ocasionar efectos adversos.

Determinación de la calidad de los lodos

Factor de enriquecimiento

En la Tabla 23 se presentan los valores obtenidos para la cuantificación del grado de contaminación por metales pesados en las muestras de sedimentos tomadas, para ello se empleó el factor de enriquecimiento (3), Capítulo II, como se muestra a continuación:

Tabla 23*Factor de enriquecimiento en las muestras de suelo*

Parámetro	Artesón	Categoría	Aguas Hediondas	Categoría
Cobre	0.20	<i>Originarios de la Roca Madre</i>	5.26	<i>Originarios de la Roca Madre</i>
Arsénico	709.69	<i>Alto enriquecimiento</i>	536.07	<i>Alto enriquecimiento</i>
Mercurio	2.14	<i>Originarios de la Roca Madre</i>	14.97	<i>Moderadamente enriquecidos</i>
Plomo	0.76	<i>Originarios de la Roca Madre</i>	9.66	<i>Originarios de la Roca Madre</i>
Cromo	0.03	<i>Originarios de la Roca Madre</i>	1.29	<i>Originarios de la Roca Madre</i>
Cadmio	51.24	<i>Moderadamente enriquecidos</i>	34.17	<i>Moderadamente enriquecidos</i>
Plata	259.27	<i>Moderadamente enriquecidos</i>	612.46	<i>Alto enriquecimiento</i>

Partiendo de los resultados obtenidos en el cálculo del factor de enriquecimiento (ver Tabla 23), y haciendo referencia al estudio realizado por Juárez, et al., (2005), donde se estableció una escala que permite determinar el origen de un elemento cualquiera presente en sedimentos a través del establecimiento de las clases entre los factores de enriquecimiento de un metal pesado, se puede afirmar que los elementos traza encontrados en las muestras de las termas El Artesón que fueron el cobre, mercurio, plomo y cromo se encuentran catalogados como originarios de la Roca Madre cuyos valores oscilan entre 0.03 a 2.14, mientras que para el caso del cadmio y la plata se obtuvieron valores que se comprenden en un rango de 51.24 a 259.27, mismos que se encuentran considerados como moderadamente enriquecidos por acción de otras fuentes adicionales a la de la roca madre (Juárez, Fuente, & Paulín, 2005). Por último, se hace énfasis al arsénico cuyo valor de 709.69 indica un alto enriquecimiento de este metal en los sedimentos tomados.

Para el caso de Aguas Hediondas, los valores que oscilan entre 1.29 a 9.66 se presentan un enriquecimiento de cobre, plomo y bromo proveniente de la roca madre, mientras que el mercurio y cadmio presenta un enriquecimiento moderado por acciones de otras fuentes adicionales a las de la roca madre. Por último, el arsénico y la plata cuyos valores van de 536.07 a 612.46 nos indican que existe un alto enriquecimiento de este metal en los sedimentos tomados.

Índice de geo acumulación

En la Tabla 24 se presentan los valores obtenidos para la evaluación del grado de contaminación por metales pesados en las muestras de sedimentos tomadas, para ello se empleó el índice de geo acumulación (4) como se muestra a continuación:

Tabla 24

Índice de geo acumulación en las muestras de suelo

Parámetro	Artesón	Categoría	Aguas Hediondas	Categoría
Cobre	0.02	No contaminados	0.08	No contaminados
Arsénico	73.91	Extremadamente contaminados	7.98	Extremadamente contaminados
Mercurio	0.22	No contaminados	0.22	No contaminados
Plomo	0.08	No contaminados	0.14	No contaminados
Cromo	0.003	No contaminados	0.02	No contaminados
Cadmio	5.34	Extremadamente contaminados	0.51	No contaminados
Plata	27.002	Extremadamente contaminados	9.12	Extremadamente contaminados

Partiendo de los resultados obtenidos en el cálculo del índice de geo acumulación (ver Tabla 24), y haciendo referencia a los metales encontrados en El Artesón, se puede destacar la presencia de arsénico en mayor abundancia con un valor de 73.91, seguido de la plata con 27.002 y en menor proporción el cadmio con 5.34 como elementos con un índice de geo acumulación categorizado en el nivel 6

lo que indica que la calidad de los sedimentos o lodos tomados de esta zona están extremadamente contaminados; mientras que los metales como el cromo con un valor de 0.003, el cobre con 0.021, el mercurio con 0.022 y plomo con 0.08 presentaron un índice de geo acumulación categorizado en el nivel 1, lo que nos indica que la calidad de los sedimentos o lodos tomados respecto a estos elementos en esta zona no presentan contaminación o se encuentran moderadamente contaminados (Loska, Cebula, Pelczar, Wiechula, & Kwapulinski, 1997).

Por otro lado, y haciendo referencia a los metales encontrados en Aguas Hediondas, se puede destacar la presencia de plata en mayor proporción respecto a los demás elementos traza con un valor de 9.12, seguido del arsénico con 7.98 como elementos con un índice de geo acumulación categorizado en el nivel 6 lo que indica que la calidad de los sedimentos o lodos tomados de esta zona están extremadamente contaminados; mientras que los metales como el cromo con un valor de 0.02, el cobre con 0.021, el mercurio con 0.022, plomo con 0.14 y cadmio con 0.51 presentaron un índice de geo acumulación categorizado en el nivel 1, lo que nos indica que la calidad de los sedimentos o lodos tomados respecto a estos elementos en esta zona no presentan contaminación o se encuentran moderadamente contaminados (Loska, Cebula, Pelczar, Wiechula, & Kwapulinski, 1997).

Cabe recalcar que los lodos presentes en El Artesón presentan un mayor grado de contaminación en arsénico y plata respecto al complejo de Aguas Hediondas, esto a causa del lugar donde fueron tomadas las muestras.

Riesgo ecológico potencial

A continuación, se presentan los valores obtenidos para la evaluación de los riesgos ecológicos resultantes de la contaminación por metales pesados en las muestras de sedimentos tomadas, para ello calculó el factor individual de

contaminación (6) de cuya sumatoria se obtuvo el índice del Riesgo ecológico potencial (5) como se muestra a continuación:

Tabla 25

Factor de riesgo ecológico individual en las muestras de suelo

Parámetro	Artesón	Categoría	Aguas Hediondas	Categoría
Cobre	0.52	Bajo	1.95	Bajo
Arsénico	3682.8	Muy Alto	397.85	Muy Alto
Mercurio	44.44	Moderado	44.44	Moderado
Plomo	1.98	Bajo	3.58	Bajo
Cromo	0.03	Bajo	0.19	Bajo
Cadmio	797.73	Muy Alto	76.09	Moderado
Plata	134.55	Considerable	45.45	Moderado

Partiendo de los resultados obtenidos en el cálculo del factor individual de contaminación (ver Tabla 25), y haciendo referencia la escala propuesta por Hakanson (1980), se puede destacar entre los metales encontrados en El Artesón, el grado de riesgo que el arsénico representa con un valor de 3682.8, seguido del cadmio con 797.73, mismo que son categorizados con un riesgo ecológico potencial demasiado alto para los metales en cuestión; por otro lado, la plata obtuvo un valor de 134.55 que la determina como un riesgo ecológico potencial considerable, mientras que el mercurio con un valor de 44.44 es catalogado como un riesgo potencialmente moderado. Por último, los elementos trazada que presentan un bajo riesgo potencial para el ambiente son el plomo con un valor de 1.98, seguido del cobre con 0.52 y el cromo con 0.03 (Arteaga & Plata, 2018).

Así mismo, de los metales encontrados en Aguas Hediondas, se puede destacar que el arsénico con un valor de 397.85 representa un riesgo ecológico potencial demasiado alto. El cadmio con un valor de 76.09, la plata con 45.45 y el mercurio con 44.44 son metales catalogados con un riesgo potencialmente moderado. Por último, los elementos trazada que presentan un bajo riesgo

potencial para el ambiente son el plomo con un valor de 3.85, seguido del cobre con 1.95 y el cromo con 0.19 (Arteaga & Plata, 2018).

Cabe recalcar que el plomo, cobre y mercurio son los elementos traza que representa el menor riesgo ecológico, opuesto al arsénico que es potencialmente riesgoso para ambas termas, aunque a diferentes escalas.

Tabla 26

Índice de riesgo ecológico en las muestras de suelo

Terma	RI	Categorías
Artesón	4662.04	<i>Alta Toxicidad</i>
Aguas Hediondas	569.56	<i>Considerable Toxicidad</i>

De acuerdo a la clasificación de Zanjani, Saeedi & Li (2015), los lodos tomados del complejo turístico Aguas Hediondas representan una considerable toxicidad con un índice de riesgo ecológico de 569.56 respecto al Artesón, cuyo índice es de 4662.04, representando una alta toxicidad para el medio ambiente, los ecosistemas y los sistemas biológicos que en él se desarrollan (Cabrera, 2018). Se destaca que el metal que más aporta para al índice es el arsénico en el caso de las dos termas, seguido del cadmio para el caso de las termas El Artesón.

CAPITULO V

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL – LÍNEA BASE

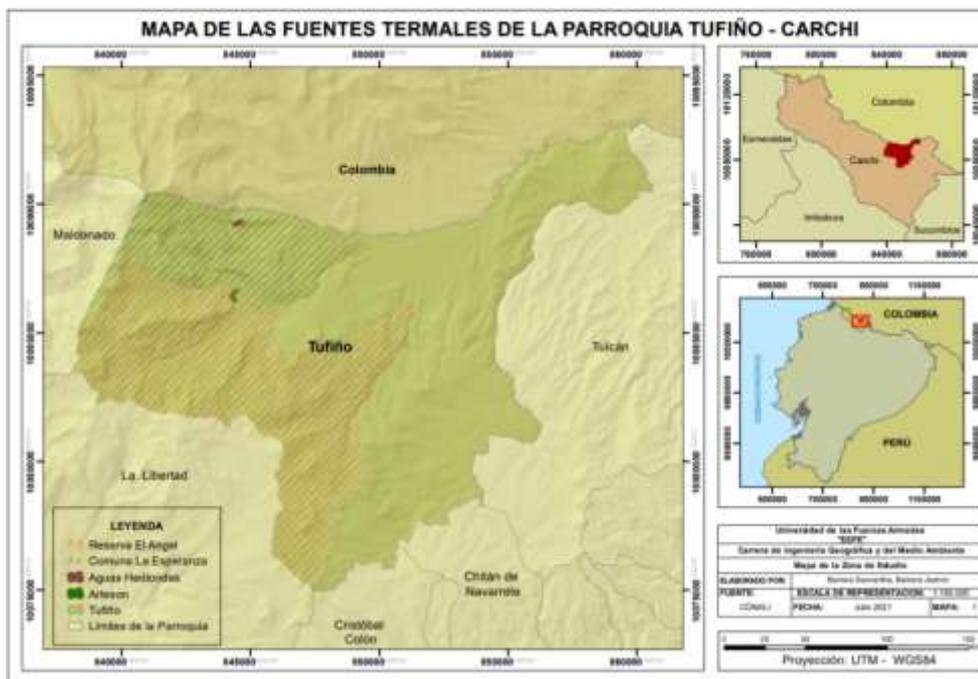
Aspectos Generales

Ubicación del proyecto en el área de estudio

La parroquia de Tufiño se ubica en el sector septentrional del Ecuador, al noreste del cantón Tulcán, en la provincia del Carchi. Posee una extensión total de 178.93 km² (GAD Parroquial de Tufiño, 2019), y limita al norte con Colombia, al sur con las parroquias La Libertad, San Gabriel y Chitán de Navarrete, al este con la parroquia de Tulcán y al oeste con la parroquia de Maldonado (Figura 20).

Figura 20

Mapa de la Zona de estudio en la parroquia Tufiño



Al noroeste de la parroquia Tufiño, se encuentra parte del territorio perteneciente a la Comuna La Esperanza, el mismo que abarca dos complejos termales importantes para la zona: El Complejo Turístico “Agua Hediondas” ubicado a 3 km del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro en el límite con

Colombia, y al sur, en la Reserva Ecológica El Ángel, se encuentran las fuentes Termales “El Artesón”, ambos complejos caracterizados porque sus aguas provienen del volcán Chiles (Carrera, D. and Guevara, P., 2016).

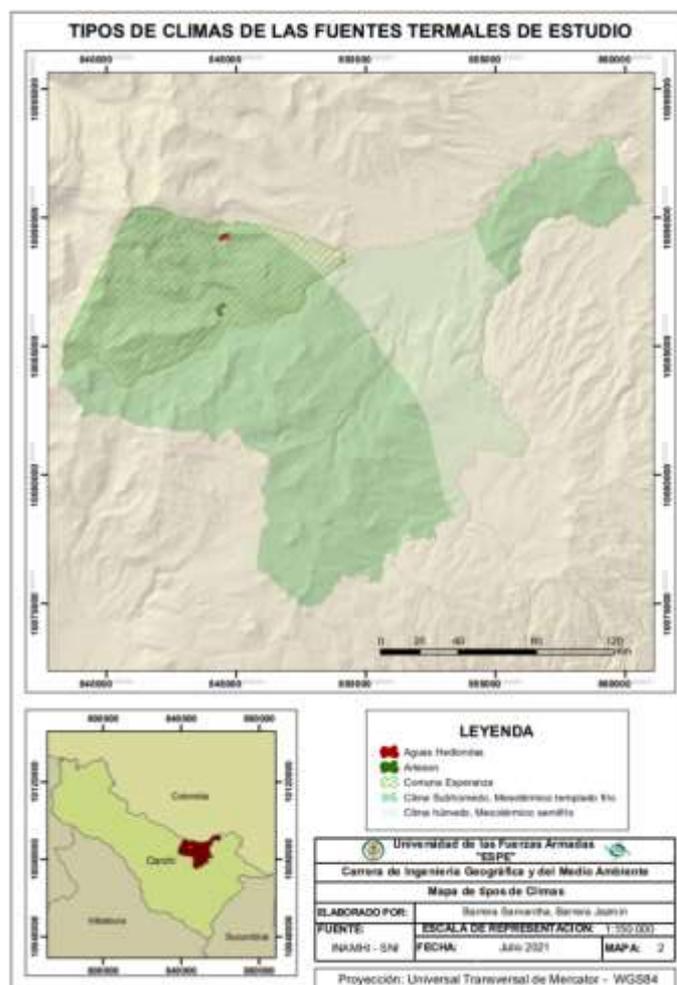
Caracterización del Medio Físico

Clima

Debido a las condiciones climáticas, la parroquia de Tufiño se caracteriza por poseer un clima subhúmedo y húmedo (Figura 21), con un pequeño déficit de agua, mesotérmico templado frío y semifrío, el cual deriva en una variedad de ecosistemas dados por la variedad de sus límites, los mismos que van desde los 2900 msnm hasta los 4729 msnm, en la cima del volcán Chiles.

Figura 21

Mapa de tipos de climas de la zona de estudio en la parroquia Tufiño



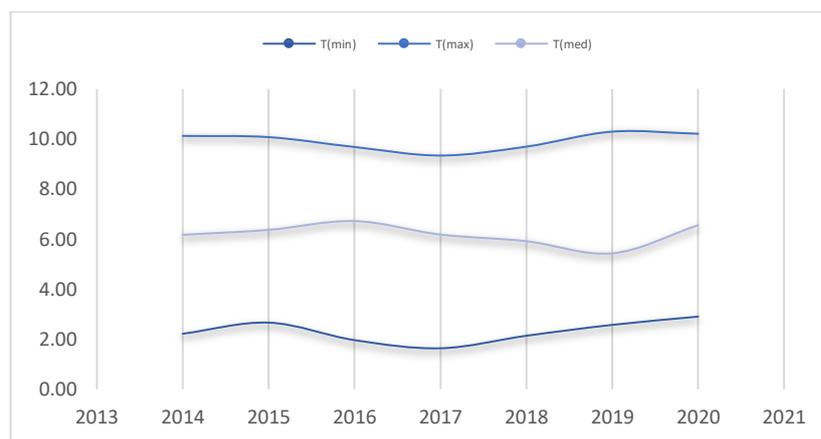
Las termas de estudio poseen un clima subhúmedo, lo que permite que exista bastante agua almacenada en el suelo para la vegetación, dotándola de las características óptimas para albergar ecosistemas de páramo de frailejones y de pajonales en su mayoría.

Temperatura

En las zonas de estudio, predominan las temperaturas medias mensuales que van de los 5.4 a los 6.5 °C, con una temperatura máxima media anual de 10.2 °C, y una temperatura mínima media anual de 1.96 °C. En la Figura 22 se presenta la variación de las temperaturas medias, máximas y mínimas para el área de estudio en un período de siete años. Se puede observar que las temperaturas han sufrido ligeras variaciones en los últimos años, denotándose la influencia actual del cambio climático.

Figura 22

Variación de las Temperaturas: Media, Mínima y Máxima del período 2014 - 2020



Fuente: (Climate Engine, 2021)

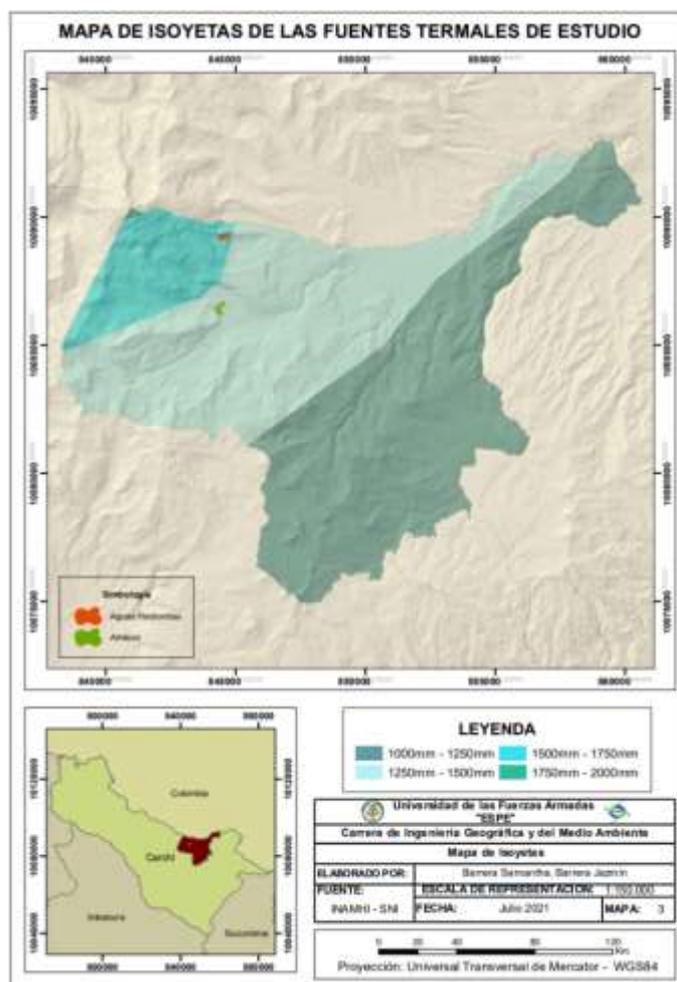
Precipitación

Debido a las características del relieve, el comportamiento del régimen hídrico de la parroquia de Tufiño presenta precipitaciones que varían entre 1000 y 2000 mm al año. En la Figura 23, se observa que el Complejo Turístico “Aguas Hediondas” posee un carácter más húmedo que las fuentes Termales “El Artesón,

aunque ambas termas poseen precipitaciones que generalmente son de larga duración, pero de baja intensidad.

Figura 23

Mapa de Isoyetas Medias Anuales de la serie histórica 1981 - 2010



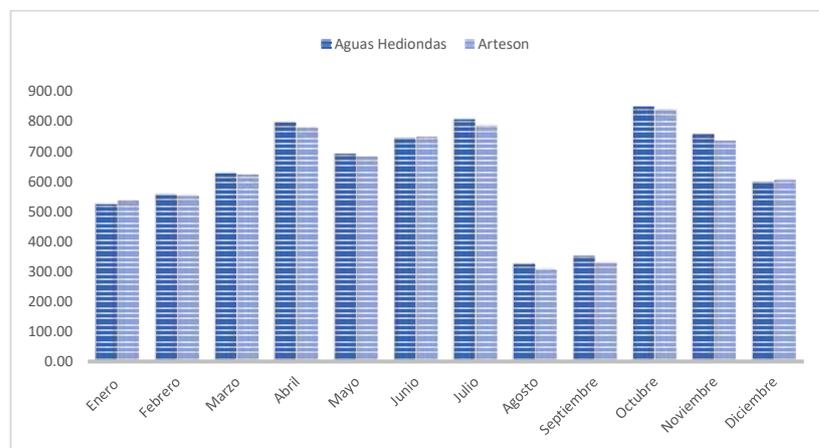
En la Figura 24 se presenta la precipitación media mensual para el período 2014 – 2020 de las dos termas de estudio. Se puede observar que, existen ocho meses húmedos que corresponden a marzo, abril, mayo, junio, julio, octubre, noviembre y diciembre, dos meses semihúmedos en enero y febrero; y 2 meses secos en agosto y septiembre, además, las precipitaciones mensuales de cada terma no presentan variaciones apreciables entre sí.

Existe presencia de agua durante todo el año, a excepción de una disminución temporal de precipitaciones durante dos meses, pese a esto, no se

produce una escasez significativa de agua. Estas características, junto con las temperaturas presentes en la zona, determinan la presencia de la flora y fauna.

Figura 24

Precipitación media mensual de las termas de estudio del período 2014 - 2020



Fuente: (Climate Engine, 2021)

Geología

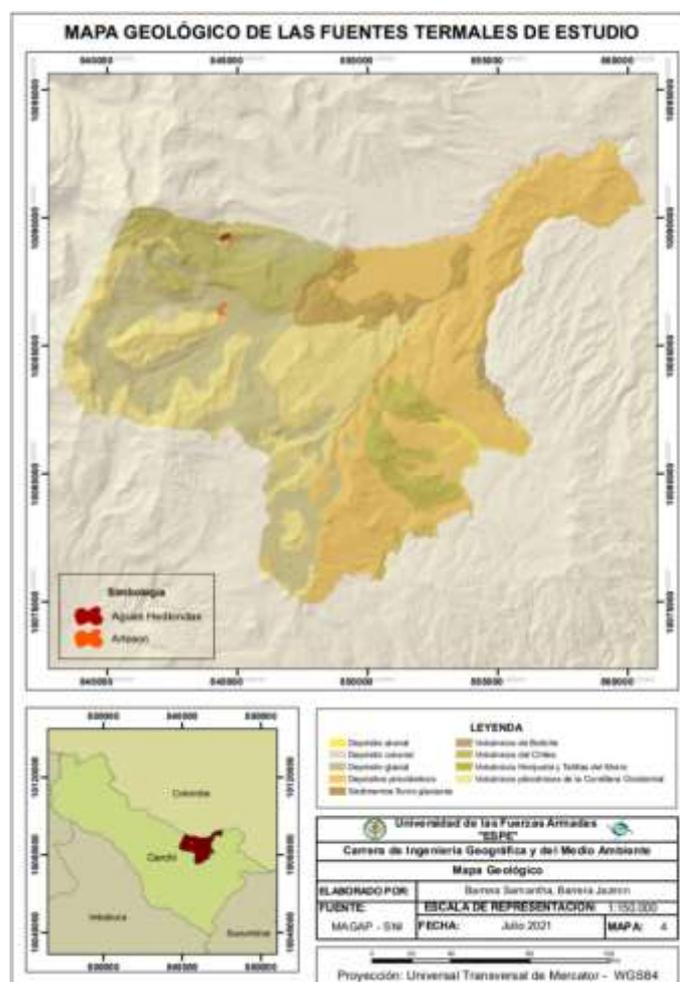
En razón de los largos períodos requeridos para la modificación sustancial de las características geológicas, para este plan, se ha utilizado la información proporcionada por el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador.

La parroquia de Tufiño registra cinco formaciones litológicas en las que se destacan depósitos volcánicos del período terciario superior, que cubren aproximadamente el 70% de la superficie total; Además, se encuentran depósitos glaciares cuaternarios, que cubren un 30% de la parroquia. Dentro del área, se encuentran también formaciones volcánicas del Chiles, Cofrada, Horqueta, Tetillas del Morro, El Boliche y depósitos pliocénicos de la cordillera Occidental (Figura 25).

El Complejo Turístico “Aguas Hediondas” se ubica sobre formaciones volcánicas del Chiles, mientras que las fuentes Termales “El Artesón”, se encuentra sobre depósitos glaciares y volcánicos pliocénicos de la Cordillera Occidental, ambos complejos caracterizados porque su geología está constituida principalmente por lavas andesitas basálticas, brechas compactas y tobas.

Figura 25

Mapa geológico de la zona de estudio en la parroquia Tufiño



Pendiente

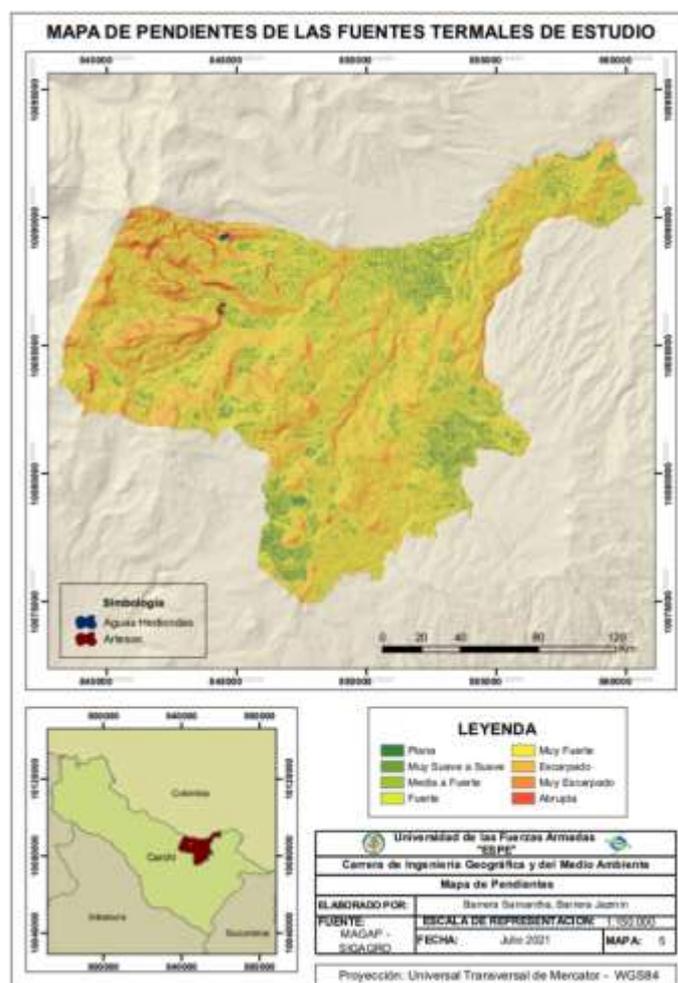
En la parroquia de Tufiño predominan las pendientes medias a muy fuertes que van del 40% al 100%, ocupando un 80% del territorio. El resto del territorio posee pendientes planas y suaves que van del 0% al 12% distribuidas al este del territorio, y pendientes que van de escarpadas a abruptas ubicadas al oeste de la parroquia.

El Complejo Turístico "Aguas Hediondas" se ubica sobre terrenos con pendientes de medias a fuertes, puede decirse que es debido a su cercanía con el

volcán Chiles, mientras que las fuentes Termales “El Artesón” se encuentran sobre terrenos con pendientes planas a suaves (Figura 26), esto puede deberse a su ubicación está en una zona baja, cerca al lugar por la cual bajan las aguas de las Lagunas Verdes.

Figura 26

Mapa de pendientes de la zona de estudio en la parroquia Tufiño



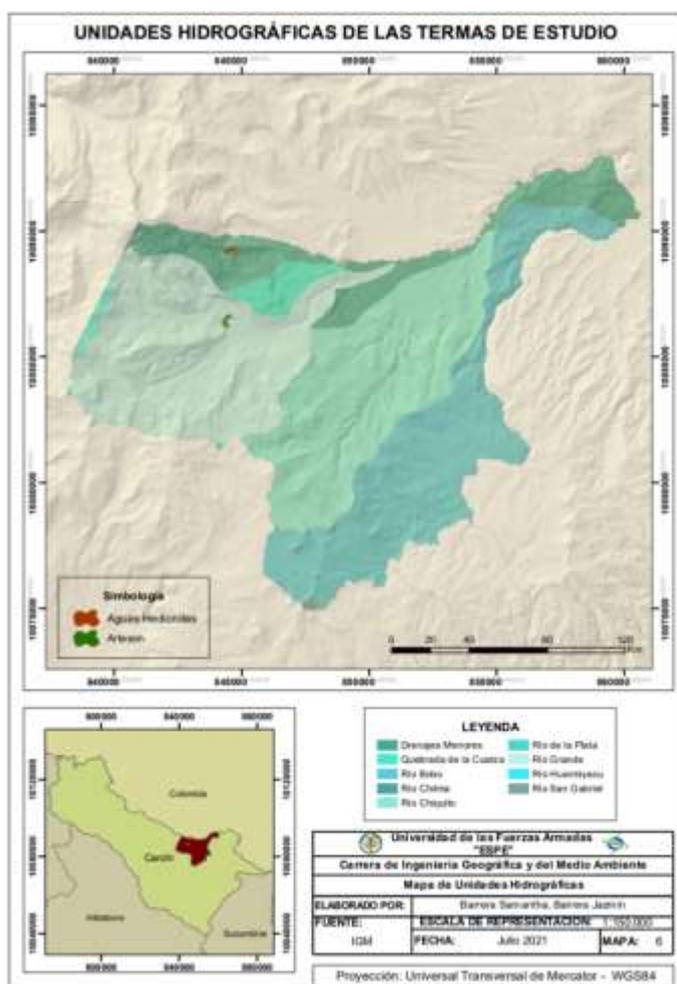
Cabe recalcar que es importante conocer la pendiente del territorio, debido a que proporciona información útil respecto a las condiciones del terreno y las actividades que podrían desarrollarse en él; además, permite establecer las zonas susceptibles a desastres naturales.

Hidrología

La mayor parte de la parroquia Tufiño se encuentra en la subcuenca hidrográfica del río Carchi, que forma parte de la cuenca del río Carchi. Tan solo un pequeño sector, hacia el Noroeste de la parroquia, mantiene relación con la cuenca del río Mira. Dentro de la subcuenca del río Carchi, se encuentran las microcuencas de Drenajes Menores y la Quebrada de la Cuatza al norte, el Río Bobo al este, Río Grande al oeste y el Río Chiquito en la parte central.

Figura 27

Mapa de Unidades Hidrográficas de la zona de estudio en la parroquia Tufiño



El Complejo Turístico “Aguas Hediondas” se encuentra dentro de la microcuenca de Drenajes Menores, y las aguas termales subterráneas y las fuentes Termales “El Artesón” se ubican dentro de la microcuenca Río Grande, uno de los

sistemas hidrográficos más extensos de la parroquia. Además, su sistema hídrico es producto de sistemas subterráneos provenientes del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, cuyas aguas una vez aprovechadas por los turistas no reciben ningún tratamiento antes de ser depositadas en el río Carchi para el caso de Aguas Hediondas y las quebradas de Santa Rosa y Los Puendos para el Artesón (Figura 27).

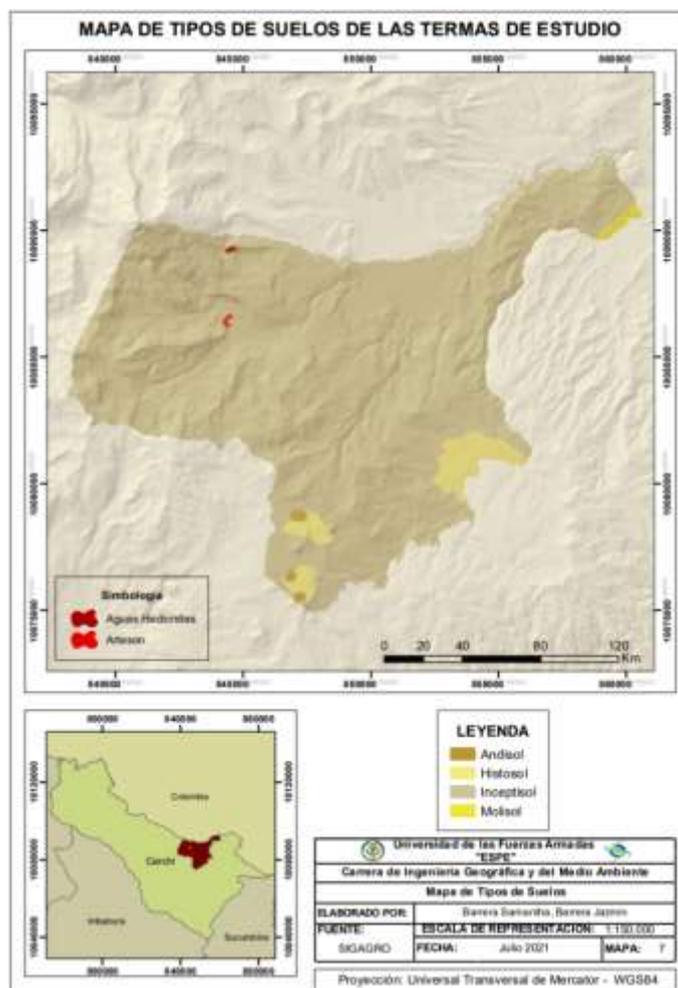
Suelos

Tipos de suelos

Los suelos de la parroquia Tufiño pertenecen al orden de los andisoles, molisoles, entisoles e inceptisoles (Figura 28). Tanto el Complejo Turístico “Aguas Hediondas” como las fuentes Termales “El Artesón” se asientan sobre suelos inceptisoles, que predominan en la parroquia y se caracterizan por ser suelos de bajas temperaturas, con alto contenido de materia orgánica, provienen de materiales residuales, volcánicos, piroclásticos y de cenizas volcánicas.

Figura 28

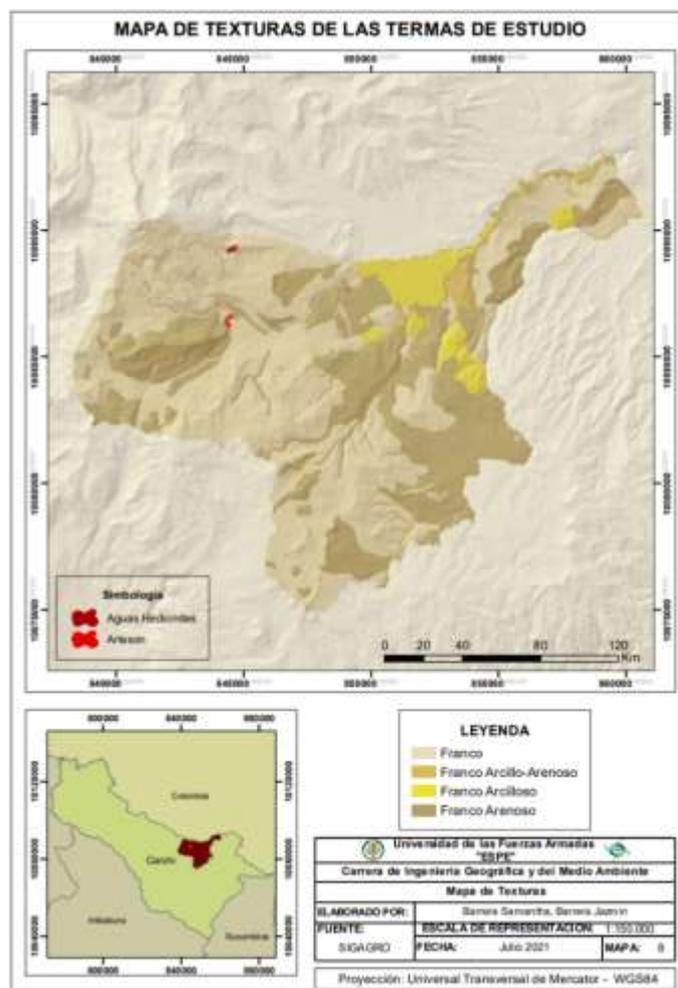
Mapa de los suelos de la zona de estudio en la parroquia Tufiño



Los suelos sobre los cuales se asientan las fuentes termales se desarrollan en zonas húmedas, por ello son suelos profundos que poseen buen drenaje y alto contenido de agua, lo que les da una textura franco arenosa (Figura 29), que es característica por tener una coloración negra y contener abundante materia orgánica, o una coloración café y amarillenta característica de las zonas de páramo (GAD Parroquial Tufiño, 2014).

Figura 29

Mapa de Texturas de suelos de la zona de estudio en la parroquia Tufiño



Capacidad de Uso del Suelo

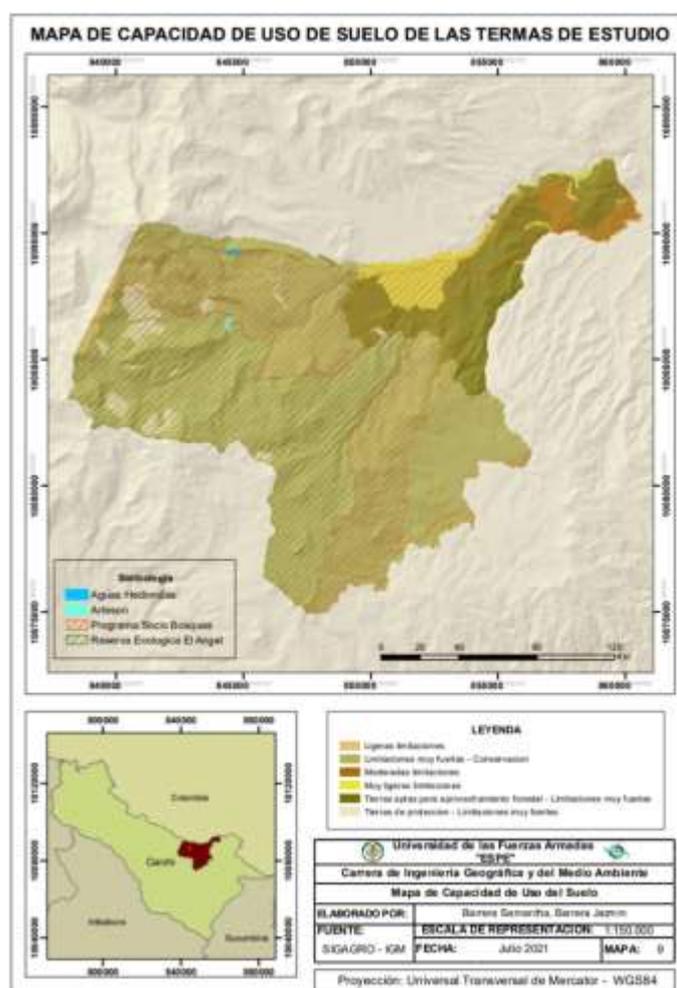
La mayor parte del territorio de la parroquia Tufiño está cubierto por páramo de frailejones, además parte del mismo consta dentro del programa Socio Bosque y de la Reserva Ecológica El Ángel, es por ello que más del 70% de las tierras están destinadas a la protección y conservación, imponiéndose limitaciones muy fuertes en cuanto al uso forestal, agrícola y antrópico que se les da.

Las termas de estudio se encuentran en territorio de conservación, pero solo las fuentes Termales "El Artesón" se encuentran dentro del territorio perteneciente al Programa Socio Bosque, además, parte del balneario se halla en el territorio de la Reserva Ecológica El Ángel, lo que dificulta su funcionamiento, debido a que se

incumplen los acuerdos a los que se llegan entre el Ministerio del Ambiente, ente encargado de la conservación y protección de sus bosques nativos, páramos u otra vegetación nativa y la Comuna La Esperanza, propietarios de las termas en este caso (Figura 30).

Figura 30

Mapa de la Capacidad de uso de suelos de la zona de estudio en Tufiño



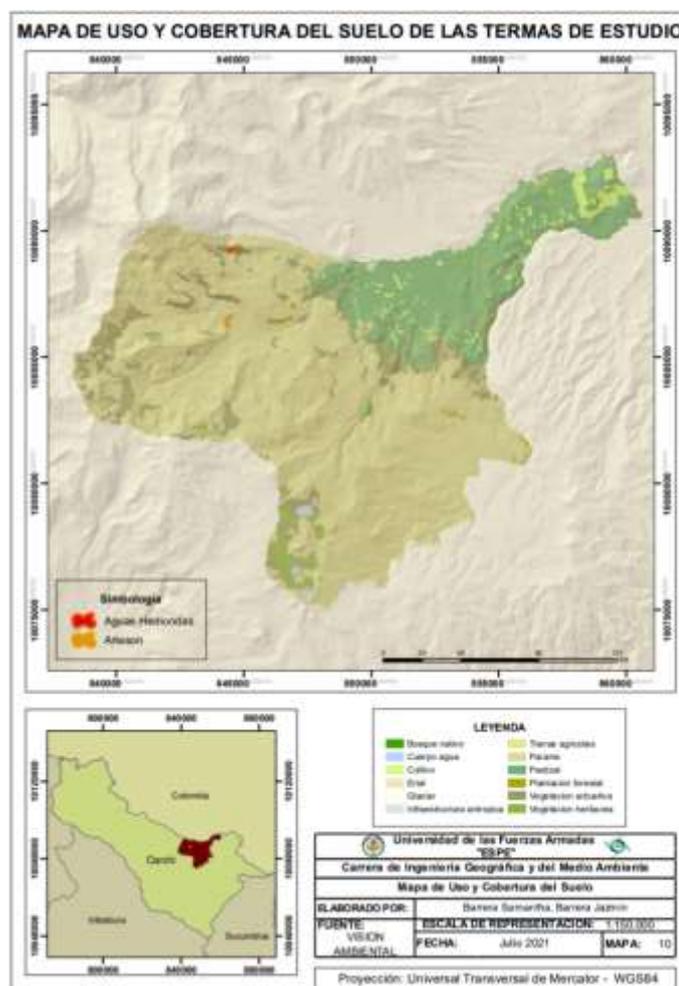
Uso y Cobertura del Suelo

La parroquia Tufiño se caracteriza por el buen aprovechamiento de sus tierras para los cultivos propios de la zona, pese a que el porcentaje de tierra destinada a la agricultura sea inferior al 2% del territorio total. Más del 80% de la parroquia posee tierras no apropiadas para cultivos (Figura 31), pero adecuadas para vegetación permanente, por lo que son destinadas a la conservación y

protección, siendo los páramos y pastizales las coberturas que predominan en esa zona.

Figura 31

Mapa de Uso del Suelo de la zona de estudio en la parroquia Tufiño



Dentro del ecosistema páramo se han diferenciado varios tipos que se encuentran en la parroquia de Tufiño, destacándose como el más importante el páramo de frailejones (GAD Parroquial Tufiño, 2014). Al noreste de la parroquia, un 30% del territorio ha sido destinado para el desarrollo de actividades pecuarias, antrópicas y de aprovechamiento, las cuales están condicionadas básicamente por el clima y el tipo de suelo de la zona.

Como se mencionó anteriormente, las termas de estudio se encuentran en territorio destinado a conservación; por un lado, el Complejo “Agua Hediondas”

posee una cobertura vegetal arbustiva con estratos arbóreos, en las laderas de los cuerpos montañosos que lo rodean, y un páramo de pajonales en las partes planas cercanas al balneario, mientras que las fuentes Termales “El Artesón” poseen una cobertura vegetal netamente de páramo de frailejones, pajonales, vegetación arbustiva y en las orillas de los cuerpos de agua páramos de almohadillas.

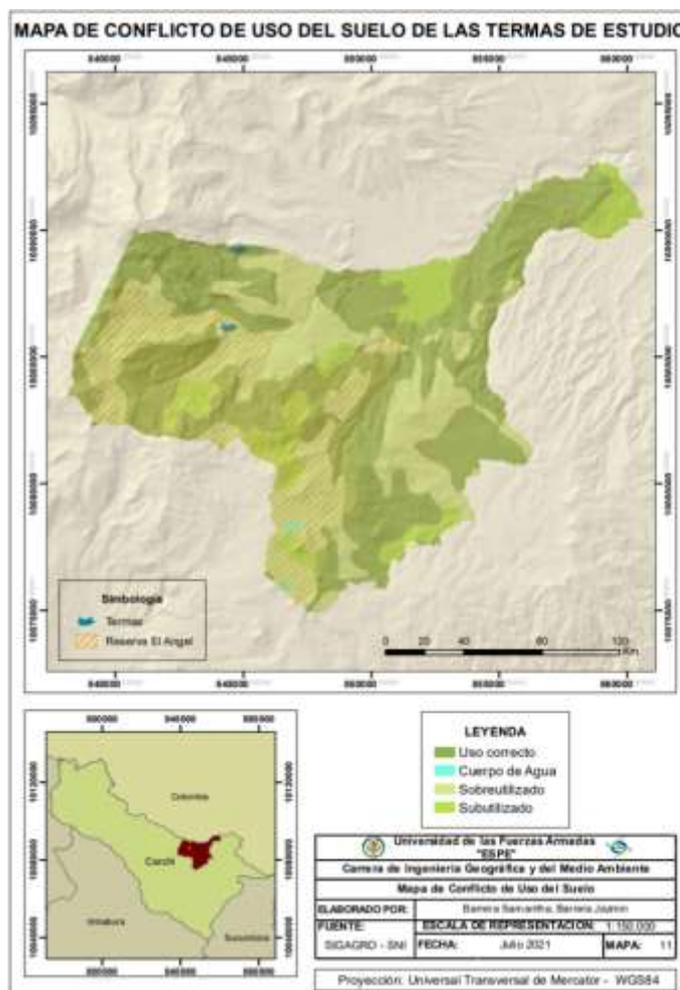
Conflictos de uso de Suelo

El suelo de la parroquia Tufiño ha sido sujeto a cambios debido a la dinámica de los procesos internos y externos a los cuales ha sido sometido; Y es que, el uso incorrecto que se le da puede ocasionar un desequilibrio en el mismo. Factores como la densidad poblacional, la distribución de las tierras o la expansión de las fronteras agrícolas por parte de los pobladores y las comunas de la zona son los que han determinado el uso actual del suelo que tiene la parroquia.

Aproximadamente el 38% del suelo es usado correctamente y está repartido por toda la parroquia en áreas pequeñas, el 52% del suelo corresponde a la categoría de sobreutilización, hallándose la mayor parte del mismo en la Reserva Ecológica El Ángel, y el otro 10% del suelo corresponde a la categoría de subutilización, por ello sería correcto que se le diera un uso más intensivo a esta tierra, lastimosamente parte de la misma pertenece a las áreas protegidas y de conservación, por lo que es imposible hacer uso de ellas.

Figura 32

Mapa del Conflicto de Uso del Suelo de la zona de estudio en la parroquia Tufiño



El Complejo “Aguas Hediondas” hace un uso correcto del suelo, pues se encuentra ubicado sobre yacimientos rocosos provenientes de deslaves del volcán Chiles, de esta manera no afecta ni hace uso de suelos productivos, mientras que las actividades agrícolas, de construcción y recreación que la comuna y los turistas han ejercido sobre los suelos en los que están ubicadas las Termas “El Artesón” han afectado las condiciones de los suelos dándoles un sobreuso (Figura 32).

Riesgos Naturales

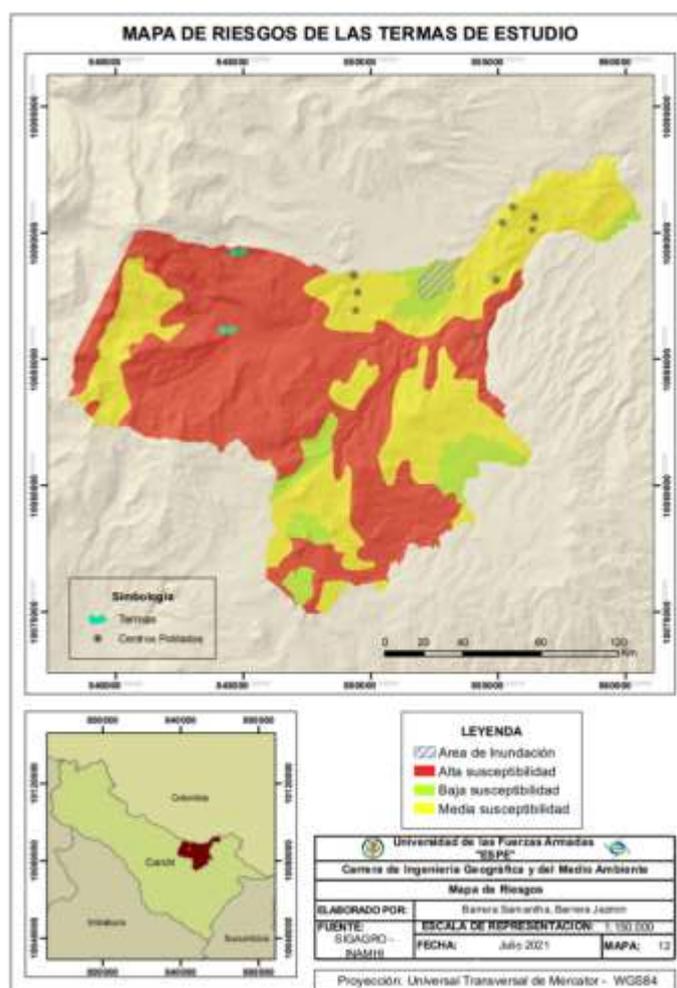
La parroquia de Tufiño se caracteriza por tener alta susceptibilidad a movimientos de masa, con alto riesgo de deslaves ocasionados por las precipitaciones frecuentes, los sismos y las actividades de subducción,

consecuencia de los volcanes presentes en la zona (GAD Parroquial de Tufiño, 2019).

Los centros poblados a excepción del barrio Santa Barbara, se encuentran en zonas de riesgo medio, lo que constituye un grave problema, porque en caso de siniestros, provoca daños no solo a las infraestructuras, sino que también afectan al orden social, económico y ambiental de la parroquia (Figura 33) (GAD Parroquial Tufiño, 2014). Por ello, se debe gestionar planes que contribuyan a la prevención y mitigación en caso de que se presenten este tipo de actividades. En cuanto a inundaciones, se puede observar que la parroquia no es afectada por esta clase de riesgos naturales.

Figura 33

Mapa del Riesgos Naturales de la zona de estudio en la parroquia Tufiño



Las termas de estudio se encuentran en zonas de alta susceptibilidad por movimientos en masa, debido a que se encuentran ubicadas en zonas cercanas al volcán Chiles. Además, en caso de que ocurriera algún tipo de siniestro, los turistas presentes correrían un peligro significativo, por el motivo de que la entrada a estas termas, en especial de “el Artesón” al cual se ingresa a pie, se encuentran lejos de las carreteras principales que las conectan con los centros poblados.

Caracterización del Medio Biótico

Flora

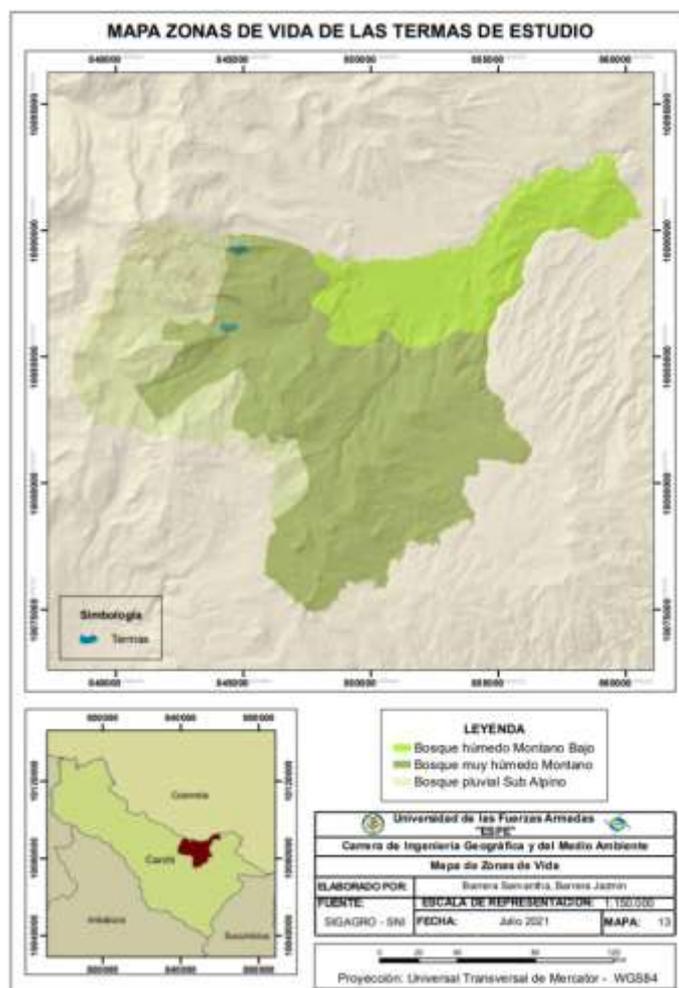
Zonas de Vida

Según Leslie Holdridge (1967), el sistema de clasificación de zonas de vida, es el resultado de una identificación de unidades homogéneas bioclimáticas, que representa los grupos vegetales o de ecosistemas que se dan a distintos rangos de temperatura, precipitación y humedad. El territorio de la parroquia de Tufiño presenta tres zonas de vida: Bosque húmedo Montano Bajo, Bosque muy húmedo Montano y Bosque pluvial Sub Alpino (Figura 34).

Las termas de estudio se encuentran en una zona de vida correspondiente al bosque muy húmedo montano, rodeada principalmente por páramos de frailejones y pajonales para el caso de “El Artesón” y coberturas arbustivas, arbórea y de pajonales para el caso de “Aguas Hediondas”, ambas caracterizadas sus bajas temperaturas, constantes precipitaciones, aunque ligeras y de poca duración, y abundante neblina entrada la noche.

Figura 34

Mapa de Zonas de Vida en la Parroquia Tufiño



Bosque húmedo Montano Bajo (b.h.M.B.)

Esta zona de vida se extiende por las vertientes de la cordillera Oriental y Occidental, y se localiza por encima de los 2000 msnm. Registra un promedio anual de precipitación de 1500 mm y una temperatura media anual que oscila entre los 12 y 18 °C (GAD Parroquial Tufiño, 2014).

Las especies vegetales presentes en este tipo de zona de vida se muestran a continuación (Tabla 27):

Tabla 27

Especies vegetales registradas en el área de estudio

Sarar Weinmannia descendens, *Cascarilla Cinchona sp.*, *Sisin Podocarpus sp.*, *Coquito de Montaña Guarea sp.*, *Sota Clusia sp.*, *Cedro Cedrela rosei*, *Malva Dendropanax sp.*, *Arrayán Eugenia sp.*, *Aliso Alnus jorullensis*, *Guarumo Plateado Cecropia sp.*, *Helecho Arbóreo Cyathea sp.*, *Laurel de Cera Myrica pubescens*, *Miconia* y *Tibouchina*, *Surales Chusquea scandens*. Además, cerca de las zonas agrícolas se puede encontrar: *Pucunero Syphocampilus gigantheus.*, *Tagma Cleone gigantea*, *Chilca Baccharis polyantha.*, *Lechero Euphorbia latazii.*, *Floripondio Datura metal.*, *Guantug Datura sanguínea* (GAD Parroquial Tufiño, 2014).

Bosque muy húmedo Montano (b.m.h.M.)

Esta zona de vida se extiende por los páramos bajos y muy húmedos como los que se encuentran en la Reserva Ecológica El Ángel, y pertenece a la denominada Ceja de Montaña que es característica por la abundancia de neblina, humedad y lluvias que caen durante todo el año, por lo que no existen meses ecológicamente secos. Se localiza por encima de los 2800 msnm donde es más húmedo y va hasta los 3000 msnm, donde es un poco más seco (Cañadas, 1983).

Las especies vegetales más comunes en este tipo de zona de vida son:

Sarar Weinmannia descendens, *Cascarilla Cinchona sp.*, *Sisin Podocarpus sp.*, *Coquito de Montaña Guarea sp.*, *Sota Clusia sp.*, *Cedro Cedrela rose.*, *Malva Dendropanax sp.*, *Arrayán Eugenia sp.*, *Aliso Alnus jorullensis*, *Guarumo Plateado Cecropia sp.*, *Helecho Arbóreo Cyathea sp.*, *Laurel de Cera Myrica pubescens*, *Colca Miconia*, *Colca Tibouchina*, y *Surales Chusquea scandens* (GAD Parroquial Tufiño, 2014).

En la zona correspondiente a las termas de estudio es común encontrar frailejones como especie dominante, además de pajonales, almohadillas cerca a los cuerpos de agua y vegetación arbustiva o arbórea, que no supera los 2 m de altura.

Bosque pluvial Sub Alpino (b.p.S.A.)

Esta zona de vida se extiende por los páramos altos como los que se encuentran en la Reserva Ecológica El Ángel, y el complejo volcánico Chiles – Cerro Negro. Posee rangos similares a las otras dos zonas de vida en cuanto a precipitación, temperatura y rango altitudinal (GAD Parroquial Tufiño, 2014).

La vegetación en este tipo de zona de vida tiene afinidad en las áreas pantanosas con la especie de *Disticia sp.*, mientras que en las zonas bajas se puede apreciar especies de carrizo enano de la familia *Poaceae*.

Ecosistemas

Arbustal siempreverde y Herbazal del Páramo

Este tipo de ecosistema se ubica entre los 3300 y 3900 msnm, está en la zona de vida del Bosque muy húmedo Montano, y se lo encuentra en mínima proporción al este de la parroquia de Tufiño (Figura 35). Corresponde a una cobertura vegetal natural de arbustales frecuentemente dispuestos en parches de hasta 3m de altura, mezclados con pajonales amacollados de 1.2m de altura aproximadamente. Es importante recalcar que este tipo de ecosistema cambia su composición y estructura conforme cambia su rango altitudinal, destacando que a menor altura mayor riqueza de especies se encontrará (Ministerio del Ambiente , 2013).

Las especies vegetales que pueden ser encontradas en este ecosistema son: *Arcytophyllum vernicosum*, *Berberis grandiflora*, *B. hallii*, *B. lutea*, *Diplostephium rupestre*, *Escallonia myrtilloides*, *Hesperomeles obtusifolia*, *Miconia salicifolia*, *Monnina obtusifolia*, *Pernettya prostrata*, *Pentacalia arbutifolia*, *P. andicola*, *P. vaccinioides*, *Ribes andicola*, *Vaccinium floribundum*. *Bomarea glaucescens*, *Tristerix longebracteatus* (Ministerio del Ambiente , 2013).

Bosque siempreverde del Páramo

Este tipo de ecosistema se ubica entre los 3200 y 4100 msnm, está en las zonas de vida de los Bosques muy húmedo Montano y pluvial Sub Alpino, se lo

encuentra en mínima proporción al noroeste de la parroquia de Tufiño (Figura 35). Corresponde a una cobertura vegetal natural de bosque siempreverde que por efectos de las condiciones climáticas crece de forma torcida y ramificada, dotándole de un aspecto diferente. Actualmente este ecosistema está presente en forma de parches aislados de vegetación herbácea o arbustiva (Ministerio del Ambiente , 2013).

Estos bosques forman dos estratos diferenciados: el estrato arbóreo compuestos por pocas especies, debido a limitaciones fisiológicas que impiden su crecimiento leñoso, y el estrato arbustivo-herbáceo que es más denso y variado (Ministerio del Ambiente , 2013).

Las especies vegetales que pueden ser encontradas en este ecosistema son: *Buddleja incana*, *Columellia*, *Escallonia myrtilloides*, *Geranium ayavacense*, *Gynoxys acostae*, *G. cuicochensis*, *G. hallii*, *Hesperomeles ferruginea*, *H. obtusifolia*, *Luzula gigantea*, *Myrsine andina*, *Oreopanax andreanus*, *Rubus coriaceus*, *Weinmannia fagaroides* (Consultora Visión Ambiental, 2020).

Bosque siempreverde montano alto de Cordillera Occidental de los Andes

Este tipo de ecosistema se ubica entre los 3100 y 3600 msnm, está en la zona de vida del Bosque muy húmedo Montano y se lo encuentra en mínima proporción en la parroquia de Tufiño (Figura 35). Corresponde a una cobertura vegetal natural de bosque siempreverde, con presencia de follaje esclerófilo, subesclerófilo y lauroide. Un aspecto importante de este tipo de ecosistemas es que el suelo tiende a estar cubierto por una densa capa de musgo. Actualmente este ecosistema está presente en forma de islas de bosque natural y se ubica en quebradas o en lugares con pendientes pronunciadas (Ministerio del Ambiente , 2013).

Los estratos de estos bosques son diferenciados, el estrato arbóreo no es muy diverso, debido a limitaciones fisiológicas que impiden su crecimiento leñoso,

mientras que el dosel es más variado llegando a formarse unidades monotípicas de *Polylepis* o *Gynoxys* (Ministerio del Ambiente, 2015).

Las especies vegetales que pueden ser encontradas en este ecosistema son: *Alnus acuminata*, *Buddleja incana*, *Cecropia* sp., *Cedrela montana*, *Cedrela odorata*, *Chusquea scandens*, *Columellia oblonga*, *Croton floccosus*, *Escallonia myrtilloides*, *Geranium ayavacense*, *Gynoxys acostae*, *G. cuicochensis*, *G. hallii*, *Hesperomeles ferruginea*, *H. obtusifolia*, *Inga lallensis*, *Luzula gigantea*, *Nectandra globosa*, *Ocotea floribunda*, *Polylepis incana*, *P. lanuginosa*, *P. microphylla*, *P. pauta*, *P. reticulata*, *P. sericea*, *P. weberbaueri*, *Rubus coriaceus*, *Weinmannia fagaroides* (Ministerio del Ambiente , 2013; Consultora Visión Ambiental, 2020).

Herbazal inundable del Páramo

Este tipo de ecosistema se ubica entre los 3300 y 4500 msnm, está en las zonas de vida de los Bosques muy húmedo Montano y pluvial Sub Alpino y se lo encuentra en mínima proporción al suroeste de la parroquia de Tufiño, en la parte de la Reserva Ecológica El Ángel (Figura 35). Corresponde a una cobertura vegetal natural de herbazales inundables en los que existen especies que forman cojines o parches aislados de vegetación flotante (Ministerio del Ambiente , 2013). Estos ecosistemas, por lo general, son inundables y son considerados azonales debido a la influencia mayor de las condiciones edáficas y al clima de la zona, además de que cuenta con mayor presencia donde existe un balance hídrico positivo (Ministerio del Ambiente, 2015).

Las especies vegetales que pueden ser encontradas en este ecosistema son: *Agrostis boyacensis*, *Brachyotum ledifolium*, *B. lindenii*, *Castilleja fissifolia*, *Carex* sp, *Chusquea* spp., *Cortaderia sericantha*, *Distichia muscoides*, *Huperzia crassa*, *Hypsela reniformis*, *Hypochaeris sonchoides*, *Juncus* sp., *Oreobolus goeppingeri*, *O. obtusangulus*, *Oreobolus* sp., *Orithrophium limnophyllum*, *Plantago rigida*, *Schoenoplectus californicus*, *Sphagnum* spp., *Xyris subulata* (Ministerio del Ambiente, 2015).

Herbazal y Arbustal siempreverde subnival del Páramo

Este tipo de ecosistema se ubica entre los 4100 y 4500 msnm, está en la zona de vida del Bosque pluvial Sub Alpino, se lo encuentra en mínima proporción al noroeste de la parroquia de Tufiño, en el territorio de la Comuna La Esperanza (Figura 35). Corresponde a una cobertura vegetal natural de herbazal mezclado con arbustos, presente comúnmente en morrenas, circos y depósitos glaciares, pendientes pronunciadas y quebradas (Ministerio del Ambiente , 2013).

Se caracteriza por tener una vegetación fragmentada, con suelos andosoles e inceptisoles presentes entre las islas de vegetación ubicadas en las cumbres más altas de la cordillera formando un sistema insular restringido al norte del Ecuador (Ministerio del Ambiente , 2013).

Las especies vegetales que pueden ser encontradas en este ecosistema son: *Arcytophyllum capitatum*, *Calamagrostis intermedia*, *Chuquiraga jussieui*, *Diplostephium rupestre*, *Drabaaretoides*, *D.depresa*, *Festuca asplundii*, *Gentiana sedifolia*, *Lachemilla nivlalis*, *L. vulcania*, *Loricaria spp.*, *Luzula racemosa*, *Poa cucullata*, *Valeriana microphylla*, *Xenophyllum humile*, *X. rigidum* Entre las especies de cojín están *Azorella aretioides*, *A. crenata*, *Plantago rígida* (Ministerio del Ambiente , 2013).

Rosetal caulescente y Herbazal del Páramo (frailejones)

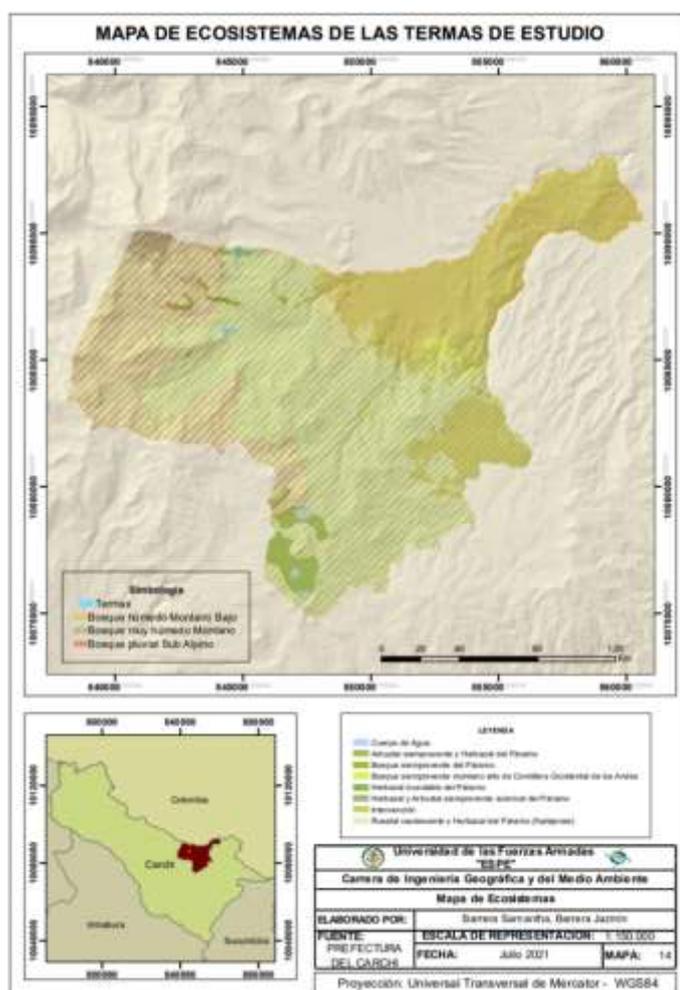
Este tipo de ecosistema se localiza en la parte norte del país en la provincia del Carchi en las zonas de vida de los Bosques húmedo Montano Bajo, muy húmedo Montano y pluvial Sub Alpino en un rango altitudinal que va de los 3350 a los 4100 msnm (Figura 35). Corresponde a una cobertura vegetal dominada por el Frailejón (*Espeletia pycnophylla*), hierbas y pajonales, presentes en sitios muy húmedos y asociadas con la humedad del suelo, de ahí la importancia de conservar este tipo de Ecosistema (Ministerio del Ambiente, 2015).

Se han registraron 651 individuos, correspondientes a 21 especies vegetales, destacándose por su mayor dominio: *Espeletia pycnophylla*, *Puya clava-*

berculis, *Ericaria tujoides*, *Hypericum lancioides*, *Gjnoxys fuliginosa* (Boada, C, and J. Campaña, 2008). Las especies que pueden ser encontradas en este ecosistema son: *Arcytophyllum nitidum*, *Ageratina fastigiata*, *Berberis grandiflora*, *Blechnum loxense*, *Brachyotum lindenii*, *Diplostephium floribundum*, *D. artisanense*, *D. rupestre*, *D. schultzii*, *Espeletia pycnophylla*, *Hypericum laricifolium*, *H. lancioides*, *Loricaria thuyoides*, *Miconia salicifolia* (Ministerio del Ambiente , 2013).

Figura 35

Mapa de Ecosistemas de la Parroquia Tufiño



Las fuentes termales de estudio se ubican dentro de los de bosque siempreverde del páramo y páramo de frailejones. Además, dentro del páramo del Artesón, ubicado en la comuna La Esperanza, la formación vegetal más abundante

es el páramo de frailejón, mientras que el páramo de pajonales es común en las dos termas.

Fauna

La parroquia de Tufiño se ubica sobre los 2800 msnm en el piso zoogeográfico Altoandino de acuerdo al Libro de Fauna de Vertebrados del Ecuador por Albuja et al. (1980). Este piso cuenta con 260 especies animales, pese a esto, se puede decir que cuenta con una baja riqueza de especies debido a las bajas temperaturas y a las condiciones climáticas presentes en la zona (Albuja, L.; Almendáriz, A.; Barriga, R.; Montalvo, L; Cáceres, F.; Román, J., 2012).

Aves

Las aves constituyen un grupo faunístico de vital importancia, debido a que son especies sensibles capaces de notar las alteraciones de su entorno, actuando como bioindicadores de calidad de un ecosistema. El piso altitudinal donde se encuentra ubicada la parroquia comprende un total de 140 especies de aves, que representa un 8.5% del total de especies presentes en el país (Albuja, L.; Almendáriz, A.; Barriga, R.; Montalvo, L; Cáceres, F.; Román, J., 2012).

En cuanto a la avifauna presente, las especies dominantes son el Soterrey sabanero, Mirlo grande, Gorrión, Vencejo cuelliblanco, Gallinazo negro, Cinclodes piquigrueso y la Galaría ondulada. Estas especies se presentan en mayor número dentro de la parroquia, inclusive en las zonas intervenidas, por lo que además pueden considerarse de baja sensibilidad (Consultora Visión Ambiental, 2020).

Por otro lado, varias de las especies que se sabe están presentes en esta área se presentan en la Tabla 25:

Tabla 28

Especies de aves registradas en el área de estudio

Familia	Especie	Nombre Común
Accipitridae	<i>Circus cinereus</i>	Aguilucho Cinéreo
Accipitridae	<i>Geranoaetus melanoleucus</i>	Águila Pechinegra

Accipitridae	<i>Spizaeus isidoru</i>	Águila Andina
Accipitridae	<i>Pandion haliaetus</i>	Aguila Pescadora
Throchilidae	<i>Pterphanes cyanopterus</i>	Alizafiro Grande
Anatidae	<i>Anas georgica</i>	Anade Piquiamarillo
Tyrannidae	<i>Agriornis montana</i>	Arriero Piquinegro
Threskiornithidae	<i>Theristicus melanopis</i>	Bandurria Carinegra
Trochilidae	<i>Heliodexa rubinoides</i>	Brillante pechianteado
Parulidae	<i>Myioborus melanocephalus</i>	Candelita de Anteojos
Falconidae	<i>Phalcoboenus carunculatus</i>	Caracara Carunculado
Anatidae	<i>Anas andium</i>	Cerceta andina
Caprimulgidae	<i>Systellura longirostris</i>	Chotacabras Alifajeado
Furnariidae	<i>Cinclodes excelsior</i>	Cinclodes piquigrueso
Trochilidae	<i>Lesbia victoriae</i>	Colacintillo Colinegro
Trochilidae	<i>Oreotrochilus chimborazo</i>	Colibrí estrella ecuatoriana
Cathartidae	<i>Vultur gryphus</i>	Cóndor andino
Tyrannidae	<i>Muscisaxicola alpinus</i>	Dormilona del Páramo
Rallidae	<i>Fulica ardesiaca</i>	Focha andina
Scolopacidae	<i>Gallinago jamesoni</i>	Becasina de Puna
Accipitridae	<i>Buteo magnirostris</i>	Gavilán Campestre
Accipitridae	<i>Leucopternis plumbea</i>	Gavilán Plomizo
Grallariidae	<i>Grallaria quitensis</i>	Gralaria leonada
Fringillidae	<i>Spinus spinescens</i>	Jilguero Andino
Emberizidae	<i>Arremon brunneinucha</i>	Matorralero goricastaño
Emberizidae	<i>Atlapetes pallidinucha</i>	Matorralero nuquipálido
Thraupidae	<i>Oreomanes fraseri</i>	Picocono gigante
Trochilidae	<i>Chalcostigma herrani</i>	Picoespina Arcoíris
Trochilidae	<i>Chalcostigma stanleyi</i>	Picoespina Dorsiazul
Thraupidae	<i>Diglossa humeralis</i>	Pinchaflor negro
Thraupidae	<i>Diglossa lafresnayii</i>	Pinchaflor satinado
Tyrannidae	<i>Ochthoeca cinnamomeiventris</i>	Pitajo dorsipizarro
Trochilidae	<i>Aglaeactis cupripennis</i>	Rayito Brillante
Turdidae	<i>Myadestes ralloides</i>	Solitario Andino
Furnariidae	<i>Margarornis squamiger</i>	Subepalo perlado
Furnariidae	<i>Premnoplex brunnescens</i>	Subepalo moteado
Thraupidae	<i>Anisognathus igniventris</i>	Tangara escarlata
Rhinocryptidae	<i>Scytalopus opacus</i>	Tapaculo Paramero
Tinamidae	<i>Nothoprocta curvirostris</i>	Tinamú piquicurvo
Tyrannidae	<i>Mecocerculus leucophrys</i>	Tiranillo Barbiblanco

Corvidae	<i>Cyanolyca pulchra</i>	Urraca hermosa
Apodidae	<i>Cypseloides rutilus</i>	Vencejo cuellicastaño

Fuente: (Consultora Visión Ambiental, 2020; Albuja, L.; Almendáriz, A.; Barriga, R.; Montalvo, L; Cáceres, F.; Román, J., 2012; Ministerio del Ambiente, 2015; Omedo, I, 2019; GAD Parroquial Tufiño, 2014; MTOP and Consorcio PKS - Acolit, 2012)

Dentro de la parroquia Tufiño, en las zonas de páramo especies como *Lesbia victoriae*, *Agleactis cupripennis*, *Cistothorus platenses*, seguido de *Grallaria quitensis*, *Zonotrichia capensis* y *Asthenes flammulata*, son comunes, en las zonas de bosque se encuentran especies como *Myioborus melanocephalus*, *Grallaria quitensis* y *Cistothorus platenses*. Además de que ha habido avistamientos de especies endémicas como *Andigena hypoglauca*, *Buthraupis wetmorei*, *Circus cinereus* y *Eriocnemis derbyi* que se encuentran amenazadas (GAD Parroquial Tufiño, 2014).

En el caso de las especies de aves rapaces se han identificado *Buteo polyosoma*, *Buteo poecilochrous*, *Geranoaetus melanoleucus* y *Falco sparverius*, mientras que el flujo migratorio de aves ha sido bajo, debido se han registrado solo cuatro especies: *Catharus swainsonii*, *Dendroica fusca*, *Tringa melanoleuca* y *Calidris bairdii* (GAD Parroquial Tufiño, 2014).

Mamíferos

El piso altitudinal donde se encuentra ubicada la parroquia comprende un total de 64 especies de mamíferos, que representa un 16% del total de especies presentes en el país (Albuja, L.; Almendáriz, A.; Barriga, R.; Montalvo, L; Cáceres, F.; Román, J., 2012).

Respecto al grupo de las aves, los mamíferos presentes en la zona se encuentran en menor cantidad y diversidad. En la parroquia Tufiño, la mayor parte de las especies son del orden Rodentia y Carnívoro. Varias de las especies que se sabe están presentes en esta área se presentan en la Tabla 26:

Tabla 29

Especies de mamíferos registradas en el área de estudio

Familia	Especie	Nombre Común
Camelidae	<i>Vicugna pacos</i>	Alpaca
Cervidae	<i>Odocoileus virginianus</i>	Ciervo de cola blanca Andino
Cervidae	<i>Pudu mephistophiles</i>	Ciervo enano
Procyonidae	<i>Nasuella olivacea</i>	Coatí andino
Mustelidae	<i>Mustela frenata</i>	Comadreja andina
Leporidae	<i>Sylvilagus andinus</i>	Conejo andino
Leporidae	<i>Sylvilagus brasiliensis</i>	Conejo silvestre
Cervidae	<i>Mazama rufina</i>	Corzuelo roja pequeña
Felidae	<i>Leopardus colocolo</i>	Gato de las pampas
Agoutidae	<i>Cuniculus taczanowskii</i>	Guanta andina
Camelidae	<i>Lama glama</i>	Llama
Canidae	<i>Lycalopex culpaeus</i>	Lobo de páramo
Phyllostomidae	<i>Sturnira bidens</i>	Murciélago bidentado de hombros amarillos
Mormoopidae	<i>Mormoops megalophylla</i>	Murciélago rostro de fantasma
Vespertilionidae	<i>Histiotus montanus</i>	Murciélago orejudo
Phyllostomidae	<i>Carollia brevicaudum</i>	Murciélago sedoso de cola corta
Soricidae	<i>Cryptotis equatoris</i>	Musaraña
Ursidae	<i>Tremarctos ornatus</i>	Oso andino
Erethizontidae	<i>Coendou quichua</i>	Puerco espín quichua
Felidae	<i>Puma concolor</i>	Puma
Cricetidae	<i>Neusticomys monticolus</i>	Rata pescadora montana
Cricetidae	<i>Thomasomys baeops</i>	Ratón andino común
Cricetidae	<i>Thomasomys aureus</i>	Ratón andino dorado
Cricetidae	<i>Thomasomys ucucha</i>	Ratón andino Ucucha
Cricetidae	<i>Thomasomys paramorum</i>	Ratón andino de páramo
Cricetidae	<i>Microryzomys altissimus</i>	Ratón arrocero altísimo
Cricetidae	<i>Akodon latebricola</i>	Ratón campestre ecuatoriano
Cricetidae	<i>Chilomys instans</i>	Ratón colombiano del bosque
Caenolestidae	<i>Caenolestes fuliginosus</i>	Ratón marsupial
Caenolestidae	<i>Caenolestes convelatus</i>	Ratón marsupial negruzco
Tapiridae	<i>Tapirus pinchaque</i>	Tapir andino
Felidae	<i>Leopardus tigrinus</i>	Tigrillo chico

Didelphidae	<i>Didelphis pernigra</i>	Zarigüeya andina de orejas blancas
Mephitidae	<i>Conepatus semistriatus</i>	Zorrillo

Fuente: (Consultora Visión Ambiental, 2020; Albuja, L.; Almendáriz, A.; Barriga, R.; Montalvo, L; Cáceres, F.; Román, J., 2012; Ministerio del Ambiente, 2015; Vallejo, A. F. and Boada, C.; GAD Parroquial Tufiño, 2014; MTOP and Consorcio PKS - Acolit, 2012)

Herpetofauna

Los anfibios constituyen un grupo faunístico de baja diversidad en este tipo de piso altitudinal, abarcando un total de 43 especies, de estas, 14 especies son de distribución única para este piso; Pese a ello, el número asciende a 43, debido a que algunas especies que habitan en pisos templados y llegan a este piso. Por otra parte, la diversidad de reptiles en este piso altitudinal es escasa, constituyéndose con un total de 9 especies, los mismos que también habitan el piso Templado (Albuja, L.; Almendáriz, A.; Barriga, R.; Montalvo, L; Cáceres, F.; Román, J., 2012).

En la parroquia Tufiño, la mayor parte de las especies de anfibios son endémicas, mientras que las especies de reptiles son muy escasas. Varias de las especies que se sabe están presentes en esta área se presentan en la Tabla 27 y 28:

Tabla 30

Especies de anfibios registrados en el área de estudio

Familia	Especie	Nombre Común
Strabomantidae	<i>Pristimantis thymelensis</i>	Cutín del páramo del Ángel
Strabomantidae	<i>Pristimantis w-nigrum</i>	Cutín Cualita
Strabomantidae	<i>Pristimantis ocreatus</i>	Cutín del Carchi
Strabomantidae	<i>Pristimantis buckleyi</i>	Cutín de Imbabura
Strabomantidae	<i>Pristimantis curtipes</i>	Cutín de Intac
Strabomantidae	<i>Pristimantis riveti</i>	Cutín de Riveti
Bufonidae	<i>Atelopus ignescens</i>	Jambato negro
Bufonidae	<i>Osornophryne bufoniformis</i>	Osornosapo de Santa Bárbara
Tropiduridae	<i>Osornophryne angel</i>	Osornosapo del Ángel

Bufonidae	<i>Osornophryne puruanta</i>	Osornosapo gigante
Dendrobatidae	<i>Hyloxalus toachi</i>	Rana cohete de Toachi
Centrolenidae	<i>Centrolene buckleyi</i>	Rana de cristal de Buckley
Hemiphractidae	<i>Gastrotheca espeletia</i>	Rana marsupial de la Cocha
Hemiphractidae	<i>Gastrotheca pseustes</i>	Rana marsupial de San Lucas

Fuente: (Albuja, L.; Almendáriz, A.; Barriga, R.; Montalvo, L; Cáceres, F.; Román, J., 2012; Consultora Visión Ambiental, 2020; Ministerio del Ambiente, 2015; GAD Parroquial Tufiño, 2014; Páez, D. and Varela, A., 2018; MTOP and Consorcio PKS - Acolit, 2012)

Tabla 31

Especies de reptiles registrados en el área de estudio

Familia	Especie	Nombre Común
Iguanidae	<i>Anolis gemmosus</i>	Anolis gemas
Colubridae	<i>Xenodon rabdocephalus</i>	Falsas equis
Iguanidae	<i>Stenocercus angel</i>	Guagsas
Iguanidae	<i>Stenocercus chota</i>	Guagsas del Valle del Chota
Gymnophthalmidae	<i>Riama simoterus</i>	Palos
Gymnophthalmidae	<i>Riama unicolor</i>	Palos de los Andes

Fuente: (Albuja, L.; Almendáriz, A.; Barriga, R.; Montalvo, L; Cáceres, F.; Román, J., 2012; GAD Parroquial Tufiño, 2014; Ministerio del Ambiente, 2015; Consultora Visión Ambiental, 2020; Carvajal, A., 2019; MTOP and Consorcio PKS - Acolit, 2012)

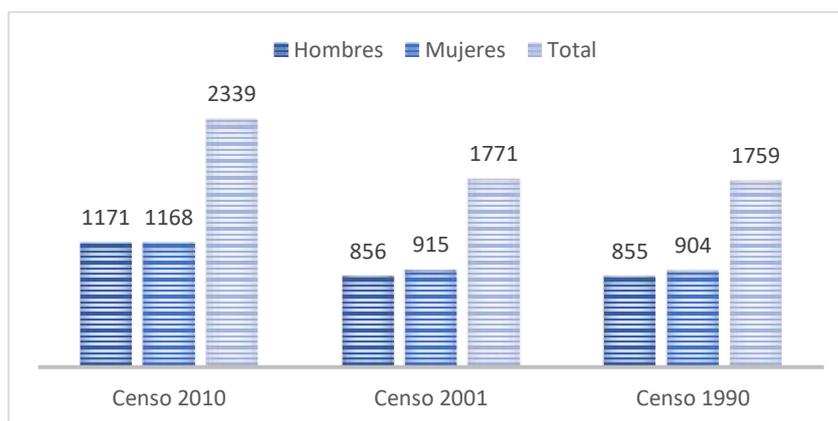
Caracterización del Medio Socioeconómico y cultural

Población de la parroquia

Según el censo de población y vivienda realizado en el 2010 la población de la parroquia de Tufiño es de 2339 habitantes pertenecientes a la zona rural, lo que corresponde a 574 familias distribuidas en las diferentes comunidades y barrios de la misma, con un número promedio de 4 miembros por familia (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2010).

Figura 36

Crecimiento de la población desde el censo 1990 al 2010 de la Parroquia Tufiño



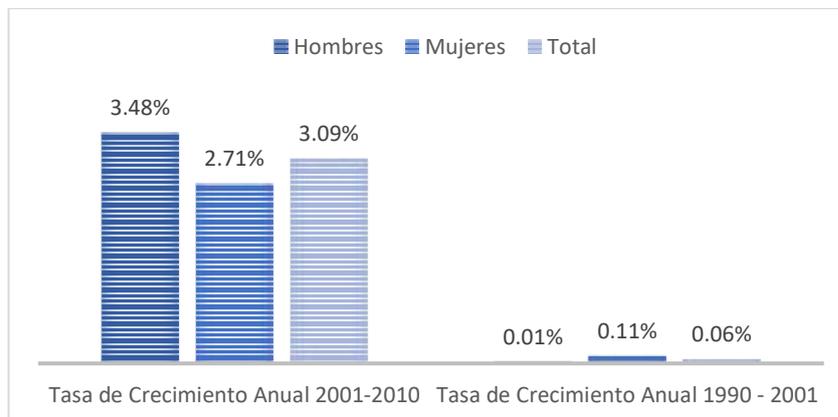
Fuente: (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2010)

El crecimiento de la población en la parroquia (Figura 36) a partir de los censos realizados en 1990 y 2001 es de 12 personas, de las cuales 11 fueron mujeres y 1 hombre, mientras que desde el censo 2001 al 2010, este crecimiento se reflejó con un total de 568 personas, distribuidos en 315 hombres y 253 mujeres, período en el cual la población masculina predominó en crecimiento, pese a que en la sumatoria total el sexo masculino no difiere mucho del sexo femenino (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2010).

Teniendo en cuenta que el número de mujeres era mayor al de hombres durante el período censal de 1990-2001 (Figura 37), puede decirse que ha habido un cambio significativo respecto a este crecimiento poblacional, pues, la tasa de crecimiento total poblacional calculada entre los años 2001 y 2010 fue del 3.09%, habiendo sido superior el crecimiento de los hombres con un 0.77% más que el de las mujeres (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2010).

Figura 37

Tasa crecimiento de la población desde el censo de 1990 al 2010 de la Parroquia Tufiño

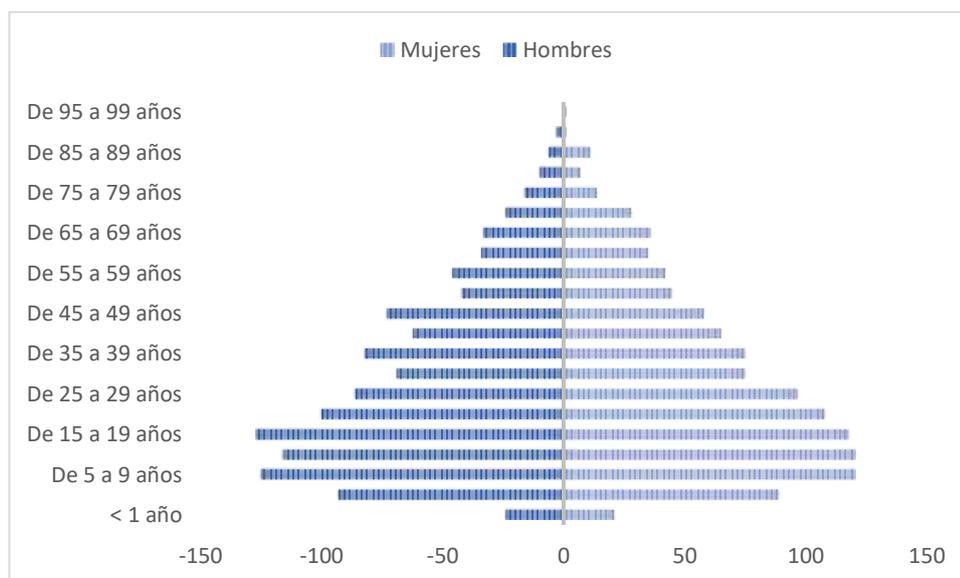


Fuente: (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2010)

De esta población obtenida, no se registrada ninguna asentada en las termas de estudio, esto puede deberse a las restricciones de uso de suelos que hay en la zona, además de los servicios básicos y la ubicación de las fuentes termales.

Distribución de la población por edad

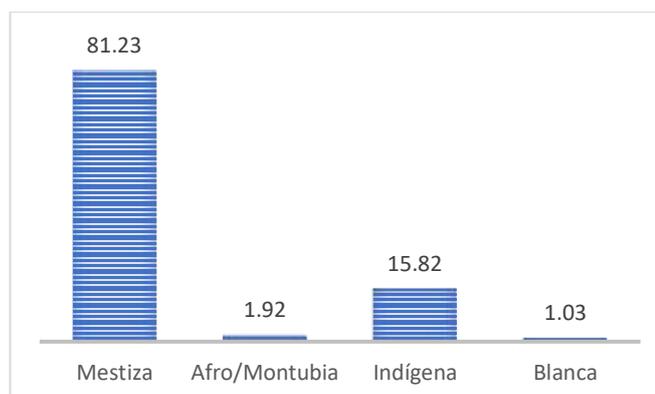
Dentro del análisis de la población por rangos de edad, se puede apreciar que el 40% de la población de Tufiño se puede considerar joven, y se ubica en un rango entre 5 y 24 años de edad, afirmando que casi la mitad de la población es considerada aun dependiente del núcleo familiar para su bienestar, mientras que la población adulta de la parroquia considerada apta para trabajar es del 24% se ubica en un rango entre 29 y 49 años de edad (Figura 38).

Figura 38*Pirámide poblacional de la Parroquia Tufiño*

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2010)

Grupos étnicos

De acuerdo a las costumbres y tradiciones, la población de Tufiño puede ser considerada mestiza, con un 81% frente a un 16% de población indígena, un 2% de población afroecuatoriana y montubia y un 1% de población blanca (Figura 39) (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2010).

Figura 39*Grupos étnicos de la Parroquia Tufiño*

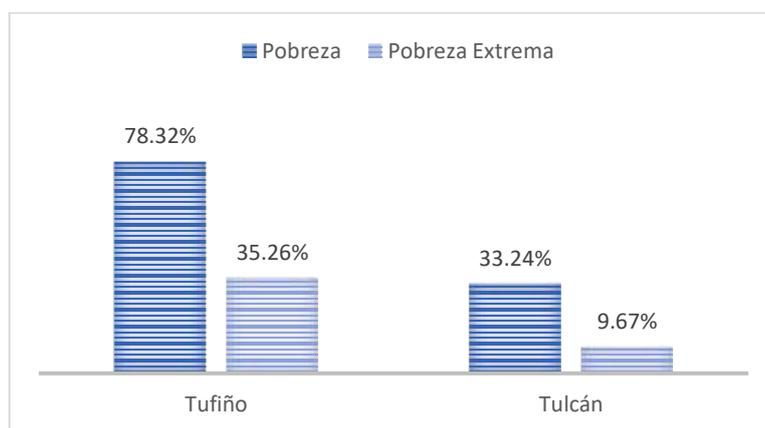
Fuente: (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2010)

Pobreza y Pobreza Extrema

De acuerdo a la población registrada en el censo del 2010, los indicadores de pobreza y pobreza extrema por necesidades básicas insatisfechas fueron superiores en la parroquia rural de Tufiño respecto a Tulcán, donde las condiciones de vida de la población de mejor en cuanto al acceso a los servicios necesarios (Figura 40):

Figura 40

Nivel de pobreza y pobreza extrema de la Parroquia Tufiño



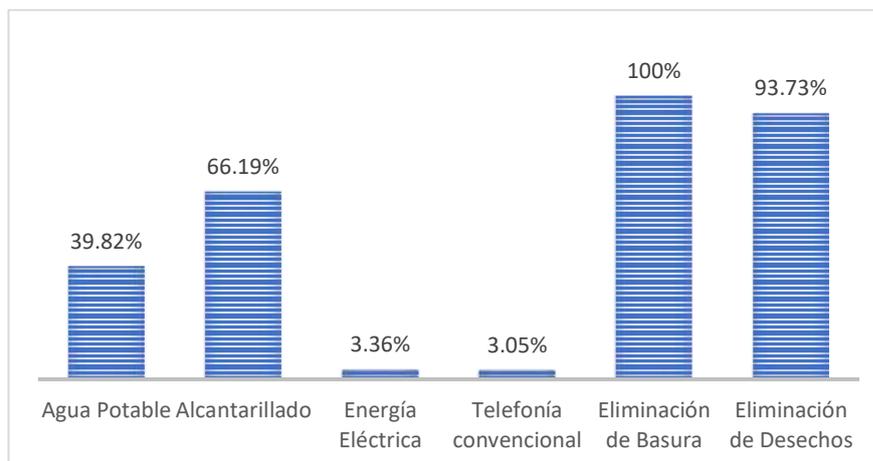
Fuente: (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2010)

Cobertura de Servicios Básicos

De acuerdo a la población registrada en el censo del 2010, se puede indicar que más del 60% de la población no dispone de servicios de agua potable, tan solo el 66% dispone de servicio de alcantarillado, y menos del 4% de la población dispone de servicios de telefonía y energía eléctrica (Figura 41):

Figura 41

Cobertura de servicios básicos de la Parroquia Tufiño



Fuente: (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2010; MTOP and Consorcio PKS - Acolit, 2012; GAD Parroquial Tufiño, 2014)

Respecto a las termas de estudio, por un lado, el Complejo “Aguas Hediondas” si dispone de servicios básicos, puede deberse a que es un establecimiento público que pese a encontrarse dentro de los territorios de la comuna La Esperanza, le pertenece a la Prefectura del Carchi.

Por otro lado, las fuentes Termas “El Artesón” debido a su ubicación y pertenencia no dispone de ningún servicio básico, además cabe recalcar que, debido a problemas por conflictos de uso de las tierras, la construcción de estas fuentes termales no se ha completado, incrementando el riesgo de contaminación de los recursos por parte de los turistas que acuden para hacer uso de ellas.

Educación

La parroquia cuenta con cinco establecimientos educativos, tres de ellos son de Educación Básica, uno para Educación Inicial y Básica y un establecimiento que cuenta con Educación Básica y Bachillerato como se observa en la Tabla 29:

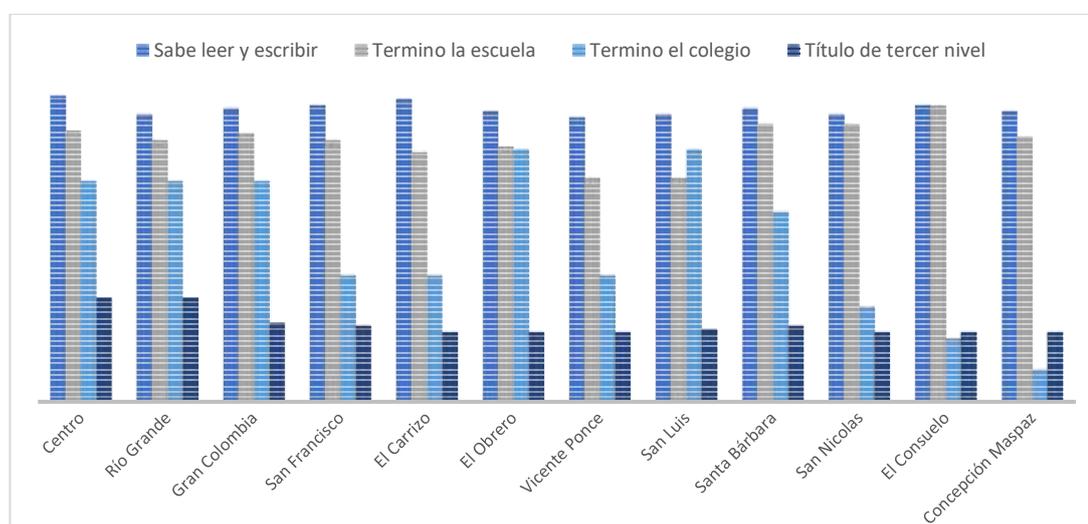
Tabla 32*Establecimientos Educativos de la Parroquia Tufiño*

Establecimiento Educativo	Tipo de Establecimiento	Nivel de Instrucción
Luis Alfonso Romo Dávila	Fiscal	Educación Básica
Los Ríos	Fiscal	Inicial y Educación Básica
Tufiño	Fiscal	Educación Básica y Bachillerato
El Oro	Fiscal	Educación Básica
Cornelio Pozo Villagómez	Fiscal	Educación Básica

Fuente: (Ministerio de Educación, 2014)

Cabe recalcar que al no existir poblaciones asentadas cerca de las zonas de estudio, no se dispone de establecimientos educativos cercanos, por lo que en caso de existir la necesidad, deberían acercarse a las ciudades para su uso.

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial realizado en el 2019 a nivel de parroquia, el 93% de la población sabe leer y escribir, el 83% ha terminado la escuela, el 51% terminó el colegio y un 25,49% de la población ha alcanzado un título de tercer nivel (GAD Parroquial de Tufiño, 2019).

Figura 42*Nivel de Educación por barrios de la Parroquia Tufiño*

Fuente: (GAD Parroquial de Tufiño, 2019)

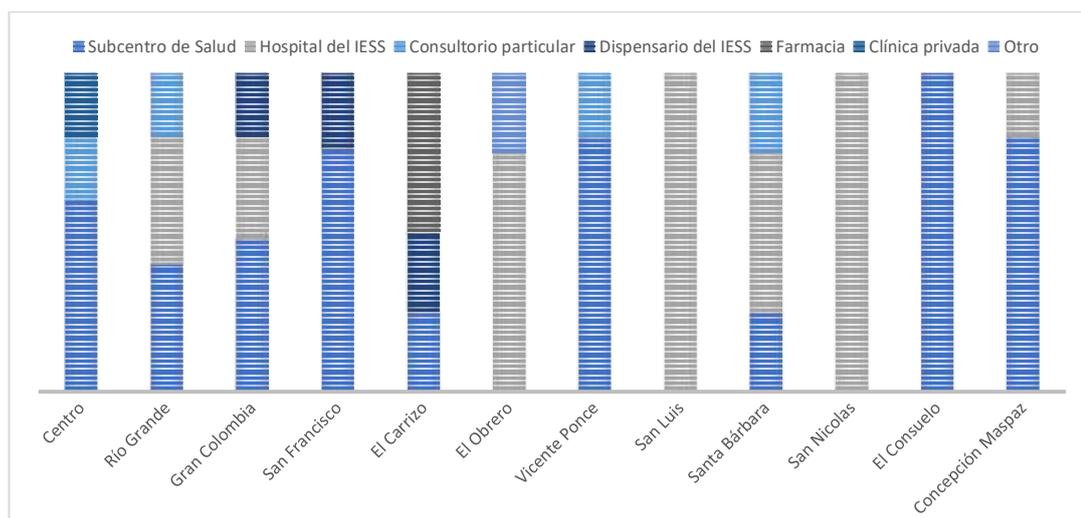
En los sectores de San Francisco, El Carrizo, Vicente Ponce, San Nicolás, El Consuelo y Concepción Maspaz menos del 40% de la población no culminó la secundaria (Figura 42).

Salud

La parroquia cuenta con un único subcentro de salud encargado de cubrir las necesidades médicas de toda la población. Pese a que el establecimiento no cuenta con médicos especialistas ni una atención permanente (GAD Parroquial Tufiño, 2014), la cercanía y facilidad de acceso ha provocado que el 63% de la población acuda a este subcentro de salud, y tan solo el 18% acuda al Hospital público del IESS ubicado en Tulcán, el 8% acude a consultorios privados y el 8% acude a dispensarios del IESS o farmacias locales (Figura 43) (GAD Parroquial de Tufiño, 2019).

Figura 43

Nivel de Educación por barrios de la Parroquia Tufiño



Fuente: (GAD Parroquial de Tufiño, 2019)

Trabajo y Empleo

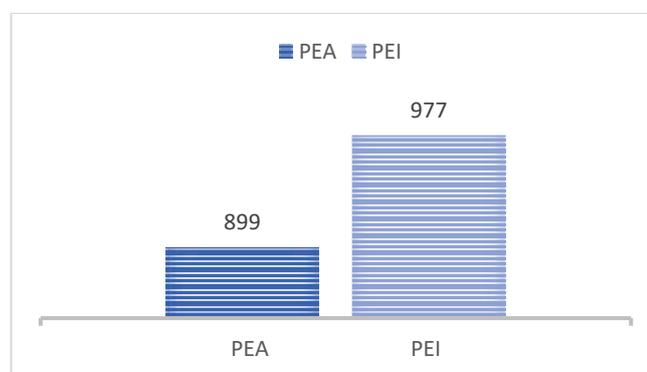
Población económicamente activa e inactiva

De acuerdo a la población registrada en el censo del 2010, Tufiño es una parroquia de 2339 habitantes, que presenta una población económicamente activa

(PEA) de 889 personas, de estos, 653 son hombres y 236 mujeres, mientras que la población económicamente inactiva (PEI) es superior a la PEA, pues son 977 personas las que pertenecen a esta categoría (Figura 44):

Figura 44

Población económicamente activa e inactiva de la Parroquia Tufiño



Fuente: (GAD Parroquial Rural de Tufiño, 2015)

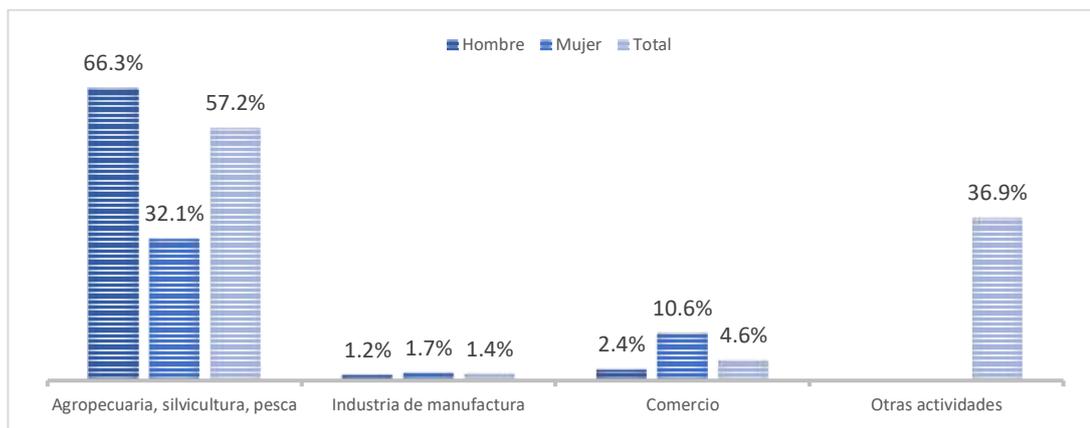
Actividades económicas

En Tufiño, más de la mitad de la población económicamente activa (PEA), se dedica a las actividades agropecuarias; además, son los hombres quienes en su mayoría se dedican a estas actividades. Otras actividades laborales que destacan en la parroquia son la manufactura y el comercio al por mayor y menor, siendo las mujeres quienes en realizan en mayor porcentaje estas dos últimas actividades.

El resto de la población PEA realiza otro tipo de actividades como: empleado público, privado o doméstico, por cuenta propia, entre otras actividades (Figura 45) (GAD Parroquial Rural de Tufiño, 2015; Ministerio del Ambiente, 2015):

Figura 45

Actividades económicas de la PEA de la Parroquia Tufiño



Fuente: (GAD Parroquial Rural de Tufiño, 2015; Ministerio del Ambiente, 2015)

Respecto a las temáticas de estudio, las actividades económicas que pueden ser realizadas con fines lucrativos son el turismo de recreación, mediante el aprovechamiento de las aguas termales, el comercio de productos de limpieza, y la venta de alimentos dentro y fuera de los balnearios.

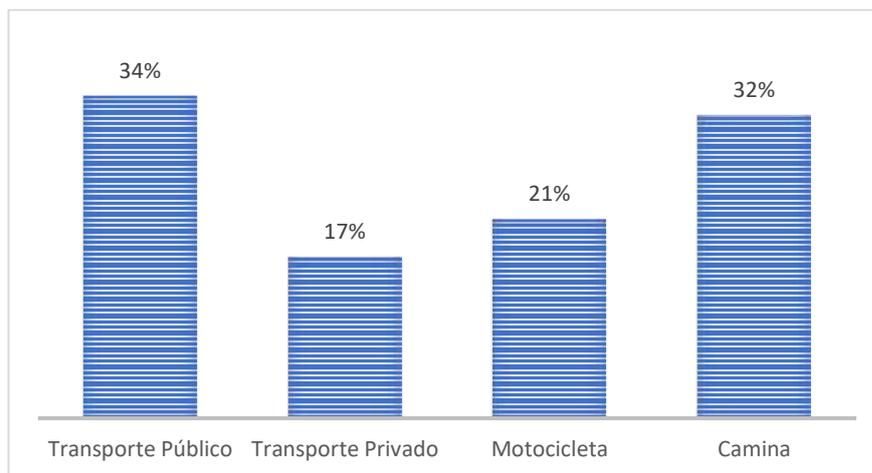
Vialidad y Transporte

Servicios de Transporte

Dentro de la parroquia Tufiño, el 34% de las personas hacen uso del transporte público para movilizarse dentro y fuera de la parroquia, de estas, tan solo el 5% hace uso diario del transporte, el 48% lo usa de 1 a 5 veces por semana y la mitad de la población lo usa de 1 a 5 veces por mes (Figura 46). Por otro lado, el 32% se moviliza a pie, el 21% se movilizan con motocicleta y el 17% mediante un vehículo particular (GAD Parroquial Rural de Tufiño, 2015):

Figura 46

Medios de transporte de la Parroquia Tufiño



Fuente: (GAD Parroquial Rural de Tufiño, 2015)

Transporte Urbano e Intercantonal

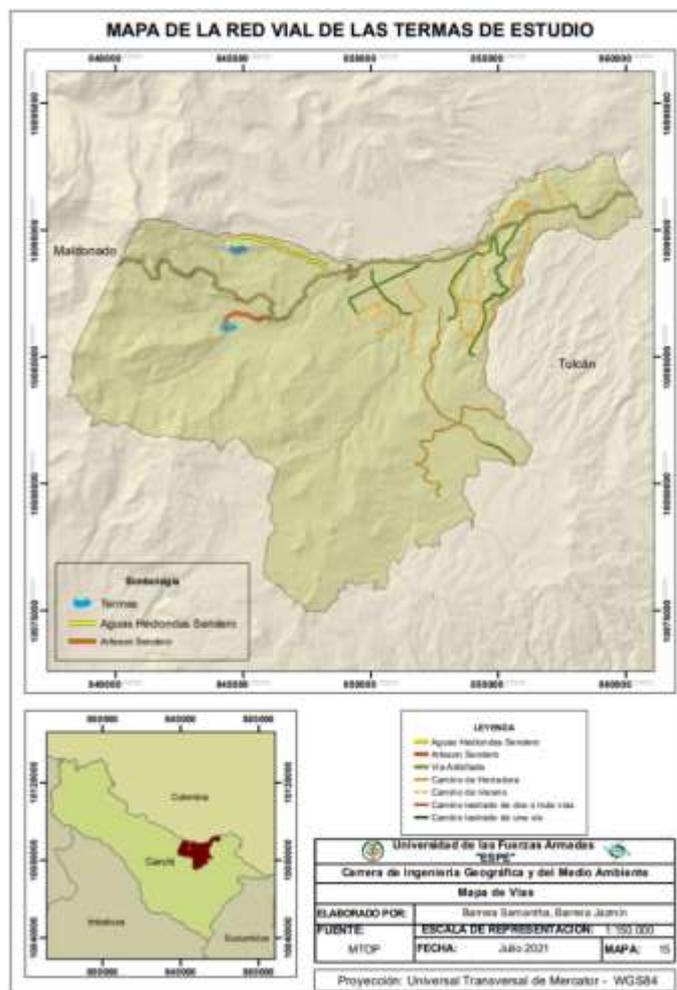
La parroquia cuenta con dos cooperativas de transporte de buses: “Trans Norte” y “Dorado Maldonado”, y una cooperativa de transporte de camionetas “Luis Gonzalo Tufiño”, las cuales cubren las rutas: Tufiño – Tulcán – Maldonado a los pobladores de Tufiño, Chiles (Colombia) y los poblados aledaños, así como a los lugares turísticos de la Parroquia.

Redes viales

El sistema vial interno de Tufiño está formado por vías que integran los diferentes barrios y comunidades entre sí. La parroquia cuenta con 5 tipos de vías: la vía principal de asfalto que conecta las parroquias de Maldonado - Tufiño – Tulcán, dos caminos de herradura al sureste que conectan a Tufiño con Tulcán, caminos de verano y lastrados de unos o más vías que conectan a los barrios internamente (Figura 47).

Figura 47

Mapa de Redes Viales de la Parroquia Tufiño



Para acceder al complejo turístico “Aguas Hediondas” existe una vía de tipo lastrada de unos 5 km aproximadamente, la misma que puede ser transitada a pie, con vehículos motorizados y no motorizados. Por otro lado, las fuentes termales “El Artesón” se acceden a través de un camino de verano en su mayoría debido a las condiciones y la capacidad de absorción de agua que se presentan en los suelos, pues se convierten en lodazales que dificultan el paso por los mismos, forzando a que los turistas que transitan por allí, abran senderos improvisados por los costados del camino, afectando a la biodiversidad de la zona.

Atractivos Turísticos

Lagunas Verdes

Se ubican en las faldas del Volcán Chiles a 3859 msnm, es por ello que cuenta con un paisaje rocoso y montañoso. Son llamadas así debido a la coloración verdosa de sus aguas, producto del azufre depositado en el fondo de las lagunas (Figura 48).

Figura 48

Lagunas verdes de la Parroquia Tufiño

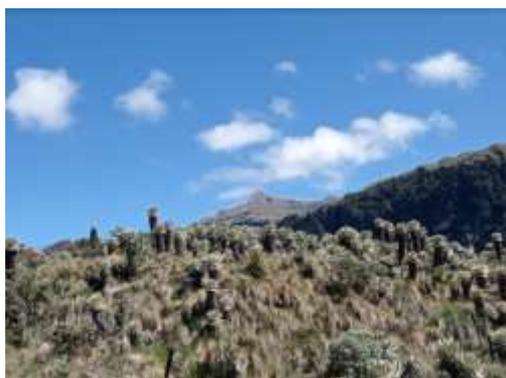


Volcán Chiles

Se encuentra dentro del Complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, al norte en la frontera con Colombia, cuya cumbre está a 4768 msnm. Pese a no ser un nevado en su totalidad, si mantiene nieve en ciertas partes. Este volcán ofrece actividades al aire libre, como el alpinismo, senderismo, entre otras (Figura 49).

Figura 49

Volcán Chiles de la Parroquia Tufiño



Complejo Turístico “Aguas Hediondas”

Se encuentra dentro del páramo, en la frontera con Colombia. Su nombre se debe al intenso olor a azufre que emana de sus aguas, las cuales alcanzan temperaturas de hasta 60 °C, es por ello que, pese a que son útiles para aliviar el dolor de las articulaciones, músculos o problemas de piel gracias a los minerales que contiene el agua, su alto contenido de metales tóxicos y las elevadas temperaturas, no permite su uso prolongado (Figura 50) (Carrera, D. and Guevara, P., 2016).

Figura 50

Complejo Turístico “Aguas Hediondas” de la Parroquia Tufiño



Aguas Termales “El Artesón”

Es un balneario perteneciente a la Comuna “La Esperanza”, que cuenta con dos piscinas únicamente. Para acceder a estas aguas termales es necesario realizar una caminata de 45 minutos desde la carretera; se caracteriza por las aguas medicinales que brotan desde unos pozos no muy lejos de su lugar de aprovechamiento. Sus aguas alcanzan una temperatura de 39 °C, además de que están compuestos por una serie de minerales, es por ello que, se dice poseen propiedades curativas (Figura 51).

Figura 51

Aguas Termales “El Artesón” de la Parroquia Tufiño



IDENTIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

El complejo Turístico “Aguas Hediondas” y las fuentes termales “El Artesón” al contar con recursos naturales provenientes del volcán Chiles, desarrollan diferentes actividades que conllevan tanto el aprovechamiento de las aguas subterráneas como el uso de los ecosistemas que las rodean.

Planificación

En esta fase se podrá conocer cómo se encuentra la situación actual de las termas “Aguas Hediondas” y “El Artesón”, de manera que se puedan definir los objetivos y metas para una correcta propuesta de manejo de sus recursos, razón por la cual es necesario que se analicen los aspectos ambientales de todas las actividades, la legislación ambiental aplicada y la finalidad del plan de manejo.

Análisis medioambiental inicial

En esta fase se podrá realizar una revisión de los comportamientos e impactos relacionados con las actividades y usos que se les dan a los recursos de las termas en cuestión. Al mismo tiempo que identifica las normativas que servirán como base para establecer la calidad de los recursos.

Este primer análisis hace referencia a los impactos ambientales ocasionadas por el aprovechamiento de los recursos de las termas de estudio, para con ello crear estrategias correctivas, planes de manejo y propuestas de aprovechamiento

sostenibles y sustentables. El análisis realizado en las termas “Aguas Hediondas” y “El Artesón”, debe incluir los siguientes procesos:

- Identificación de los aspectos ambientales directos e indirectos sobre el uso que se les da a los recursos de las termas y el impacto ambiental que estos ejercen sobre el medio que los rodea.

- Análisis de las prácticas ambientales de los turistas que hacen uso de las termas de estudio.

- Identificación de los posibles riesgos que podría ocasionar el mal manejo de los recursos al medio ambiente y a las zonas aledañas.

Aspectos ambientales

En esta fase se detallan los aspectos ambientales que se derivan de las actividades que se realizan en el complejo Turístico “Aguas Hediondas” y las fuentes termales “El Artesón”. En la Tabla 30 y 31 se identifican los aspectos ambientales y sus respectivos impactos asociados a los con daños ocasionados por uso de las fuentes termales hacia los recursos físicos y bióticos.

Tabla 33

Aspectos e impactos ambientales procedentes del uso de las termas El Artesón

Factor Ambiental	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental
Suelo	Generación de desechos por actividades de turismo	Contaminación del suelo
	Senderos improvisados (No ecológicos)	Alteración de la biodiversidad del suelo
	Remoción de la cobertura vegetal	Erosión de suelos
	Expansión de la frontera agropecuaria	Alteración de la calidad del suelo
Agua	Uso de instrumentos de aseo	Contaminación de las fuentes de agua
	Generación de desechos por actividades de turismo	Contaminación de las fuentes de agua
	Liberación de agua sin tratamiento previo	Contaminación de las fuentes de agua
	Senderos improvisados (No ecológicos)	Alteración de los cursos superficiales de agua

Flora	Senderos y turismo no ecológico	Alteración de flora presente
	Incendios (Quema de pajonales)	Pérdida de la vegetación debido al avance de la frontera agropecuaria
Fauna	Senderos y turismo no ecológico	Alteración de los sistemas biológicos
	Incendios (Quema de pajonales)	Alteración de los sistemas biológicos debido al avance de la frontera agropecuaria
Socioeconómico	Actividades de construcción	Alteración de paisajes naturales
		Botaderos de escombros
		Alteración de áreas protegidas y bosques protectores
	Generación de desechos por actividades de construcción	Contaminación del suelo
Socioeconómico	Actividades de turismo	Contaminación del suelo
Riesgos Naturales	Erupciones Volcánicas	Alteración de las propiedades de los recursos
		Afectación a la salud e integridad física de las personas

Tabla 34

Aspectos e impactos ambientales procedentes del uso del complejo turístico Aguas Hediondas

Factor Ambiental	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental
Aire	Emisión de gases tóxicos al ambiente	Contaminación del aire
		Daños a la salud humana
Suelo	Generación de desechos por actividades de turismo	Contaminación del suelo
	Remoción de la cobertura vegetal	Alteración de la biodiversidad del suelo
		Erosión de suelos
Agua	Uso de agua directamente de la fuente de surgencia (útiles de aseo personal)	Contaminación de las fuentes de agua
	Uso de útiles de aseo personal	Contaminación de las fuentes de agua
	Generación de desechos por actividades de turismo	Contaminación de las fuentes de agua
	Liberación de agua sin tratamiento previo	Contaminación de las fuentes de agua

Flora	Turismo no ecológico	Alteración de los ecosistemas
		Alteración de la flora presente
Fauna	Turismo no ecológico	Alteración de los sistemas biológicos
Socioeconómico	Actividades de construcción	Alteración de paisajes naturales
		Alteración de los cursos superficiales de agua
	Infraestructura del complejo turístico	Vía de acceso
Riesgos Naturales	Deslizamientos de rocas	Impacto a la integridad física de los visitantes y trabajadores
	Erupciones Volcánicas	Alteración de las propiedades de los recursos
Riesgos Naturales	Erupciones Volcánicas	Afectación a la salud e integridad física de las personas

Valoración de los Impactos ambientales

En esta fase se detallan los aspectos e impactos ambientales condicionados por diferentes factores, los mismos que servirán como herramienta para calcular el impacto causado por las actividades recreativas que se realizan en el interior y en los alrededores de las fuentes termales, de este modo se podrá conocer el grado afectación por dichos impactos que varían desde impactos bajos hasta los críticos, obteniendo una valoración cualitativa (Conesa Fernández, 2010),

El grado de importancia viene influenciado por diez factores cuantificados a través de una matriz de importancia mediante el método de valoración propuesta por Vicente Conesa Fernández como se muestra a continuación (Tabla 32 y 33)

Tabla 35

Evaluación de los aspectos e impactos ambientales de las termas El Artesón

PROPUESTA DE MANEJO AMBIENTAL PARA LAS FUENTES TERMALES "EL ARTESÓN"														Fecha de emisión: marzo 2021	
MATRIZ DE EVALUACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES														TIPO DE ALERTA	VALORACIÓN
FACTOR AMBIENTAL	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	IMPORTANCIA DEL IMPACTO												
			(+/-)	3IN	2EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC		
Suelo	Generación de desechos por actividades de turismo	Contaminación del suelo	-	6	4	1	4	2	1	4	4	4	2	32	MODERADO
	Senderos improvisados (No ecológicos)	Alteración de la biodiversidad del suelo	-	6	8	1	2	2	2	4	4	4	2	35	
	Remoción de la cobertura vegetal	Erosión de suelos	-	3	2	1	4	2	2	1	4	2	2	23	BAJO
	Expansión de la frontera agropecuaria	Alteración de la calidad del suelo	-	6	4	4	4	2	2	4	4	2	8	40	MODERADO
Agua	Uso de instrumentos de aseo	Contaminación de las fuentes de agua	-	12	16	1	4	2	2	4	4	1	4	50	SEVERO
	Generación de desechos por actividades de turismo	Contaminación de las fuentes de agua	-	6	16	1	4	2	4	4	4	4	4	49	MODERADO
	Liberación de agua sin tratamiento previo	Contaminación de las fuentes de agua	-	12	16	2	4	2	2	4	4	1	4	51	SEVERO
	Senderos improvisados (No ecológicos)	Alteración de los cursos superficiales de agua	-	6	4	4	4	4	4	2	1	1	4	8	38

Flora	Senderos y turismo no ecológico	Alteración de flora presente	-	36	16	2	4	4	2	4	4	1	4	77		CRÍTICO
PROPUESTA DE MANEJO AMBIENTAL PARA LAS FUENTES TERMALES "EL ARTESÓN"															Fecha de emisión: marzo 2021	
MATRIZ DE EVALUACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES																
FACTOR AMBIENTAL	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	IMPORTANCIA DEL IMPACTO											Importancia (I)	TIPO DE ALERTA	VALORACIÓN
			(+/-)	3IN	2EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC			
Flora	Incendios (Quema de pajonales)	Pérdida de la vegetación debido al avance de la frontera agropecuaria	-	6	4	4	4	2	4	4	4	2	4	38		MODERADO
Fauna	Senderos y turismo no ecológico	Alteración de los sistemas biológicos	-	36	24	2	4	4	4	4	1	1	8	88		CRÍTICO
	Incendios (Quema de pajonales)	Alteración de los sistemas biológicos debido al avance de la frontera agropecuaria	-	12	8	4	4	4	4	4	4	2	8	54		CRÍTICO
Socioeconómico	Actividades de construcción	Alteración de paisajes naturales	-	36	1	8	4	4	4	4	4	1	8	74		SEVERO
		Botaderos de escombros	-	12	1	1	4	2	2	4	1	4	4	35		MODERADO
		Alteración de áreas protegidas y bosques protectores	-	36	1	8	4	2	2	4	4	4	8	73		SEVERO
	Generación de desechos por actividades de construcción	Contaminación del suelo	-	6	2	2	4	2	2	4	4	1	4	31		MODERADO
	Actividades de turismo	Contaminación del suelo	-	6	2	2	4	2	2	4	4	1	2	29		MODERADO

Riesgos Naturales	Erupciones Volcánicas	Alteración de las propiedades de los recursos	-	6	8	2	2	2	2	4	1	1	4	32		MODERADO
PROPUESTA DE MANEJO AMBIENTAL PARA LAS FUENTES TERMALES "EL ARTESÓN"															Fecha de emisión: marzo 2021	
MATRIZ DE EVALUACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES																
FACTOR AMBIENTAL	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	IMPORTANCIA DEL IMPACTO												TIPO DE ALERTA	VALORACIÓN
			(+/-)	3IN	2EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC	Importancia (I)		
Riesgos Naturales	Erupciones Volcánicas	Afectación a la salud e integridad física de las personas	-	12	8	2	2	2	2	4	4	1	4	41		MODERADO

Tabla 36

Evaluación de los aspectos e impactos ambientales del complejo turístico Aguas Hediondas

PROPUESTA DE MANEJO AMBIENTAL PARA EL COMPLEJO TURISTICO "AGUAS HEDIONDAS"															Fecha de emisión: marzo 2021	
MATRIZ DE EVALUACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES																
FACTOR AMBIENTAL	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	IMPORTANCIA DEL IMPACTO												TIPO DE ALERTA	VALORACIÓN
			(+/-)	3IN	2EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC	Importancia (I)		
Aire	Emisión de gases tóxicos al ambiente	Contaminación del aire	-	6	8	1	4	2	1	1	1	4	4	32		MODERADO
		Daños a la salud humana	-	3	4	2	4	4	1	1	4	4	8	35		MODERADO
Suelo	Generación de desechos por actividades de turismo	Contaminación del suelo	-	6	2	1	2	2	2	4	4	1	4	28		MODERADO
		Alteración de la biodiversidad del suelo	-	12	4	4	4	2	2	4	4	4	4	44		MODERADO
		Erosión de suelos	-	6	2	1	4	2	2	4	4	2	4	31		MODERADO

Agua	Uso de agua directamente de la fuente de surgencia (útiles de aseo personal)	Contaminación de las fuentes de agua	-	12	16	1	4	2	2	4	4	1	4	50		SEVERO
PROPUESTA DE MANEJO AMBIENTAL PARA EL COMPLEJO TURISTICO "AGUAS HEDIONDAS"															Fecha de emisión: marzo 2021	
MATRIZ DE EVALUACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES																
FACTOR AMBIENTAL	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	IMPORTANCIA DEL IMPACTO												TIPO DE ALERTA	VALORACIÓN
			(+/-)	3IN	2EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC	Importancia (I)		
Agua	Uso de útiles de aseo personal	Contaminación de las fuentes de agua	-	6	8	2	4	2	2	4	4	1	4	37		MODERADO
	Generación de desechos por actividades de turismo	Contaminación de las fuentes de agua	-	6	8	1	2	2	2	4	4	1	4	34		MODERADO
	Liberación de agua sin tratamiento previo	Contaminación de las fuentes de agua	-	12	16	1	4	2	2	4	4	1	4	50		SEVERO
Flora	Turismo no ecológico	Alteración de los ecosistemas	-	12	4	1	4	2	2	4	4	4	2	39		MODERADO
		Alteración de la flora presente	-	12	1	4	4	4	2	4	1	4	4	40		MODERADO
Fauna	Turismo no ecológico	Alteración de los sistemas biológicos	-	24	8	4	4	4	2	4	4	4	8	66		SEVERO
Socioeconómico	Actividades de construcción	Alteración de paisajes naturales	-	36	16	4	4	4	2	4	4	4	8	86		CRÍTICO
		Alteración de los cursos superficiales de agua	-	6	8	4	4	4	2	4	4	4	8	48		MODERADO
		Vía de acceso	-	12	8	4	4	4	2	4	4	4	2	48		MODERADO

	Infraestructura del complejo turístico	Alteración de los ecosistemas	-	24	16	4	4	4	4	4	4	4	8	76		CRÍTICO
Riesgos Naturales	Deslizamientos de rocas	Impacto a la integridad física de los visitantes y trabajadores	-	3	6	1	2	2	2	4	4	1	2	27		MODERADO
PROPUESTA DE MANEJO AMBIENTAL PARA LAS FUENTES TERMALES "EL ARTESÓN"															Fecha de emisión: marzo 2021	
MATRIZ DE EVALUACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES																
FACTOR AMBIENTAL	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	IMPORTANCIA DEL IMPACTO											TIPO DE ALERTA	VALORACIÓN	
			(+/-)	3IN	2EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC			Importancia (I)
Riesgos Naturales	Erupciones Volcánicas	Alteración de las propiedades de los recursos	-	6	8	4	2	2	4	4	4	1	4	39		MODERADO
		Afectación a la salud e integridad física de las personas	-	6	8	4	1	2	4	4	4	1	2	36		MODERADO

Respecto a los impactos ambientales considerados como severos presentados en las termas El Artesón, la contaminación y alteración de las fuentes de agua, necesitan de la implementación de propuestas de prevención y mitigación con acciones y propuestas que se realicen in situ para mitigar y controlar los impactos que puedan generarse. Así mismo, la alteración de paisajes naturales, de áreas y bosque protectores y la alteración de los ecosistemas impactan negativamente al sitio donde se producen, por lo que la implementación de planes de capacitación y rehabilitación de las áreas afectadas ayudaría a mitigar ciertos impactos asociados.

En cuanto a los impactos ambientales considerados como críticos, la alteración de la flora y los sistemas biológicos presentes requieren de planes de contingencia con propuestas de acciones inmediatas y posteriores que aseguren la preservación de los sistemas de vida presentes en el área de estudio.

Respecto a los impactos ambientales considerados como severos presentados en el Complejo Turístico Aguas Hediondas, la contaminación de las fuentes de agua y la alteración de las fuentes de agua para fauna acuática y de los sistemas biológicos presentes, necesitan de la implementación de propuestas de prevención, mitigación y contingencia debido a la fragilidad que presentan, por ello el diseño de planes que contengan acciones y propuestas que se realicen in situ serán de utilidad a la hora de mitigar y controlar los impactos que puedan generarse.

Así mismo, los impactos ambientales considerados como críticos, la alteración de los paisajes naturales y de los ecosistemas sobre los cuales se ubican las termas, requieren de planes de contingencia con planes en los que consten propuestas de acciones inmediatas y posteriores que aseguren la preservación de los sistemas de las zonas de vida presentes en el área de estudio.

Objetivos y programas de manejo medioambiental

La creación de los objetivos y programas de la propuesta de plan de manejo ambiental han sido formulados basándose en las políticas ambientales del reglamento de código orgánico ambiental, a su vez se consideraron los requisitos legales y se planteó el uso de recursos humanos, económicos y operacionales, de manera que se pueda ejecutar los objetivos propuestos de cada programa.

Tabla 37

Plan de prevención y mitigación de impactos en El Artesón

PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS							
PROGRAMA DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS							
OBJETIVO: Prevenir o minimizar la incidencia de los potenciales impactos identificados sobre los componentes ambientales.					PMA-1		
LUGAR DE APLICACIÓN: Termas "El Artesón", Tufiño-Carchi							
ASPECTO	IMPACTO	ACCIONES PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	PLAZOS		
					INICIO	PERIODICIDAD	FINALIZACIÓN
Uso de instrumentos de aseo	Contaminación de las fuentes de agua	Prohibir el uso de detergentes, jabones y demás productos de limpieza que contengan elementos tóxicos e incentivar el uso de productos amigables con el medio ambiente	Capacitaciones	Registro de Capacitación	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades
			Reporte de señalética instalada	Registro Fotográfico	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades
Liberación de agua sin tratamiento previo	Contaminación de las fuentes de agua	Regular el vertimiento de residuos a los cuerpos de agua sin previo tratamiento.	Intercepción y tratamiento de las descargas hacia los cuerpos de agua	Reporte del monitoreo de la calidad del cuerpo de agua	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades

PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS							
PROGRAMA DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS							
OBJETIVO: Prevenir o minimizar la incidencia de los potenciales impactos identificados sobre los componentes ambientales.					PMA-1		
LUGAR DE APLICACIÓN: Termas "El Artesón", Tufiño-Carchi							
ASPECTO	IMPACTO	ACCIONES PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	PLAZOS		
					INICIO	PERIODICIDAD	FINALIZACIÓN
Actividades de construcción	Alteración de áreas protegidas y bosques protectores	Regular la emisión de permisos para la construcción de infraestructuras dentro de áreas protegidas	Informe de actividades / informe de permisos otorgados	Permiso de ocupación o certificado de inspección	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades
Senderos y turismo no ecológico	Alteración de los ecosistemas	Establecer organismos de control para la protección de los ecosistemas	Planes de acción generados en función del incumplimiento	Reporte de monitoreo del estado de la biodiversidad	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades
		Adecuar un sendero ecológico	Reporte de señalética e instalación de linderos en el sendero	Registro Fotográfico	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades
		Implementar cercas vivas que delimiten el sendero de acceso	Instalación de cercas vivas y señalética a lo largo del sendero	Registro Fotográfico	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades
				Registro Fotográfico	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades

Tabla 38

Plan de manejo de desechos en El Artesón

PLAN DE MANEJO DE DESECHOS							
PROGRAMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS							
OBJETIVO: Implementar un plan integral de manejo de desechos con el fin de mitigar los efectos adversos que puedan generarse sobre el ambiente.					PMA-2		
LUGAR DE APLICACIÓN: Termas "El Artesón", Tufiño-Carchi							
ASPECTO	IMPACTO	ACCIONES PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	PLAZOS		
					INICIO	PERIODICIDAD	FINALIZACIÓN
Uso de instrumentos de aseo	Contaminación de las fuentes de agua	Interceptar y tratar las descargas hacia los cuerpos de agua	Monitoreo de la cantidad de desechos generados y tratados	Registro de disposición final de desechos	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades
Actividades de construcción	Alteración de paisajes naturales	Adecuar un área para la disposición temporal de los materiales sobrantes	Cantidad de desechos gestionados / Cantidad de desechos generados	Registro de disposición final de desechos	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Durante fase de adecuación del complejo	Finalización de actividades
	Alteración de áreas protegidas y bosques protectores	Implementar medidas que regulen el desecho de escombros en medio de senderos y zonas que generen un impacto ambiental	Cantidad de desechos gestionados / Cantidad de desechos generados	Registro Fotográfico	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Durante fase de adecuación del complejo	Finalización de actividades

PLAN DE MANEJO DE DESECHOS							
PROGRAMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS							
OBJETIVO: Implementar un plan integral de manejo de desechos con el fin de mitigar los efectos adversos que puedan generarse sobre el ambiente.					PMA-2		
LUGAR DE APLICACIÓN: Termas "El Artesón", Tufiño-Carchi							
ASPECTO	IMPACTO	ACCIONES PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	PLAZOS		
					INICIO	PERIODICIDAD	FINALIZACIÓN
Actividades de turismo	Contaminación del suelo	Establecer puntos limpios a lo largo del sendero, cada uno debe contener 2 recipientes para la disposición de desechos orgánicos e inorgánicos	Instalación de botes de basura ecológicos	Registro Fotográfico	A partir de la fecha de funcionamiento de las fuentes termales	Permanente	Finalización de actividades
			Correcta señalización de los botes de basura	Registro Fotográfico	A partir de la fecha de funcionamiento de las fuentes termales	Permanente	Finalización de actividades
			Caracterización de los desechos generados	Registro Fotográfico	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades
		Designar a una persona responsable de la recolección de los desechos en horarios establecidos	Capacitaciones al personal responsable	Registro de capacitación	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades

Tabla 39

Plan de comunicación, capacitación y educación ambiental en El Artesón

PLAN DE MANEJO DE DESECHOS							
PROGRAMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS							
OBJETIVO: Implementar un plan integral de manejo de desechos con el fin de mitigar los efectos adversos que puedan generarse sobre el ambiente.					PMA-3		
LUGAR DE APLICACIÓN: Termas "El Artesón", Tufiño-Carchi							
ASPECTO	IMPACTO	ACCIONES PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	PLAZOS		
					INICIO	PERIODICIDAD	FINALIZACIÓN
Uso de instrumentos de aseo	Contaminación de las fuentes de agua	Realizar capacitaciones mediante charlas a los visitantes abarcando las restricciones del uso del complejo	Número de charlas brindadas	Registros de capacitación	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades
Senderos y turismo no ecológico	Alteración de los ecosistemas	Realizar capacitaciones mediante charlas a los visitantes abarcando temas ambientales. (Uso de implementos necesarios para ingresar a la zona)	Número de charlas brindadas	Registros de capacitación	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades

Tabla 40

Plan de contingencias en El Artesón

PLAN DE CONTINGENCIAS							
PROGRAMA DE EMERGENCIAS Y CONTINGENCIAS AMBIENTALES - GESTION AMBIENTAL							
OBJETIVO: Prevenir y controlar las potenciales situaciones de emergencia y contingencia relacionadas a las actividades de aprovechamiento de los recursos naturales de la zona					PMA-4		
LUGAR DE APLICACIÓN: Termas "El Artesón", Tufiño-Carchi							
ASPECTO	IMPACTO	ACCIONES PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	PLAZOS		
					INICIO	PERIODICIDAD	FINALIZACIÓN
Incendios (Quema de pajonales)	Pérdida de los ecosistemas debido al avance de la frontera agropecuaria	Capacitaciones mediante charlas a la comunidad aledaña	Capacitaciones realizadas	Registro de Capacitación	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades
		Implementación de señalética adecuada	Reporte de señalética instalada	Registro Fotográfico	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades
Erupciones Volcánicas	Alteración de las propiedades de los recursos	Análisis físico-químicos en caso de suscitarse la emergencia	Reporte de la calidad de los recursos	Registro de la calidad de los recursos	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades

PLAN DE CONTINGENCIAS							
PROGRAMA DE EMERGENCIAS Y CONTINGENCIAS AMBIENTALES - GESTION AMBIENTAL							
OBJETIVO: Prevenir y controlar las potenciales situaciones de emergencia y contingencia relacionadas a las actividades de aprovechamiento de los recursos naturales de la zona					PMA-4		
LUGAR DE APLICACIÓN: Termas "El Artesón", Tufiño-Carchi							
ASPECTO	IMPACTO	ACCIONES PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	PLAZOS		
					INICIO	PERIODICIDAD	FINALIZACIÓN
Erupciones Volcánicas	Afectación a la salud e integridad física de las personas	Implementar una guía de acción en caso de emergencia	Número de emergencias atendidas / Número de emergencias suscitadas	Registro de Emergencias	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Cada 6 meses	Finalización de actividades
			% de cumplimiento de los simulacros planificados	Informe de simulacros realizados y registro fotográfico	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Cada 6 meses	Finalización de actividades
		Realizar un simulacro de emergencias	Numero de simulacros planificados	Informe de simulacros realizados y registro fotográfico	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Cada 6 meses	Finalización de actividades

Tabla 41

Plan de monitoreo y seguimiento en El Artesón

PLAN DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO							
PROGRAMA DE CONTROL Y SEGUIMIENTO DE IMPACTOS AMBIENTALES							
OBJETIVO: Vigilar el cumplimiento del Plan de Manejo Ambiental y controlar el cumplimiento de la normativa ambiental aplicable a la empresa.					PMA-5		
LUGAR DE APLICACIÓN: Termas "El Artesón", Tufiño-Carchi							
ASPECTO	IMPACTO	ACCIONES PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	PLAZOS		
					INICIO	PERIODICIDAD	FINALIZACIÓN
Liberación de agua sin tratamiento previo	Contaminación de las fuentes de agua	Realizar una caracterización de las descargas hacia los cuerpos de agua	Cumplimiento de la normativa vigente (TULSMA Libro VI, anexo 1)	Reporte del monitoreo de la calidad del cuerpo de agua	A partir de la instalación del sistema de tratamiento	Permanente	Finalización de actividades
Expansión de la frontera agropecuaria	Alteración de la calidad del suelo	Implementar acuerdos entre comunidades locales y el gobierno provincial con la finalidad de desarrollar programas de conservación de estas áreas	Desarrollo de una campaña de concientización y capacitación para las comunidades locales	Registros de capacitación y registro fotográfico	A partir de la instalación del sistema de tratamiento	Permanente	Finalización de actividades
		Implementar un plan para la recuperación de las áreas afectadas	Programa de rehabilitación	Reporte de monitoreo de las áreas rehabilitadas y registro fotográfico	A partir de la instalación del sistema de tratamiento	Permanente	Finalización de actividades

Tabla 42

Plan de rehabilitación de áreas contaminadas en El Artesón

PLAN DE REHABILITACIÓN DE AREAS CONTAMINADAS							
PROGRAMA DE GESTIÓN DE REHABILITACIÓN DE AREAS AFECTADAS							
OBJETIVO: Proponer medidas de rehabilitación de las áreas que pudieran ser afectadas por eventos de emergencias o de contaminación ambiental					PMA-6		
LUGAR DE APLICACIÓN: Termas "El Artesón", Tufiño-Carchi							
ASPECTO	IMPACTO	ACCIONES PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	PLAZOS		
					INICIO	PERIODICIDAD	FINALIZACIÓN
Generación de desechos por actividades de turismo	Contaminación de las fuentes de agua	Implementar redes que capturen los desechos transportados por las aguas	Monitoreo de la cantidad de desechos generados y recolectados	Reporte del monitoreo de la cantidad de desechos generados y recolectados	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades
	Contaminación del suelo	Implementar personal para la realización de la limpieza y recolección de residuos generados por las actividades turísticas	Cantidad de desechos recolectados por parte del personal encargado	Reporte de la cantidad de desechos recolectados	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades
Generación de desechos por actividades de construcción	Contaminación del suelo	Desarrollar un plan de rehabilitación para las áreas afectadas	Programa de rehabilitación	Reporte de monitoreo de las áreas rehabilitadas y registro fotográfico	A partir de la instalación del sistema de tratamiento	Permanente	Finalización de actividades

Tabla 43

Plan de prevención y mitigación de impactos en el complejo turístico "Agua Hediondas"

PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS							
PROGRAMA DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS							
OBJETIVO: Prevenir o minimizar la incidencia de los potenciales impactos identificados sobre los componentes ambientales.					PMA-1		
LUGAR DE APLICACIÓN: Complejo Turístico "Agua Hediondas", Tufiño-Carchi							
ASPECTO	IMPACTO	ACCIONES PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	PLAZOS		
					INICIO	PERIODICIDAD	FINALIZACIÓN
Uso de agua directamente de la fuente de surgencia (útiles de aseo personal)	Contaminación de las fuentes de agua	Prohibir el uso de detergentes, jabones y demás productos de limpieza que contengan elementos tóxicos e incentivar el uso de productos amigables con el medio ambiente	Capacitaciones realizadas	Monitoreo de la calidad del agua	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades
			Reporte de señalética instalada	Registro de Capacitación	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades
Liberación de agua sin tratamiento previo	Contaminación de las fuentes de agua	Regular el vertimiento de residuos a los cuerpos de agua sin previo tratamiento.	Reporte de señalética instalada	Registro Fotográfico	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades

PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS							
PROGRAMA DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS							
OBJETIVO: Prevenir o minimizar la incidencia de los potenciales impactos identificados sobre los componentes ambientales.					PMA-1		
LUGAR DE APLICACIÓN: Complejo Turístico "Aguas Hediondas", Tufiño-Carchi							
ASPECTO	IMPACTO	ACCIONES PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	PLAZOS		
					INICIO	PERIODICIDAD	FINALIZACIÓN
Actividades de construcción	Alteración de paisajes naturales	Regular la emisión de permisos para la construcción de infraestructuras	Informe de actividades / informe de permisos otorgados	Permiso de ocupación o certificado de inspección	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades
Infraestructura del complejo turístico y vía de acceso	Alteración de los ecosistemas	Desarrollar un plan de conservación para el ecosistema circundante	Programa de conservación	Reporte de monitoreo de las áreas afectadas y registro fotográfico	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades

Tabla 44

Plan de manejo de desechos en el complejo turístico "Aguas Hediondas"

PLAN DE MANEJO DE DESECHOS							
PROGRAMA DE GESTION DE RESIDUOS							
OBJETIVO: Implementar un plan integral de manejo de desechos con el fin de mitigar los efectos adversos que puedan generarse sobre el ambiente.					PMA-2		
LUGAR DE APLICACIÓN: Complejo Turístico "Aguas Hediondas", Tufiño-Carchi							
ASPECTO	IMPACTO	ACCIONES PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	PLAZOS		
					INICIO	PERIODICIDAD	FINALIZACIÓN
Uso de agua directamente de la fuente de emergencia (útiles de aseo personal)	Contaminación de las fuentes de agua	Interceptara y tratar las descargas hacia los cuerpos de agua	Monitoreo de la cantidad de desechos generados y tratados	Registro de disposición final de desechos	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades
Actividades de construcción	Alteración de paisajes naturales	Adecuar un área para la disposición temporal de los materiales sobrantes	Cantidad de desechos gestionados / Cantidad de desechos generados	Registro de disposición final de desechos	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Durante fase de adecuación del complejo	Finalización de actividades
Turismo no ecológico	Alteración de los ecosistemas	Designar a una persona responsable de la recolección de los desechos en horarios establecidos	Capacitaciones al personal responsable	Registro de capacitación	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades

PLAN DE MANEJO DE DESECHOS							
PROGRAMA DE GESTION DE RESIDUOS							
OBJETIVO: Implementar un plan integral de manejo de desechos con el fin de mitigar los efectos adversos que puedan generarse sobre el ambiente.						PMA-2	
LUGAR DE APLICACIÓN: Complejo Turístico "Aguas Hediondas", Tufiño-Carchi							
ASPECTO	IMPACTO	ACCIONES PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	PLAZOS		
					INICIO	PERIODICIDAD	FINALIZACIÓN
Turismo no ecológico	Alteración de los ecosistemas	Interceptara y tratar las descargas hacia los cuerpos de agua	Establecer puntos limpios dentro del complejo turístico, cada uno debe contener 2 recipientes para la disposición de desechos orgánicos e inorgánicos	Instalación de botes de basura ecológicos	Registro Fotográfico	A partir de la fecha de funcionamiento de las fuentes termales	Permanente
		Adecuar un área para la disposición temporal de los materiales sobrantes	Cantidad de desechos gestionados / Cantidad de desechos generados	Correcta señalización de los botes de basura	Registro Fotográfico	A partir de la fecha de funcionamiento de las fuentes termales	Permanente
		Designar a una persona responsable de la recolección de los desechos en horarios establecidos	Capacitaciones al personal responsable	Caracterización de los desechos generados	Registro Fotográfico	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente

Tabla 45

Plan de comunicación, capacitación y educación ambiental en el complejo turístico “Aguas Hediondas”

PLAN DE COMUNICACIÓN, CAPACITACIÓN Y EDUCACIÓN AMBIENTAL							
PROGRAMA DE COMUNICACIÓN Y TOMA DE CONCIENCIA EN GESTION AMBIENTAL							
OBJETIVO: Crear una cultura ambiental que permita el adecuado desarrollo de las actividades durante las operaciones de la empresa peligrosos con el fin de mitigar los efectos adversos que puedan generarse sobre el ambiente.					PMA-3		
LUGAR DE APLICACIÓN: Complejo Turístico “Aguas Hediondas”, Tufiño-Carchi							
ASPECTO	IMPACTO	ACCIONES PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	PLAZOS		
					INICIO	PERIODICIDAD	FINALIZACIÓN
Uso de agua directamente de la fuente de emergencia (útiles de aseo personal)	Contaminación de las fuentes de agua	Realizar capacitaciones mediante charlas a los visitantes abarcando las restricciones del uso del complejo	Número de charlas brindadas	Registros de capacitación	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades
Turismo no ecológico	Alteración de los ecosistemas	Realizar capacitaciones mediante charlas a los visitantes abarcando temas ambientales. (Uso de implementos necesarios para ingresar a la zona)	Número de charlas brindadas	Registros de capacitación	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades

Tabla 46

Plan de contingencias en el complejo turístico "Aguas Hediondas"

PLAN DE CONTINGENCIAS							
PROGRAMA DE EMERGENCIAS Y CONTINGENCIAS AMBIENTALES - GESTION AMBIENTAL							
OBJETIVO: Prevenir y controlar las potenciales situaciones de emergencia y contingencia relacionadas a las actividades de aprovechamiento de los recursos naturales de la zona					PMA-4		
LUGAR DE APLICACIÓN: Complejo Turístico "Aguas Hediondas", Tufiño-Carchi							
ASPECTO	IMPACTO	ACCIONES PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	PLAZOS		
					INICIO	PERIODICIDAD	FINALIZACIÓN
Deslizamientos de rocas	Impacto a la integridad física de los visitantes y trabajadores	Planes de evacuación en caso de emergencia	Capacitaciones realizadas	Registro de Capacitación	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades
		Implementación de señalética adecuada	Reporte de señalética instalada	Registro Fotográfico	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades
Erupciones Volcánicas	Alteración de las propiedades de los recursos	Análisis físico-químicos en caso de suscitarse la emergencia	Reporte de la calidad de los recursos	Registro de la calidad de los recursos	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades

PLAN DE CONTINGENCIAS							
PROGRAMA DE EMERGENCIAS Y CONTINGENCIAS AMBIENTALES - GESTION AMBIENTAL							
OBJETIVO: Prevenir y controlar las potenciales situaciones de emergencia y contingencia relacionadas a las actividades de aprovechamiento de los recursos naturales de la zona					PMA-4		
LUGAR DE APLICACIÓN: Complejo Turístico "Aguas Hediondas", Tufiño-Carchi							
ASPECTO	IMPACTO	ACCIONES PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	PLAZOS		
					INICIO	PERIODICIDAD	FINALIZACIÓN
Erupciones Volcánicas	Afectación a la salud e integridad física de las personas	Implementar una guía de acción en caso de emergencia	Número de emergencias atendidas / Número de emergencias suscitadas	Registro de Emergencias	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Cada 6 meses	Finalización de actividades
			% de cumplimiento de los simulacros planificados	Informe de simulacros realizados y registro fotográfico	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Cada 6 meses	Finalización de actividades
		Realizar un simulacro de emergencias	Numero de simulacros planificados	Informe de simulacros realizados y registro fotográfico	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Cada 6 meses	Finalización de actividades

Tabla 47

Plan de monitoreo y seguimiento en el complejo turístico "Aguas Hediondas"

PLAN DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO							
PROGRAMA DE CONTROL Y SEGUIMIENTO DE IMPACTOS AMBIENTALES							
OBJETIVO: Vigilar el cumplimiento del Plan de Manejo Ambiental y controlar el cumplimiento de la normativa ambiental aplicable a la empresa.					PMA-5		
LUGAR DE APLICACIÓN: Complejo Turístico "Aguas Hediondas", Tufiño-Carchi							
ASPECTO	IMPACTO	ACCIONES PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	PLAZOS		
					INICIO	PERIODICIDAD	FINALIZACIÓN
Liberación de agua sin tratamiento previo	Contaminación de las fuentes de agua	Realizar una caracterización de las descargas hacia los cuerpos de agua	Cumplimiento de la normativa vigente (TULSMA Libro VI, anexo 1)	Reporte del monitoreo de la calidad del cuerpo de agua	A partir de la instalación del sistema de tratamiento	Permanente	Finalización de actividades
Turismo no ecológico	Alteración de los ecosistemas	Implementar acuerdos entre las comunidades locales y el gobierno provincial con la finalidad de desarrollar programas de conservación del ecosistema circundante	Desarrollo de una campaña de concientización y capacitación para las comunidades locales	Registros de capacitación y registro fotográfico	A partir de la instalación del sistema de tratamiento	Permanente	Finalización de actividades
Turismo no ecológico	Alteración de los ecosistemas	Implementar un plan para la recuperación de las áreas afectadas	Programa de rehabilitación	Reporte de monitoreo de las áreas rehabilitadas y registro fotográfico	A partir de la instalación del sistema de tratamiento	Permanente	Finalización de actividades

Tabla 48

Plan de rehabilitación de áreas contaminadas en El Artesón

PLAN DE REHABILITACIÓN DE AREAS CONTAMINADAS							
PROGRAMA DE GESTIÓN DE REHABILITACIÓN DE AREAS AFECTADAS							
OBJETIVO: Proponer medidas de rehabilitación de las áreas que pudieran ser afectadas por eventos de emergencias o de contaminación ambiental					PMA-6		
LUGAR DE APLICACIÓN: Complejo Turístico "Aguas Hediondas", Tufiño-Carchi							
ASPECTO	IMPACTO	ACCIONES PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	PLAZOS		
					INICIO	PERIODICIDAD	FINALIZACIÓN
Generación de desechos por actividades de turismo	Contaminación de las fuentes de agua	Implementar redes que capturen los desechos transportados por las aguas	Monitoreo de la cantidad de desechos generados y recolectados	Reporte del monitoreo de la cantidad de desechos generados y recolectados	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades
	Contaminación del suelo	Implementar personal para la realización de la limpieza y recolección de residuos generados por las actividades turísticas	Cantidad de desechos recolectados por parte del personal encargado	Reporte de la cantidad de desechos recolectados	A partir de la fecha de aprobación del plan de manejo propuesto	Permanente	Finalización de actividades

Para la implementación de los planes de manejo ambiental en las termas de estudio, deberán trabajar en conjunto las autoridades encargadas de los complejos termales en cuestión, y las comunas que hacen uso de ellas.

Presupuesto para la implementación de los planes de manejo ambiental

Tabla 49

Presupuesto para la implementación de los planes de manejo en El Artesón

PROGRAMAS DEL PMA		CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN			
		Entidad responsable de regular la zona	2022	2023	2024
Prevención y Mitigación de Impactos	Un profesional del área social, antropólogo o sociólogo, con experiencia en el área ambiental	\$500.00	X		
	Señalética instalada	\$200.00	X		
	Programas de conservación	\$400.00	X	X	
Manejo de Desechos	Un profesional del área social, antropólogo o sociólogo, con experiencia en el área ambiental.	\$500.00	X		
	Señalética e Implementos instalados	\$300.00	X		
	Eliminación de material residual de construcción	\$200.00	X	X	
Capacitación Ambiental	Un profesional del área social, antropólogo o sociólogo, con experiencia en el área ambiental.	\$500.00	X		
Contingencias y Emergencias Ambientales	Un profesional del área social, antropólogo o sociólogo, con experiencia en el área ambiental.	\$500.00	X		
	Señalética instalada	\$200.00	X		
	Monitoreo de parámetros físico-químicos	\$600.00	X	X	X
	Programas tendientes a prevenir y evitar accidentes.	\$500.00	X	X	X
Monitoreo y Seguimiento Socio Ambiental	Monitoreo de parámetros físico-químicos	\$600.00	X	X	X
	Un profesional del área social, antropólogo o sociólogo, con experiencia en el área ambiental.	\$500.00	X		
	Eventos de Concienciación Ambiental	\$150.00	X	X	X
Rehabilitación	Redes para capturar desechos	\$300.00	X		
	Personal de limpieza (voluntarios)	\$100.00	X		X
TOTAL		\$6,050.00			

Tabla 50

Presupuesto para la implementación de los planes de manejo en el complejo turístico

“Aguas Hediondas”

PROGRAMAS DEL PMA		CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN			
		<i>Entidad responsable de regular la zona</i>	2022	2023	2024
Prevención y Mitigación de Impactos	Un profesional del área social, antropólogo o sociólogo, con experiencia en el área ambiental.	\$500.00	X		
	Señalética instalada	\$200.00	X		
	Punto de tratamiento de aguas	\$400.00	X		
	Programas de conservación	\$400.00	X	X	X
	Instalación de cercas vivas	\$150.00	X		
Manejo de Desechos	Monitoreo de parámetros físico-químicos	\$600.00	X	X	X
	Un profesional del área social, antropólogo o sociólogo, con experiencia en el área ambiental.	\$500.00	X		
	Señalética e Implementos instalados	\$300.00	X		
	Personal de limpieza (voluntarios)	\$100.00	X	X	X
	Eliminación de material residual de construcción	\$200.00	X		
Capacitación Ambiental	Un profesional del área social, antropólogo o sociólogo, con experiencia en el área ambiental.	\$500.00	X		
Contingencias y Emergencias Ambientales	Un profesional del área social, antropólogo o sociólogo, con experiencia en el área ambiental.	\$500.00	X		
	Señalética instalada	\$200.00	X		
	Monitoreo de parámetros físico-químicos	\$600.00	X	X	X
	Programas tendientes a prevenir y evitar accidentes.	\$500.00	X	X	X
Monitoreo y Seguimiento Socio Ambiental	Monitoreo de parámetros físico-químicos	\$600.00	X	X	X
	Un profesional del área social, antropólogo o sociólogo, con experiencia en el área ambiental.	\$500.00	X		
	Eventos de Concienciación Ambiental	\$150.00	X	X	X
Rehabilitación	Redes para capturar desechos	\$300.00	X		
	Personal de limpieza (voluntarios)	\$100.00	X		
	Medidas de rehabilitación	\$300.00	X	X	X
TOTAL		\$7,600.00			

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se generaron dos ortomosaicos del total de extensión de cada complejo termal con escalas 1:16 000 para las termas El Artesón y 1:10 000 para Aguas Hediondas, con una extensión total de 6.36 ha para cada una, de los cuales se obtuvo la cartografía base de la zona de estudio, donde se evidencio en la zona de El Artesón, una estructura incompleta realizada por la Comuna La Esperanza, Y , en Aguas Hediondas, una estructura ya establecida que dispone de todos los servicios básicos que pueden ser aprovechadas para el desarrollo turístico de la zona. Al presentar las mismas condiciones climáticas, las termas disponen de una vegetación similar, predominando el páramo de frailejones, los pajonales y las vegetaciones arbustivas.

A través de los análisis realizados en laboratorio, se encontró una abundancia del anión bicarbonato en El Artesón y del anión sulfato en Aguas Hediondas, lo que permitió dividir a las fuentes termales de estudio en dos grupos: aguas bicarbonatadas y aguas sulfatadas respectivamente. Además, de acuerdo a la normativa vigente establecida en el Libro VI, Anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Secundario del Ministerio del Ambiente para aguas de uso recreativo con contacto primario, las termas de El Artesón cumplen con todos los parámetros a excepción del material flotante que se encuentra presente en los puntos de surgencia y aprovechamiento de las aguas, mientras que el complejo termal Aguas Hediondas si cumple con todos los parámetros establecidos, pero pese a que estas aguas cumplen con la normativa ambiental vigente, no son aptas para consumo humano y doméstico debido a la gran cantidad de hierros y sulfatos presentes en las muestras.

Los lodos analizados en función de la normativa vigente en el Libro VI, Anexo 2 del Texto Unificado de Legislación Secundario del Ministerio del Ambiente modificado en el AM 028 para criterios de calidad de suelos, el arsénico y cadmio incumple con los valores permisibles en las termas de estudio. Estos lodos, al presentar un gran contenido de elementos traza, representan un potencial peligro, que, en contacto con la piel, pueden ser absorbidos en pequeñas cantidades, en especial el arsénico que poseen una clara afinidad por la piel y las estructuras queratinizantes, por lo que la presencia de este metal no causa problemas directos de salud, sin embargo, debido a su alto contenido no son aptos para el uso dermatológico, cosmetológico y terapias de peloides sin un tratamiento previo.

De acuerdo a los índices de calidad de agua ICA, se puede concluir que las aguas del Artesón pueden ser de uso doméstico y actividades de riego, siempre y cuando sea sometida a un tratamiento previo, mientras que, en Aguas Hediondas, el recurso no debería ser utilizado directamente del punto de surgencia en su estado actual, pero puede ser usado en el punto de aprovechamiento, siempre y cuando sea para fines recreativos y no de consumo.

Para la correcta formulación de la propuesta de plan de manejo se recolectó información de línea base, que permitió conocer el estado de la zona de estudio. Mediante la aplicación del método de Vicente Conesa se realizó una valoración cualitativa y cuantitativa de los aspectos e impactos ambientales causados por las actividades de recreación en las termas de estudio, concluyendo que los impactos ambientales dentro de la zona de estudio fueron de un 57.89% moderado, 21.05% severo, 15.79% crítico y 5.26% bajo para las termas “El Artesón” mientras que para el complejo termal “Aguas Hediondas”, el porcentaje fue de 73.86% moderado, 15.79% severo y 10.53% crítico, mismos que no son controlados. A su vez, estos impactos ambientales, fueron utilizados para la formulación de los planes de manejo ambiental y sus respectivas acciones para contrarrestar la problemática.

Donde las actividades de turismo son la principal causa de las afectaciones halladas en la zona de estudio, además el método empleado permite considerar a unos factores más importantes que otros, dependiendo de la influencia de cada uno.

De acuerdo a los índices de calidad de los lodos (Igeo, EF, RAI), se puede concluir que son suelos extremadamente contaminados debido al alto contenido de arsénico y plata en ambas termas, lo que se ve reflejado en los índices de riesgo ecológico, donde se cataloga a los lodos tomados en El Artesón como de altamente tóxicos mientras que los de Aguas Hediondas poseen una considerable toxicidad

Recomendaciones

Al trabajar con zonas de estudio pequeñas es recomendable obtener las imágenes a través del levantamiento con un vehículo UAV, que proporciona imágenes con alta resolución, contrario a las imágenes satelitales de libre acceso que no disponen de la resolución necesaria para diferenciar los elementos presentes, lo que sería un factor que limite el producto final.

Se debería estandarizar la información geográfica disponible en las diferentes entidades públicas y privadas, de manera que se puedan evitar los conflictos al momento de trabajar en conjuntos con los datos.

Se recomienda un trabajo en conjunto entre las autoridades encargadas del recurso y las comunidades implicadas, con el fin de que se garantice la correcta implementación de las propuestas de plan de manejo y se obtengan los resultados deseados.

Es necesario que se generen acuerdos que regulen el aprovechamiento y disposición de los recursos que se encuentran dentro de zonas sensibles o de protección y que a su vez se encuentren en conflicto con tierras pertenecientes a las comunidades ancestrales.

Una vez implementado el plan de manejo en la zona de estudio, se realicen monitoreos periódicos, con el fin de controlar y realizar los cambios necesarios acorde al estado de los recursos.

Referencias Bibliográficas

- Alarcón, O. (2009). *Los elementos traza*. Merida, Venezuela: Facultad de Ciencias. Departamento de Química. Laboratorio de Espectroscopia Molecular. Universidad de Los Andes. Retrieved from <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/31376/articulo3.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Albuja, L.; Almendáriz, A.; Barriga, R.; Montalvo, L; Cáceres, F.; Román, J. (2012). *Fauna de Vertebrados del Ecuador*. Quito, Ecuador: Instituto de Ciencias Biológicas. Escuela Politécnica Nacional.
- Andueza, F., Aguirre, M., Arciniegas, S., Parra, Y., Escobar, S., Medina, G., & Araque, J. (2018). Calidad bacteriológica del agua de los manantiales termales del balneario "Santa Ana" Cantón Baños, Tungurahua, Ecuador. *Revista Perspectiva* 19 (4), 529-536 - ISSN 1996-5389. Retrieved from <http://mail.upagu.edu.pe/ojs/index.php/PE/article/view/612/550>
- Armijo, F., De Michele, D., Giacomino, M., Belderrain, A., Corvillo, I., & Maraver, F. (2008). Análisis de las aguas minerales de la provincia de Entre Ríos, Argentina. *Balnea* (4), 55-84.
- Arnórsson, S., Bjarnason, J. Ö., Giroud, N., Gunnarsson, I., & Stefánsson, A. (2006). Sampling and analysis of geothermal fluids. *Geofluids* (6), 203-216. Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1468-8123.2006.00147.x>
- Arteaga, A., & Plata, S. (2018). *Evaluación del índice de riesgo ecológico potencial en suelo y sedimento por mercurio en minería para tres regiones colombianas, apoyado en el análisis de metadatos*. Bogotá D.C.: Universidad de La Salle. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2093&context=ing_ambiental_sanitaria
- Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Registro Oficial 449. Retrieved from https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2014). *Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua*. Quito: Registro Oficial Suplemento 305. Retrieved from <http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/03/Ley-Org%C3%A1nica-de-Recursos-H%C3%ADricos-Usos-y-Aprovechamiento-del-Agua.pdf>
- Atiaga, O. (2004). *Revista Geoespacial* (1), pp: 1 - 10.
- ATSDR. (2014). Resumen de Salud Pública: Ácido Sulfhídrico. *Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública*. Retrieved from https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs114.pdf
- Bacaicoa, J., & Valenzuela, M. (1994). *Curas balnearias y climáticas: Talasoterapia y Helioterapia*. Madrid: Fundación Universitaria San Pablo CEU. Retrieved from <https://repositorioinstitucional.ceu.es/bitstream/10637/2351/2/Introduccion.pdf>

- Baeza, J., López, J., Fernández, J., Rubio, J., & Sánchez, J. (2001). Las aguas Minerales en España. *Instituto geológico y minero de España*, 41 - 87.
- Barberá, J., Abrisqueta, A., & Navarro, B. (2018, noviembre 15). Caracterización hidrogeoquímica e isotópica de aguas minerales y termales de la provincia de Málaga. p. Departamento de Geología y Centro de Hidrogeología de Universidad de Málaga (CEHIUMA). 29071.
- Barraza, J. (2017). "Geología Y Contaminación Por Fuentes Hidrotermales: Caso Río Ollachea – Carabaya – Puno". Puno – Perú: Universidad Nacional Del Altiplano Facultad De Ingeniería Geológica Y Metalúrgica. Retrieved from http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7026/Barraza_Caballero_Juvenal.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Barrenechea, A. (2004). *Aspectos físicoquímicos de la calidad del agua*. Lima: Vol. 1.
- Benítez, J., Mostue, M., & López, M. (2015). Estudio físicoquímico e isotópico de aguas termales del Municipio Libertador del Estado Sucre, Venezuela. *Saber, Universidad de Oriente, Venezuela. Vol. 27 N° 1*, 94-101.
- Boada, C, and J. Campaña. (2008). *Composición y diversidad de la flora y la fauna en cuatro localidades en la provincia del Carchi. Un reporte de las evaluaciones ecológicas rápidas*. Quito - Ecuador: EcoCiencia y GPC.
- Bolaños, J., Cordero, G., & Segura, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, 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), N. ° 4*, 15-27. Retrieved from <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v30n4/0379-3982-tem-30-04-15.pdf>
- Buat-Menard, P., & Chesselet, R. (1979). Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter. *Earth Planet. Sci. Lett.* 42, 399–411. doi:10.1016/0012-821X(79)90049-9
- Burbano, N., Becerra, S., & Pasquel, E. (2014). *Introducción a la Hidrogeología del Ecuador (Segunda ed.)*. Quito, Ecuador: INAMHI.
- Bustamante, I., Sanz, J., Goy, J., González, F., Encabo, J., & Mateos, J. (2002). Estudio de la calidad de las aguas superficiales en los espacios naturales del sur de las provincias de Salamanca y Ávila. Aplicaciones del índice ISQA. *GEOGACETA*, 31, 103 - 106.
- Cabrera, J. (2018). *Evaluación de la contaminación por metales pesados en sedimentos y suelos de la Reserva Biológica Limoncocha – Ecuador mediante índices de polución*. Cantabria - España: Universidad de Cantabria. Retrieved from <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/14196/409479.pdf?sequence=1>
- Cañadas, L. (1983). *El Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador*. Quito, Ecuador: MAG - PRONAREG.
- Cardoso, C. (2006). Turismo Sostenible: una revisión conceptual aplicada. *El Periplo Sustentable (11)*, 5-21. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/1934/193420679001.pdf>

- Carignan, R., & Nriagu, J. (1985). Trace metal deposition and mobility in the sediments of two lakes near Sudbury, Ontario. *Geochimica et Cosmochimica Acta* Vol. 49, 8, 1753-1764. doi:10.1016/0016-7037(85)90146-2
- Carrera, D. and Guevara, P. (2016, diciembre). *Fuentes termales del Ecuador*. Sangolquí, Ecuador.: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Carrera, V., & Guevara, P. (2016). *Fuentes termales del Ecuador*. Sangolquí, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Carvajal, A. (2019). *Stenocercus angel* En: Torres-Carvajal, O., Pazmiño-Otamendi, G. y Salazar-Valenzuela, D. 2019. *Reptiles del Ecuador. Version 2019.0. Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador*. Obtenido de <https://bioweb.bio/faunaweb/reptiliaweb/FichaEspecie/Stenocercus%20angel>
- Çelik, M., & Karakaya, N. (2018). Chemical composition and suitability of some Turkish thermal muds as peloids. *Turkish Journal of Earth Sciences* (27), 191-204.
- Chao, T., & Sanzolone, R. F. (1977). Chemical dissolution of sulfide minerals. *Revista de investigación del Servicio Geológico de EE. UU.*, Reston, Virginia.
- Chatterjee, M., Silva, F., Sarkara, S., Sellab, S., Bhattacharyya, A., Satpathy, K., . . . B., B. (2007). Distribution and possible source of trace elements in the sediment cores of a tropical macrotidal estuary and their ecotoxicological significance. *Environment International* (33), 346-356. Retrieved from [sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412006001929](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412006001929)
- Chaucalá, S. D. (2018). Estudio de la calidad ambiental de las aguas termales del balneario "El Tingo". *Universidad Central del Ecuador*.
- Climate Engine. (2021). *Cloud Computing of Climate and Remote Sensing Data*. TerraClimate.
- Código Orgánico del Ambiente. (2017). *Código Orgánico del Ambiente*. Quito: Registro Oficial Suplemento 983. Retrieved from https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf
- Conesa Fernandez, V. (2010). *Guía Metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Madrid: (Cuarta Edición). Retrieved from <https://esiapi.edu.mx/wp-content/uploads/2019/11/Gu%C3%ADa-metodol%C3%B3gica-para-la-Evaluaci%C3%B3n-del-impacto-ambiental.pdf>
- Consultora Visión Ambiental. (2020). *PLAN DE MANEJO DE LA COMUNA —LA ESPERANZA*. Quito.
- Coppin, L. (1992). *Ecoturismo y América Latina: Una aproximación al tema*. Venezuela: DKV Asociados. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7400230.pdf>
- Di Toro, D., Mahony, J., Hansen, D., Scott, Carlson, & Ankley, G. (1992). Acid volatile sulfide predicts the acute toxicity of cadmium and nickel in sediments. *Environ. Sci. Technol.* 26, 96-101. doi:10.1021/es00025a009

- Di Toro, D., Mahony, J., Hansen, D., Scott, K., Hicks, M., Mayr, S., & Redmond, M. (1990). Toxicity of cadmium in sediments: The role of acid volatile sulfide. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 9(12), 1487–1502. doi:10.1002/etc.5620091208
- Díaz, S., Purvis, A., Cornelissen, J., Mace, G., Donoghue, M., Ewers, R., . . . Pearse, W. (2013). Functional traits, the phylogeny of function, and ecosystem service vulnerability. *Ecology and Evolution* (3), Issue 9, p. 2958-2975. Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ece3.601>
- Ding, X., Ye, S., Yuan, H., & Krauss, K. W. (2018). Spatial distribution and ecological risk assessment of heavy metals in coastal surface sediments in the Hebei Province offshore area, Bohai Sea, China. *Marine Pollution Bulletin* 131, 655–661. doi:10.1016/j.marpolbul.2018.04.060
- EPA. (1991). Draft Analytical Method for Determination of Acid Volatile Sulfide in Sediment. *EPA-821-R-91-100*, p: 1 - 18.
- esri. (2021). *Generar un ortomosaico usando el asistente Ortomosaico*. ArcGis Pro. Obtenido de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/data/imagery/generate-an-orthomosaics-using-the-orthomosaic-wizard.htm>
- Fagundo, J., Valdés, J., & Rodríguez, J. (1994). *Hidroquímica del Karst - Química del Agua Kárstica*. La Habana, Cuba: Servicio de Reprografía de la Facultad de Ciencias de Granada. Retrieved from <https://es.slideshare.net/15-9-87/hidroquimica-del-karst-completo-56100878>
- Farinango, E., & Zambrano, S. (2014). *Comparación genética entre las aguas termales de baños de Cuenca y Banos de Aguas Santa*. Quito: Universidad Central del Ecuador. Retrieved from <https://fdocuments.ec/document/t-uce-0012-284.html>
- GAD Parroquial de Tufiño. (2019). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDyOT) 2019 - 2023*. Cantón Tulcán, Carchi - Ecuador.
- GAD Parroquial Rural de Tufiño. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquial Rural de Tufiño*. Tufiño.
- GAD Parroquial Tufiño. (2014). *ACTUALIZACION DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA TUFIÑO. ADMINISTRACION 2014 - 2019*. Tufiño.
- Gómez, C. (2012). *Aspectos físicos de los peloides para aplicación en termoterapia*. Vigo, España: Universidad de Vigo.
- González, T., & Viteri, M. (2013). *Análisis del proceso de gestión ambiental del Parador Ecoturístico "Termales de las Nieves del Cielo" de la parroquia Guapán, cantón Azogues*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Guevara, P. (2020). *Variabilidad espacio - temporal de la concentración de metales traza en suelos y sedimentos en la Ría de Ortigueira en relación con las fuentes y dinámica residual de las corrientes marinas*. Santiago de Compostela: Universidade de Santiago de Compostela (España).

- Güler, C., Thyne, G., McCray, J., & Turner, A. (2002). *Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data*. Hydrogeology Journal, 10, 455-474.
- Hakanson, L. (1980). An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control – A Sedimentological Approach. *Water Research* 14(8), 975-1001. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Lars_Hakanson/publication/235936664_An_Ecological_Risk_Index_for_Aquatic_Pollution_Control_-_A_Sedimentological_Approach/links/0fcfd5124f1a12671a000000.pdf
- Hidalgo, A. M. (2016). *Modelación hidrogeoquímica y control de calidad de fuentes de agua de origen geotérmico mediante el software libre HIDROGEOQUIM*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. Retrieved from <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/11894/T-ESPE-053318.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Holdridge, L. R. (1982). *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica: Centro Interamericano de Información y Documentación Agrícola —CIDIA—, del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura —IICA. Retrieved from <http://www.cct.or.cr/contenido/wp-content/uploads/2017/11/Ecologia-Basada-en-Zonas-de-Vida-Libro-IV.pdf>
- IDEAM. (2007). *Sulfuro en Agua por Volumetría*. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Sulfuro+en+agua+por+volumetr%C3%ADa.pdf/769f14b4-55fc-4107-beb6-de229e33ea71>
- IG-EPN. (2014). *Medidas de parámetros físicoquímicos de las fuentes termales (volcanes chiles y cerro negro)*. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Retrieved from <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/931-medidas-de-parametros-fisicoquimicos-de-las-fuentes-termales-volcanes-chiles-y-cerro-negro>
- INEN. (2013). *Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Diseño de los programas de Muestreo*. Quito - Ecuador: NTE INEN 2226:2013.
- INEN. (2013). *Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras*. Quito: NTE INEN 2169:2013. Retrieved from <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACION-DE-MUESTRAS.pdf?x42051>
- INEN. (2013). *Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de muestreo*. Quito - Ecuador: NTE INEN 2176:2013.
- INEN. (2014). *Establecimientos balnearios. Requisitos para la prestación del servicio*. Quito - Ecuador: NTE INEN 2929. Retrieved from https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen__2929.pdf
- Inguaggiato, S., Hidalgo, S., Beate, B., & Bourquin, J. (2010). Geochemical and isotopic characterization of volcanic and geothermal fluids discharged from the Ecuadorian volcanic arc. *Geofluids* (10), 525-541. Retrieved from https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/02/inguaggiato_et_al_2010_geochemical_and_i

sotopic_characterization_of_volcanic_and_geothermal_fluids_discharged_from_the_Ecuadorian_v.pdf

- Inserra, F. (2014). Ingesta de sodio como componente de las aguas naturales. *Rev. Hospitalaria Niños (Buenos Aires)*, 56(254), 198-210.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2010). *Población y Demografía*. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- Juárez, P., Fuente, J., & Paulín, R. (2005). Determinación de factores de enriquecimiento y geoacumulación de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, y Zn en suelos de la cuenca alta del río Lerma. *Ciencia Ergo Sum*, vol. 12, Núm. 2, 155-161. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/104/10412207.pdf>
- Komar, D., Dolenc, T., Dolenc, M., Vrhovnik, P., Lojen, S., Belak, Z., . . . Rogan, N. (2015). Physico-chemical and geochemical characterization of Makirina Bay peloid mud and its evaluation for potencial use in balneotherapy (N Dalmatia, Republic of Croatia). *Indian Journal of Traditional Knowledge*, Vol. 1(1): 5-12.
- Ley de Turismo. (2014). *Ley de Turismo*. Quito: Registro Oficial Suplemento 733. Retrieved from <https://www.turismo.gob.ec/wp-content/uploads/2015/04/LEY-DE-TURISMO.pdf>
- Llahuilla, J. A. (2019). *Estudio químico del agua termal de San Antonio de Putina-Puno, toxicidad a 28 días en ratas y efecto contractil de la vesícula biliar en cobayos por ecografía*. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Loska, K., Cebula, J., Pelczar, J., Wiechula, D., & Kwapulinski, J. (1997). Use of enrichment, and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu and Ni in the Rynik water reservoir in Poland. *Water, air & soil pollution*, 93 (1-4), 347-365.
- Malca, M. (2015). Estudio de la calidad físico-química y mineromedicinal del agua termal de los Baños del Inca. *UCV-HACER. Revista de Investigación y Cultura*, vol. 4 (1), 38-42. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/5217/521751973004.pdf>
- Marcovecchio, J., & Ferrer, L. (2005). Distribution and Geochemical Partitioning of Heavy Metals in Sediments of the Bahía Blanca Estuary, Argentina. *Journal of Coastal Research*, 21(4), 826–834.
- Marrero, R. (2010). *Modelo Hidrogeoquímico del acuífero de las Cañadas del Teide, Tenerife, Islas Canarias*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Martinez, E., Duarte, M., & Maestre, H. (2014). Determinación del origen y la composición de las aguas termales ubicadas en los municipios de Becerril (Cesar) y Ciénaga (Magdalena), Colombia. *Ingenium* 8(21):35, 35 - 42. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/308231450_Determinacion_del_origen_y_la_composicion_de_las_aguas_termales_ubicadas_en_los_municipios_de_Becerril_Cesar_y_Cienaga_Magdalena_Colombia/figures?lo=1
- Martínez, M. (2009). *Guía técnica para la elaboración de planes de manejo ambiental (PMA)*. Bogotá: Alcaldía local de Tunjuelito. Retrieved from <https://www.misgsst.com/public/documento/hrFLeMgF2V.pdf>

- McFarland, M., & Dozier, M. (2001). Problemas del agua potable: El hierro y el manganeso. *Comunicaciones Agrícolas, El Sistema Universitario Texas A&M*, p: 1 - 5. Retrieved from Comunicaciones agrícolas, el sistema universitario Texas A&M: <https://texaswater.tamu.edu/resources/factsheets/I5451sironandman.pdf>
- Ministerio de Educación. (2014). *Establecimientos educativos*. Obtenido de <http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/GEOGRAFICA/Informacion%20desacargable/coberturas/Metadatos/50000/Educacion.pdf>
- Ministerio del Ambiente . (2013). *Sistema de Clasificación de Ecosistemas del Ecuador Continental*. Quito: Subsecretaría de Patrimonio Natural.
- Ministerio del Ambiente. (2013). *Proyecto Socio Bosque: Programa de protección de bosques*. Quito: Ministerio del Ambiente. Retrieved from <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/07/SOCIO-BOSQUE.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2015). Acuerdo No. 061. REforma del Libro VI del Texto de Legislación Secundaria. *Editorial Nacional*, Edición Especial Nº 316 - Registro Oficial.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Plan de Manejos de la Reserva Ecológica El Ángel*. Quito - Ecuador.
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Anexo 2 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados*.
- Moreno, C., Díaz, J. C., Caraballo, H., Chacón, K., & Baptista, J. G. (2008). Caracterización hidrogeoquímica de las fuentes de aguas termales del estado Trujillo – Venezuela. *XI CONGRESO LATINOAMERICANO DE GEOQUÍMICA ORGÁNICA*. Isla de Margarita, Venezuela.
- Moreno, C., Díaz, J., Caraballo, H., Chacón, K., & Baptista, J. (2007). Caracterización Hidrogeoquímica de las Fuentes de Aguas Termales del Estado Trujillo -Venezuela. *Academia, (VI)*, 92-105.
- MTOP and Consorcio PKS - Acolit. (2012). *ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD, IMPACTO AMBIENTAL E INGENIERIA DEFINITIVOS PARA LA RECTIFICACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA TULCAN – TUFÍÑO - MALDONADO; TRAMO No. 2: TUFÍÑO - MALDONADO*. Quito: Consorcio PKS - Acolit.
- Muller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *GeoJournal* 2(3), 109-118. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/308054537_Index_of_geoaccumulation_in_sediments_of_the_Rhine_River
- Muñoz, J. (1949). *Aguas Minerales del Ecuador y nociones de hidrología*. Quito, Ecuador: Talleres Gráficos Nacionales.
- Muñoz, V. d. (2016). *Características y origen de aguas termales y su relación con la salud*. Alcalá: Universidad de Alcalá, Facultad de Biología, Ciencias Ambientales y Química.

Retrieved from <https://ebuah.uah.es/xmlui/bitstream/handle/10017/37209/TFG-Miguel-Mu%20c3%b1oz-2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Neira, M. (2006). *Dureza en aguas de consumo humano y uso industrial, impactos y medidas de mitigación. Estudio de caso: Chile*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Olías, M., Cerón, J., & Fernández, I. (2005). Sobre la utilización de la clasificación de las aguas de riego del U.S. Laboratory Salinity (USLS). *GEOCETA* (37), 111-113.
- Omedo, I. (2019). *Lesbia victoriae* En: Freile, J. F., Poveda, C. 2019. *Aves del Ecuador. Version 2019.0. Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador*. Retrieved from <https://bioweb.bio/faunaweb/avesweb/FichaEspecie/Lesbia%20victoriae>
- Ortiz, M. (2019). *Biodiversidad microbiana en aguas termales de Papallacta: Aplicaciones Biotecnológicas*. Quito - Ecuador: Universidad Central del Ecuador. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/19012/1/T-UCE-0012-FIG-118.pdf>
- Páez, D. and Varela, A. (2018). . *Osornophryne angel* En: Ron, S. R., Merino-Viteri, A. Ortiz, D. A. (Eds). *Anfibios del Ecuador. Version 2019.0. Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador*. Obtenido de <https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/FichaEspecie/Osornophryne%20angel>
- Palacios, E., Busto, Y., & Espinosa, K. (2015). Potencialidades de las aguas termales como turismo alternativo en el Ecuador. *Revista Científica UISRAEL*, VOL. 2 NÚM. 2.
- Paladines, A. (2011). Aguas termales, minerales y naturales de manantial en el Ecuador. pp. En A. Paladines, *Geología y Recursos del Ecuador*.
- Quinche, E., & Velastegui, S. (2014). *Comparación genética entre las aguas termales de Baño de Cuenca y Baños de Aguas Santa*. Quito: Universidad Central del Ecuador. Facultad de Geología, Minas, Petróleos y Ambiental.
- Raffo, E. (2013). Tratado del agua y la legislación peruana. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industria*, 106-117. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/307181729_Tratado_del_agua_y_la_legislacion_peruana
- Reglamento Al Código Orgánico del Ambiente. (2019). *Reglamento Al Código Orgánico del Ambiente: Año III – Nº 507*. Quito: Registro Oficial Suplemento 507.
- Rojas , C. (2017). *Caracterización de aguas termales mediante análisis fisicoquímico en el Caserío de Chotén - Distrito de San Juan*. Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca. Retrieved from <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1977/CARACTERIZACION%20DE%20AGUAS%20TERMALES%20MEDIANTE%20ANALISIS%20FISICOQUIMICO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez, L., Fagundo, J., Romero, J., Moreno, A., & Cervantes, P. (2010). Caracterización fisicoquímica preliminar de fuentes de aguas minerales de Colombia. 1 - 13.
- Soto, J. (2010). La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias. *Ingeniería Investigación y Tecnología. Vol.XI* (2), 167-177.

- Suárez, M., Melián, C., Rudnikas, A., Díaz, O., Martínez, M., Ruiz, E., . . . González, P. (2015). Physicochemical characterization, elemental speciation and hydrogeochemical modeling of river and peloid sediments used for therapeutic uses. *Applied Clay Science*, Vol. 104: 36-47.
- Suárez, M., Rodríguez, C., Rudnikas, A., Díaz, O., Martínez, M., Ruiz, E., . . . González, P. (2015). Physicochemical characterization, elemental speciation and hydrogeochemical modeling of river and peloid sediments used for therapeutic uses. *Applied Clay Science*, 104: 36-47.
- Terán, R. (2016). *Evaluación de la calidad de las aguas termales del balneario de Cocalmayo distrito de Santa Teresa, La Convención - Cusco*. Cusco - Perú: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Retrieved from repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/UNSAAC/2657/253T20160274_TC.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Teutli, E. (2007). *Influencia del sodio, calcio, magnesio y amonio en la sorción de cadmio en una roca zeolítica*. Estado de México: Intituto Tecnológico de Toluca.
- Tipanta, S. (2018). *Estudio de la calidad ambiental de las aguas termales del balneario "El Tingo"*. Quito : Universidad Central del Ecuador. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/16288/1/T-UCE-0012-FIG-030.pdf>
- Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 79-94. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>
- TULSMA. (2015). *ANEXO 1 del LIBRO VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente*. Quito. Retrieved from Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua.
- Vallejo, A. F. and Boada, C. (n.d.). *Mazama rufina* En: Brito, J., Camacho, M. A., Romero, V. Vallejo, A. F. (eds). *Mamíferos del Ecuador. Version 2018.0*. Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Retrieved from <https://bioweb.bio/faunaweb/mammaliaweb/FichaEspecie/Mazama%20rufina>
- Vargas, L. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Lima: OPS/CEPIS/PUB/04.109. Retrieved from <https://www.yumpu.com/es/document/read/13667949/tratamiento-de-agua-para-consumo-humano-plantas-de-filtracion->
- Vargas, V. (2015). Hidrogeología de la cuenca de los ríos Jequetepeque y Chamán. Regiones Cajamarca, La Libertad y Lambayeque. *INGEMMET - [Boletín H 4]*.
- Veniale, F., Bettero, A., Jobstraibizer, P., & Setti, M. (2007). Thermal muds: Perspectives of innovations. *Applied Clay Science* (36), 141-147.
- Wolf, T. (1892). Carta Geográfica del Ecuador. *Leipzig: Instituto geográfico de H. Wagner & F. Debes*.
- Yang, Q., Hu, G., Yu, R., He, H., & Lin, C. (2016). Distribution, fractionation, and contamination assessment of heavy metals in offshore surface sediments from

western Xiamen Bay, China. *Acta Geochim* 35(4), 355-367. doi:10.1007/s11631-016-0101-y

Zanjani, A., Saeedi, M., & Li, Y. (2015). A risk assessment index for bioavailability of metals in sediments: Anzali International Wetland case study. *Environ Earth Sci* (73), 2115-2126.

Zhu, L., Liu, J., Xu, S., & Xie, Z. (2017). Deposition behavior, risk assessment and source identification of heavy metals in reservoir sediments of Northeast China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 142, 454–463. doi:10.1016/j.ecoenv.2017.04.039

Zhuang, W. X. (2014). Integrated Assessment of Heavy Metal Pollution in the Surface Sediments of the Laizhou Bay and the Coastal Waters of the Zhangzi Island, China: Comparison among Typical Marine Sediment Quality Indices. *PLoS One*. 2014; 9(4): e94145. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3978014/>

Anexos