



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO GEÓGRAFO Y DEL MEDIO AMBIENTE**

AUTOR: ORTEGA SÁNCHEZ, MARCELO HERNÁN

**TEMA: “CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS AGUAS DE LA
LAGUNA MAPAGÜÑA – PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**

DIRECTORA: QUÍM. ERIKA MURGUEITIO Mg.

CODIRECTOR: ING. EDUARDO KIRBY Mg.

SANGOLQUÍ, JULIO 2014

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**CERTIFICADO**

DIRECTORA: Quim. Erika Murgueitio Mg.

CODIRECTOR: Ing. Eduardo Kirby Mg.

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado “CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS AGUAS DE LA LAGUNA MAPAGÜIÑA – PROVINCIA DE CHIMBORAZO”, realizado por Marcelo Hernán Ortega Sánchez, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la misma.

El mencionado trabajo consta de dos documentos empastados y dos discos compactos el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a Marcelo Hernán Ortega Sánchez que lo entregue a **Quim. Erika Murgueitio Mg.**, en su calidad de Director de la Carrera.

Quito, 17 de Julio del 2014

Quim. Erika Murgueitio Mg.

DIRECTOR

Ing. Eduardo Kirby Mg.

CODIRECTOR

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Marcelo Hernán Ortega Sánchez

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado: “CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS AGUAS DE LA LAGUNA MAPAGÜIÑA – PROVINCIA DE CHIMBORAZO”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Quito, 17 de julio del 2014

Autor: Marcelo Hernán Ortega Sánchez

AUTORIZACIÓN

Yo, Marcelo Hernán Ortega Sánchez

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS AGUAS DE LA LAGUNA MAPAGÜIÑA – PROVINCIA DE CHIMBORAZO”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Quito, 17 de julio del 2014

Marcelo Hernán Ortega Sánchez

DEDICATORIA

El presente proyecto de investigación se lo dedico en primer lugar a Dios ya que ÉL hizo posible el correcto desarrollo del mismo, siendo el motor de mi vida y quien guía mis pasos.

A mis padres Marcelo y Alexandra, quienes me han acompañado durante todo este recorrido brindándome su tiempo, enseñanzas, consejos y recursos para el buen desenvolvimiento del proyecto.

A mis abuelitos Alfredo (+), Irene y Elvita quienes han estado siempre pendientes de mi con su amor incondicional.

Dedico este trabajo de manera muy especial, a mis hermanos Andrés, Daniel y Michelle de quienes tengo mucho que aprender, ya que ellos disfrutaban de la vida con sus aventuras, ocurrencias y exploraciones, aspectos que son positivos en una investigación, porque hacen que ésta sea más interesante y les deseo que siempre logren todas las metas y sueños que se propongan, y que sepan que siempre cuentan con mi apoyo en todo lo que necesiten.

A mi Directora, Quim. Erika Murgueitio y al Codirector, Ing. Eduardo Kirby por su gran entrega y dedicación durante el desarrollo del proyecto.

A mis amigos del grupo “Misioneros de la Paz (JAMMPAZ)”, amigos y compañeros de la Universidad, familiares y todas las personas que de una u otra manera me han apoyado durante este tiempo.

Marcelo



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar doy gracias a Dios por haberme dado la oportunidad de la realización del presente estudio el cual me ha ayudado a madurar y formarme en diversos ámbitos tanto humanos como profesionales.

Agradezco a mis padres por haberme dado la vida y apoyarme cada día en el transcurso del proyecto, estando a mi lado tanto en los éxitos, como en las dificultades.

También quiero agradecer de una manera muy especial a la Química Erika Murgueitio, Directora del proyecto, por haberme considerado para la elaboración del mismo y brindarme la oportunidad de participar en el Congreso de Ciencia y Tecnología de Octubre de 2013 y en el II Concurso de Reconocimiento a la Investigación Universitaria Estudiantil, Galardones Nacionales, Convocatoria 2014. Además ha estado siempre disponible para cualquier inquietud, asesoría y asistencia técnica tanto en el laboratorio como en campo.

De igual manera agradezco al Ing. Eduardo Kirby, Codirector del proyecto, por todo el tiempo y dedicación invertidos, con tutorías acerca de la toma de puntos GPS en campo, Geodesia, GPS y SIG, el postproceso de los datos tomados en campo y las revisiones periódicas del proyecto.

También ha sido de gran importancia para la elaboración del proyecto la colaboración de profesionales como: el Dr. Alfonso Tierra (CEINCI), quien facilitó el punto de la Estación de Monitoreo Continuo de Alausí (ALEC), el Ing. César Leiva, que ayudó con el postproceso en el programa Trimble Business Center de la línea base entre Alausí (ALEC) y Mapaguiña, el Lic. Álvaro Pérez del Herbario de la Facultad de Ciencias Naturales de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, así como al

Biólogo Darwin Rueda, quienes contribuyeron en la identificación de la vegetación, al Ing. Marco Luna y la Ing. Susana Arciniegas, quienes colaboraron con tutoriales y tutorías acerca de los métodos de interpolación, al Ing. Oswaldo Padilla por la asesoría recibida para la elaboración del modelo 3D de profundidad de la laguna, a Carlitos, quien me ha colaborado con el préstamo de los equipos, tanto en la ESPE, como para las campañas en la laguna, y me ha permitido ingresar al laboratorio para realizar los respectivos muestreos y finalmente al Ing. Alberto Andrade de SIGTierras por su colaboración en la obtención de las ortofotos de la zona de estudio.

Agradezco a la pasante Evelyn Morocho alumna de Biotecnología en el análisis de muestras de agua en el laboratorio, a Juan José Pérez y a Guillermo Barragán, alumnos de Ing. Geográfica en la toma de puntos GPS en la ESPE; así como a los estudiantes de Biotecnología de octavo nivel de la materia de Química Ambiental, quienes colaboraron en la campaña realizada del 16 al 18 de mayo de 2013, para la toma de muestras de agua y puntos GPS.

Finalmente agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armada – ESPE, por el uso de su infraestructura, así como por la colaboración de sus funcionarios durante el desarrollo del proyecto

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	II
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	III
AUTORIZACIÓN.....	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTOS	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
ÍNDICE DE CUADROS	XVII
ÍNDICE DE FIGURAS	XVIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XXVI
ÍNDICE DE ECUACIONES	XXVII
RESUMEN.....	XXVII
ABSTRACT	XXVIII
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES	1
<i>1.1.1 Identificación del problema.....</i>	<i>2</i>
<i>1.1.2 Justificación e importancia</i>	<i>3</i>
<i>1.1.3 Objetivos</i>	<i>6</i>
1.1.3.1 Objetivo general	6
1.1.3.2 Objetivos específicos.....	6
<i>1.1.4 Estado del arte</i>	<i>6</i>
<i>1.1.5 Área de estudio.....</i>	<i>8</i>
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	13
2.1 EL AGUA.....	13
<i>2.1.1 El ciclo hidrológico.....</i>	<i>14</i>
<i>2.1.2 El agua y su importancia</i>	<i>15</i>
<i>2.1.3 Problemática del agua</i>	<i>15</i>
<i>2.1.4 Agua dulce.....</i>	<i>15</i>
<i>2.1.5 Procedencia de agua para tomar</i>	<i>16</i>
2.2 CUENCA HIDROGRÁFICA.....	17

2.3	LAGOS Y LAGUNAS	20
2.3.1	<i>Lagos</i>	20
2.3.2	<i>Lagunas</i>	27
2.3.3	<i>Diferencia entre un lago y una laguna</i>	28
2.3.4	<i>Morfometría de una laguna</i>	28
2.3.4.1	Dimensiones superficiales	29
2.3.4.2	Eutrofización en lagos de agua dulce	30
2.3.5	<i>Los Sedimentos</i>	31
2.3.6	<i>Humedales como depósitos químicos</i>	32
2.3.7	<i>Caudales</i>	32
2.3.8	<i>Métodos de aforo</i>	32
2.4	MARCO LEGAL AMBIENTAL	33
2.4.1	<i>Constitución de la República del Ecuador 2008</i>	33
2.4.2	<i>Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS)</i>	34
2.4.3	<i>Ley de aguas</i>	35
2.4.4	<i>Plan Nacional del Buen Vivir</i>	35
2.5	CALIDAD DEL AGUA	35
2.5.1	<i>Índice de calidad de agua (ICA)</i>	36
2.6	PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS	43
2.6.1	<i>pH</i>	44
2.6.2	<i>Conductividad eléctrica</i>	44
2.6.3	<i>Sólidos suspendidos totales</i>	45
2.6.4	<i>Oxígeno Disuelto (OD)</i>	45
2.6.5	<i>Alcalinidad</i>	47
2.6.6	<i>Nitrógeno</i>	49
2.6.6.1	Ciclo del Nitrógeno	50
2.6.6.2	Nitrificación	50
2.6.6.3	Nitritos	50
2.6.6.4	Nitratos	51
2.6.7	<i>Sulfatos</i>	52
2.6.8	<i>Fosfatos</i>	53
2.6.9	<i>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</i>	54
2.6.10	<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)</i>	54
2.6.11	<i>Relación entre DBO₅ y DQO</i>	55
2.6.12	<i>Turbidez</i>	55
2.6.13	<i>Color</i>	57
2.6.14	<i>Temperatura</i>	57
2.7	TOMA DE MUESTRAS Y CONSERVACIÓN	58

2.7.1	<i>Introducción</i>	58
2.7.2	<i>Sistema de toma de muestras</i>	59
2.7.3	<i>Precauciones generales</i>	59
2.7.4	<i>Técnicas de muestreo</i>	60
2.7.5	<i>Consideraciones sobre seguridad</i>	60
2.7.6	<i>Equipos de muestreo</i>	61
2.8	TOMA DE MUESTRAS	61
2.8.1	<i>Procedimientos de cadena de vigilancia</i>	61
2.8.1.1	Etiquetado de la muestra	61
2.8.1.2	Libro de registro de campo.....	62
2.8.1.3	Registro de la cadena de vigilancia	62
2.8.1.4	Hojas de petición de análisis de la muestra	62
2.8.2	<i>Métodos de toma de muestras</i>	62
2.8.3	<i>Envases de las muestras</i>	63
2.8.4	<i>Cantidad</i>	63
2.8.5	<i>Puntos a tener en cuenta para un análisis de agua</i>	64
2.9	TOMA DE MUESTRA PARA ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO	64
2.10	CONSERVACIÓN DE LAS MUESTRAS	64
2.11	CONCEPTOS CARTOGRÁFICOS	65
2.11.1	<i>Cartografía</i>	65
2.11.1.1	Escala	65
2.11.1.2	Mapa.....	67
2.11.2	<i>Sistemas de referencia GNSS / GPS</i>	67
2.11.2.1	Marco de Referencia	68
2.11.2.2	Datum.....	68
2.11.3	<i>Sistemas de Alturas</i>	69
2.11.3.1	Altura Nivelada (H).....	69
2.11.3.2	Altura Ortométrica (H).....	69
2.11.3.3	Altura Elipsoidal (h):.....	69
2.11.3.4	Ondulación del Geoide (N):	69
2.11.4	<i>Global Navigation Satellite System - GNSS</i>	70
2.11.4.1	Navstar GPS	71
2.11.4.2	Componentes de la Señal GPS	72
2.11.4.3	Fuentes de Error	73
2.11.4.4	Métodos de Posicionamiento.....	74
2.11.4.5	Posicionamiento Absoluto:.....	76
2.11.4.6	Posicionamiento Relativo:.....	77
2.11.4.7	Estaciones de referencia	82

2.11.4.7.1	Red Pasiva GPS del Ecuador.....	82
2.11.4.7.2	Red GNSS de Monitoreo Continuo (REGME)	83
2.11.5	<i>Formato de transmisión de datos GPS</i>	87
2.11.6	<i>Sistemas de Información Geográfica (SIG)</i>	88
2.11.6.1	Definición.....	88
2.11.6.2	Tecnologías de la Información Geográfica (TIG)	89
2.11.6.3	Funciones de los SIG.....	90
2.11.6.4	Componentes de un SIG.....	91
2.11.6.5	Sistemas de un SIG	92
2.11.6.6	Aplicaciones generales de los SIG	92
2.11.6.7	Modelo de datos	94
2.11.6.8	Base de datos.....	95
2.11.6.9	Modelamiento.....	95
2.11.6.9.1	Variables discretas y continuas	96
2.11.6.9.2	Interpolación.....	96
2.11.6.9.3	Métodos Deterministas.....	97
2.11.6.9.4	Métodos Geoestadísticos.....	99
2.11.6.9.5	Semejanzas entre IDW y Kriging.....	107
2.11.6.9.6	Diferencias entre IDW y Kriging	108
2.11.6.9.7	Análisis exploratorio de datos	108
2.11.6.9.8	Medidas de Centralidad.....	111
2.11.6.10	Modelo digital del terreno (MDT).....	114
2.11.6.11	Modelo digital de elevaciones	114
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		116
3.1	TOMA DE PUNTOS DE MUESTREO EN LA ESPE	117
3.2	CAMPAÑAS DE MUESTREO	119
3.2.1	<i>Salida de inspección</i>	119
3.2.2	<i>Preparación de materiales, reactivos y equipos</i>	120
3.2.3	<i>Primera campaña</i>	121
3.2.4	<i>Segunda campaña</i>	124
3.2.5	<i>Tercera campaña</i>	125
3.3	OBTENCIÓN DE DATOS CORREGIDOS.....	126
3.3.1	<i>Descarga de datos</i>	126
3.3.2	<i>Postproceso</i>	126
3.3.3	<i>Análisis de las muestras</i>	127
3.3.3.1	Análisis “In situ”	127
3.3.3.2	Análisis en el laboratorio.....	129

3.3.4	<i>Determinación del índice de calidad de agua</i>	132
3.4	ANÁLISIS DE DATOS	133
3.5	CÁLCULOS GEOESPACIALES.....	134
3.5.1	<i>Cálculo de la altura ortométrica de los puntos base</i>	134
3.5.2	<i>Cálculo de la época de referencia y semana GPS de las tres campañas realizadas</i>	135
3.5.3	<i>Cálculo de la escala de trabajo de los mapas</i>	136
3.5.4	<i>Elaboración de los mapas de parámetros fisicoquímicos</i>	138
3.5.5	<i>Obtención de alturas de cada uno de los puntos de muestreo superficiales, de profundidad media y alta profundidad</i>	151
3.5.6	<i>Elaboración del modelo de profundidad de la laguna de Mapaguiña</i>	152
3.5.7	<i>Inclusión de muestras para visualización en 3D dentro del Modelado de profundidad</i>	153
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN		158
4.1	LÍNEAS BASE	158
4.1.1	<i>Coordenadas de la EMC de RIOP (Base Inicial)</i>	158
4.1.2	<i>Coordenadas de la Base de Mapaguiña</i>	159
4.1.3	<i>Precisión de las líneas base</i>	161
4.2	VÍAS DE ACCESO A LA LAGUNA DE MAPAGUIÑA	162
4.2.1	<i>Distancia desde Mapaguiña a los sitios de abastecimiento</i>	162
4.2.2	<i>Distancia de las vías de acceso a la laguna de Mapaguiña</i>	162
4.3	RESULTADOS DE LA PRIMERA CAMPAÑA.....	164
4.4	RESULTADOS DE LA SEGUNDA CAMPAÑA.....	168
4.4.1	<i>Resultados en los bordes</i>	168
4.4.2	<i>Resultados de la toma de muestras en las vertientes</i>	171
4.4.3	<i>Resultados de la toma de muestras en el río Chúquirá</i>	177
4.4.4	<i>Resultados de la toma de muestras en el centro de la laguna</i>	181
4.4.5	<i>Resultados del índice de calidad del agua (ICA)</i>	186
4.5	RESULTADOS DE LA TERCERA CAMPAÑA	188
4.5.1	<i>Determinación del perímetro y superficie de la laguna</i>	188
4.5.2	<i>Identificación de la vegetación aladaña a la laguna</i>	188
4.5.2.1	<i>Brugmansia sanguínea</i>	188
4.5.2.2	<i>Azorella pedunculata</i>	189
4.5.2.3	<i>Chuquiraga jussieui</i>	191
4.5.2.4	<i>Achyrocline alata</i>	192
4.5.2.5	<i>Baccharis latifolia</i>	192
4.5.2.6	<i>Lachemilla orbiculata</i>	193
4.5.2.7	<i>Polylepis reticulata</i>	195

4.5.2.8	Carduus L.	196
4.5.2.9	Calceolaria rosmarinifolia	197
4.5.2.10	Arcytophyllum thymifolium.....	197
4.5.2.11	Gynoxys laurifolia.....	198
4.5.2.12	Bartsia melampyroides	199
4.5.2.13	Rorippa bonariensis	200
4.5.2.14	Liabum igniarium	200
4.5.2.15	Bomarea multiflora	201
4.5.2.16	Hypochaeris sonchoides	202
4.5.2.17	Eupatorium L.....	203
4.5.2.18	Senna mollissima	203
4.6	RESULTADOS DE LOS MAPAS GENERADOS	204
4.6.1	<i>Diferencia de conductividad en los píxeles antes y después de realizar la extensión de la interpolación</i>	204
4.6.2	<i>Resultados de la escala de trabajo.....</i>	205
4.6.3	<i>Resultado del modelo de profundidad de la laguna de Mapaguiña.....</i>	205
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		206
5.1	CONCLUSIONES	206
5.2	RECOMENDACIONES.....	209
BIBLIOGRAFÍA.....		213
GLOSARIO		231

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. PROCEDENCIA DE AGUA PARA TOMAR EN LA PARROQUIA DE ACHUPALLAS	16
TABLA 2. PROCEDENCIA PRINCIPAL DEL AGUA RECIBIDA EN ACHUPALLAS	17
TABLA 3. IMPORTANCIA DE CADA UNO DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	38
TABLA 4. ECUACIONES PARA DETERMINAR EL ICA DE CADA PARÁMETRO	39
TABLA 5. VALORES HABITUALES DE CONDUCTIVIDAD.....	45
TABLA 6. CALIDAD DEL AGUA EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE OXÍGENO	47
TABLA 7. RANGOS DE ALCALINIDAD	48
TABLA 8. CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE NITRATOS	52
TABLA 9. ESTADO DEL AGUA EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO TOTAL.....	54
TABLA 10. CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN FUNCIÓN DE LOS VALORES DE DBO ₅	55
TABLA 11. CALIDAD DEL AGUA EN FUNCIÓN DEL ÍNDICE DE TURBIDEZ.....	56
TABLA 12. TIPOS DE ESCALA EN LOS MAPAS	66
TABLA 13. SISTEMAS DE REFERENCIA MÁS UTILIZADOS	68
TABLA 14. CARACTERÍSTICAS DE LAS PORTADORAS L1 Y L2	72
TABLA 15. ALGUNOS VALORES CORRIENTES DE LAS FUENTES DE ERROR	74
TABLA 16. INFLUENCIA DE LAS FUENTES DE ERROR EN EL POSICIONAMIENTO ABSOLUTO:	77
TABLA 17. LONGITUD DE LA LÍNEA BASE Y TIEMPO DE OBSERVACIÓN EN LOS MÉTODOS ESTÁTICO Y ESTÁTICO RÁPIDO	81
TABLA 18. ESTACIONES DE LA REGME	84

TABLA 19. COORDENADAS OFICIALES DE LA ESTACIÓN RIOP	86
TABLA 20. COORDENADAS OFICIALES DE LA ESTACIÓN ALEC	87
TABLA 21. COORDENADAS DE LOS POSTES DE LA ESPE CERCANOS AL MOJÓN DE LA BIBLIOTECA.....	118
TABLA 22. PUNTO DE MUESTREO DEL BORDE DE LA LAGUNA (17/MAY/2013).....	133
TABLA 23. COORDENADAS GEOGRÁFICAS Y UTM DE LA EMC DE RIOP (23/FEB/2013)	136
TABLA 24. PRECISIÓN HORIZONTAL DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.....	137
TABLA 25. COORDENADAS UTM Y CARTESIANAS DE LA EMC BASE DE RIOP.....	158
TABLA 26. COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LA EMC BASE DE RIOP	159
TABLA 27. COORDENADAS UTM Y CARTESIANAS DE LA BASE MAPAGUIÑA.....	160
TABLA 28. COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LA BASE MAPAGUIÑA	160
TABLA 29. PRECISIÓN DE LA LÍNEA BASE DE ÁLAUSÍ A MAPAGUIÑA.....	161
TABLA 30. DISTANCIA DESDE MAPAGUIÑA A LOS SITIOS DE ABASTECIMIENTO	162
TABLA 31. DISTANCIA ENTRE LOS POBLADOS CERCANOS A LA LAGUNA DE MAPAGUIÑA	163
TABLA 32. DETALLES DEL PUNTO BASE TOMADO CON GPS DOBLE FRECUENCIA 5800 EN LA PRIMERA CAMPAÑA.....	164
TABLA 33. COORDENADAS UTM DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE LOS BORDES DE LA LAGUNA DE MAPAGUIÑA EN LA PRIMERA CAMPAÑA (23/FEB/2013).....	164
TABLA 34. COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LOS PUNTOS DE LOS BORDES DE LA LAGUNA DE MAPAGUIÑA DE LA PRIMERA CAMPAÑA (23/FEB/2013).....	166
TABLA 35. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE LA PRIMERA CAMPAÑA (23/FEB/2013)	167
TABLA 36. COORDENADAS DE LOS BORDES DE LA LAGUNA DE MAPAGUIÑA DE LA SEGUNDA CAMPAÑA (17/MAY/2013).....	168

TABLA 37. DATOS DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LA SEGUNDA CAMPAÑA DE LOS BORDES (17/MAY/2013).....	171
TABLA 38. COORDENADAS UTM DE LAS VERTIENTES DE LA LAGUNA DE MAPAGUIÑA (17/MAY/2013)	172
TABLA 39. DATOS DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LA SEGUNDA CAMPAÑA DE LAS VERTIENTES (17/MAY/2013).....	176
TABLA 40. COORDENADAS UTM DEL RÍO CHÚQUIRA DE LA LAGUNA DE MAPAGUIÑA DE LA SEGUNDA CAMPAÑA (17/MAY/2013).....	177
TABLA 41. DATOS DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LA SEGUNDA CAMPAÑA DEL RÍO CHÚQUIRA QUE DESEMBOCA EN LA LAGUNA DE MAPAGUIÑA (17/MAY/2013)	180
TABLA 42. COORDENADAS DE LOS PUNTOS DEL CENTRO DE LA LAGUNA DE MAPAGUIÑA DE LA SEGUNDA CAMPAÑA (17/MAY/2013).....	181
TABLA 43. PROFUNDIDAD DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DEL CENTRO DE LA LAGUNA DE MAPAGUIÑA	182
TABLA 44. DATOS DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LA SEGUNDA CAMPAÑA DEL CENTRO DE LA LAGUNA DE MAPAGUIÑA (17/MAY/2013).....	185
TABLA 45. ICA PARTICULAR DE LOS BORDES, LAS VERTIENTES, EL RÍO CHÚQUIRA Y EL CENTRO	186

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. CATEGORÍAS DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA	42
CUADRO 2. PUNTAJE DEL ICA-L Y SU RELACIÓN CON LA CALIDAD DEL AGUA PARA LA VIDA ACUÁTICA	43

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DEL CANTÓN ALAUSÍ EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO	9
FIGURA 2 VISTA PANORÁMICA DE LA PARROQUIA DE ACHUPALLAS	10
FIGURA 3. ACCESO A LA LAGUNA DE MAPAGUIÑA DESDE EL PARQUEADERO HASTA EL SENDERO.	11
FIGURA 4. LAGUNA DE MAPAGUIÑA.....	11
FIGURA 5. UNIÓN DE OXÍGENO CON HIDRÓGENO	13
FIGURA 6. EL CICLO HIDROLÓGICO	14
FIGURA 7. DIFERENTES TERRENOS MONTAÑOSOS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA ..	17
FIGURA 8. RÍOS PRINCIPALES Y SECUNDARIO	18
FIGURA 9. DIVISORIA DE AGUAS	18
FIGURA 10. PARTES DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA	19
FIGURA 11. CUENCAS EXORREICAS Y ENDORREICAS	20
FIGURA 12. LOS LAGOS Y LAGUNAS OCUPAN CUBETAS O DEPRESIONES DEL TERRENO	21
FIGURA 13. ORIGEN DE LOS LAGOS DE ACUERDO CON EL TIPO DE DEPRESIÓN QUE OCUPAN	22
FIGURA 14. COMPARACIÓN DE UN LAGO OLIGOTRÓFICO CON UNO EUTRÓFICO	25
FIGURA 15. UNA LAGUNA EUTRÓFICA, MOSTRANDO TAPETES ALGALES EN SU SUPERFICIE.	25
FIGURA 16. MODELO DEL CICLO DE NUTRIENTES Y EL FLUJO DE ENERGÍA EN UN ECOSISTEMA LACUSTRE.....	26
FIGURA 17. LOS HUMEDALES COMO DEPÓSITOS DE NITRATO Y SULFATO	32
FIGURA 18. MÉTODO VELOCIDAD ÁREA	33

FIGURA 19. EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LAS CONCENTRACIONES DE OXÍGENO DISUELTO EN AGUA.....	46
FIGURA 20. TITULACIÓN DE AGUA PARA DETERMINAR ALCALINIDAD DE FENOLFTALEÍNA Y ALCALINIDAD TOTAL.....	49
FIGURA 21 CICLO DEL NITRÓGENO	49
FIGURA 22. DIVERSOS VALORES DE TURBIDEZ	56
FIGURA 23. ESTRATIFICACIÓN TERMAL EN CUERPOS DE AGUA	58
FIGURA 24. CÁMARA DE AIRE DE UN ENVASE	63
FIGURA 25. RECIPIENTE PARA CONSERVACIÓN DE MUESTRAS	65
FIGURA 26. A & B SISTEMA DE REFERENCIA GEOGRÁFICO	67
FIGURA 27. DIFERENCIA ENTRE ALTURA ELIPSOIDAL Y ORTOMÉTRICA	70
FIGURA 28. CÁLCULO DE LA POSICIÓN	72
FIGURA 29. TIPOS DE POSICIONAMIENTO GPS	74
FIGURA 30. POSICIONAMIENTO	75
FIGURA 31. POSICIONAMIENTO ABSOLUTO	75
FIGURA 32. POSICIONAMIENTO ABSOLUTO	76
FIGURA 33. POSICIONAMIENTO RELATIVO	77
FIGURA 34. CÁLCULO DE LÍNEA BASE EN POSTPROCESO	78
FIGURA 35. MÉTODO ESTÁTICO	80
FIGURA 36. RED GPS DEL ECUADOR	82
FIGURA 37. RED GNSS DE MONITOREO CONTINUO DEL ECUADOR	85
FIGURA 38. ESTACIÓN DE MONITOREO CONTINUO RIOP	85
FIGURA 39. ESTACIÓN DE MONITOREO CONTINUO ALEC.....	86
FIGURA 40. CARACTERÍSTICAS DE SOBREPOSICIÓN DE UN SIG	88
FIGURA 41. LAGO CON LOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN	89
FIGURA 42. ATRIBUTOS GRÁFICOS Y ALFANUMÉRICOS.....	89

FIGURA 43. FUNCIONES DE UN SIG SEGÚN COMPONENTES	90
FIGURA 44. COMPONENTES DE UN SIG	91
FIGURA 45. COMPONENTES DE UN SIG	91
FIGURA 46. DIAGRAMA DE SISTEMAS QUE ILUSTRA UN SIG	92
FIGURA 47. APLICACIONES DE LOS SIG	92
FIGURA 48. APLICACIONES DE LOS SIG	93
FIGURA 49. PROYECTOS DE PLANEACIÓN URBANA	93
FIGURA 50. MODELOS DIGITALES EN FORMATO	94
FIGURA 51. CAPAS TEMÁTICAS	95
FIGURA 52. INTERPOLACIÓN	97
FIGURA 53. CONCEPTO DE DISTANCIA DE BÚSQUEDA	98
FIGURA 54. DIFERENCIA ENTRE ISÓTROPO Y ANISÓTROPO	100
FIGURA 55. GRÁFICO DE LOS VALORES PREDICHOS	101
FIGURA 56. GRÁFICO DE LOS ERRORES O RESIDUALES	102
FIGURA 57. GRÁFICO DE LOS ERRORES ESTANDARIZADOS	102
FIGURA 58. GRÁFICO DE PROBABILIDAD NORMAL QQ-PLOT	103
FIGURA 59. HISTOGRAMA DE LAS MUESTRAS DE CONDUCTIVIDAD	108
FIGURA 60. COMPONENTES DEL SEMIVARIOGRAMA	109
FIGURA 61. EJEMPLO DE MODELO ESFÉRICO	111
FIGURA 62. EJEMPLO DE MODELO EXPONENCIAL	111
FIGURA 63. MEDIDAS DE CENTRALIDAD	112
FIGURA 64. TIPOS DE CURTOSIS	113
FIGURA 65. REPRESENTACIÓN DE UN MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN EN FORMATO RÁSTER	115
FIGURA 66. PROCEDIMIENTOS A REALIZARSE COMO METODOLOGÍA DEL SIGUIENTE PROYECTO.	116

FIGURA 67. PUNTOS DE LOS POSTES DE LA ESPE CERCA DE LA BIBLIOTECA	117
FIGURA 68. LEVANTAMIENTO DEL PERÍMETRO DEL ESTADIO DE LA ESPE.....	119
FIGURA 69. SALIDA DE INSPECCIÓN EN LA LAGUNA DE MAPAGUIÑA.....	119
FIGURA 70. ETIQUETA DE UNA MUESTRA DE AGUA	120
FIGURA 71. GPS DOBLE FRECUENCIA EN EL MOJÓN DEL ESTADIO DE LA ESPE	121
FIGURA 72. PRIMERA CAMPAÑA REALIZADA EN LA LAGUNA DE MAPAGUIÑA.....	121
FIGURA 73. PLACA COLOCADA EN CAMPO	122
FIGURA 74. DISTANCIA ENTRE LA EMC RIOP DE RIOBAMBA (BASE) Y LA PLACA DE MAPAGUIÑA (ROVER)	123
FIGURA 75. LUGAR POR DONDE SALE UNA VERTIENTE DE LA LAGUNA DE MAPAGUIÑA	124
FIGURA 76. RÍO CHÚQUIRA.....	124
FIGURA 77. A & B. TOMA DE PUNTOS EN EL CENTRO DE LA LAGUNA DE MAPAGUIÑA CON EL MUESTREADOR DE AGUA.....	125
FIGURA 78. MIDIENDO LA ALTURA DE LA ANTENA DEL GPS DOBLE FRECUENCIA .	125
FIGURA 79. PH-METRO MARCA THERMOELECTRON Co., MODELO ORION 3-STAR.....	128
FIGURA 80. CONDUCTIVÍMETRO MARCA HACH, MODELO HQ14D	128
FIGURA 81. PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DE LOS MAPAS DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE LA LAGUNA DE MAPAGUIÑA	138
FIGURA 82. PUNTOS DE MUESTREO DE LA PRIMERA CAMPAÑA REALIZADA EL 23/FEB/2013	139
FIGURA 83. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA INTERPOLACIÓN REALIZADA.....	140
FIGURA 84. INTERPOLACIÓN CON KRIGING PARA LA CONDUCTIVIDAD (SOFTWARE: ARCGIS).....	141
FIGURA 85. TRANSFORMACIÓN Y ANÁLISIS DE TENDENCIA DE LA CONDUCTIVIDAD (SOFTWARE: ARCGIS).....	141

FIGURA 86. ANÁLISIS DEL SEMIVARIOGRAMA DE LA CONDUCTIVIDAD (SOFTWARE: ARCGIS).....	142
FIGURA 87. VECINDAD DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE CONDUCTIVIDAD (SOFTWARE: ARCGIS).....	142
FIGURA 88. ERROR PREDICHO DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE CONDUCTIVIDAD (SOFTWARE: ARCGIS).....	143
FIGURA 89. ERROR DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE CONDUCTIVIDAD (SOFTWARE: ARCGIS).....	144
FIGURA 90. ERROR ESTANDARIZADO DEL MUESTREO DE CONDUCTIVIDAD (SOFTWARE: ARCGIS).....	144
FIGURA 91. DISTRIBUCIÓN DE CUANTILES QQ-PLOT DE LOS MUESTREOS DE CONDUCTIVIDAD (SOFTWARE: ARCGIS)	145
FIGURA 92. LISTADO DE PARÁMETROS ANALIZADOS EN LA INTERPOLACIÓN CON KRIGING (SOFTWARE: ARCGIS)	146
FIGURA 93. MODELO DE CONDUCTIVIDAD SIN REALIZAR LA EXTENSIÓN	147
FIGURA 94. MODELO DE CONDUCTIVIDAD EXTENDIDO AL TAMAÑO DE LA LAGUNA	148
FIGURA 95. MALLA DE PUNTOS CON SUS RESPECTIVOS VALORES DE CONDUCTIVIDAD.....	148
FIGURA 96. PUNTOS RANDÓMICOS EN EL INTERIOR DE LA LAGUNA DE MAPAGUIÑA	149
FIGURA 97. PUNTOS RANDÓMICOS CON SU VALOR DE CONDUCTIVIDAD	149
FIGURA 98. INTERPOLACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD A NIVEL SUPERFICIAL	150
FIGURA 99. DIAGRAMA DE FLUJO DEL MODELO DE PROFUNDIDAD Y CONDUCTIVIDAD DE LA LAGUNA DE MAPAGUIÑA	152
FIGURA 100. MÉTODO DE INTERPOLACIÓN TOPO TO RASTER	153
FIGURA 101. PROCEDIMIENTO PARA LA INCLUSIÓN DE MUESTRAS 3D DENTRO DEL MODELO DE PROFUNDIDAD	154

FIGURA 102. GRADUACIÓN DE SIMBOLOGÍA PARA MUESTRAS DE CONDUCTIVIDAD (ALTA PROFUNDIDAD)	155
FIGURA 103. DISEÑO DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE CONDUCTIVIDAD A NIVEL SUPERFICIAL	155
FIGURA 104. COLOCACIÓN DE TEXTO EN EL ARCSCENE	156
FIGURA 105. ALTITUDES ORTOMÉTRICAS DE LOS PUNTOS A ALTA PROFUNDIDAD	156
FIGURA 106. CÓDIGO DE UN PUNTO DE MUESTREO DE CONDUCTIVIDAD DE LA LAGUNA DE MAPAGUIÑA A ALTA PROFUNDIDAD	157
FIGURA 107. FLORIPONDIO (<i>BRUGMANSIA SANGUÍNEA</i>).....	189
FIGURA 108. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE TUMPUSU EN ECUADOR	190
FIGURA 109. TUNPUSU (<i>AZORELLA PEDUNCULATA</i>).....	190
FIGURA 110. A. CHUQUIRAGUA CON FLOR B. CHUQUIRAGUA SIN FLOR	191
FIGURA 111. A & B. LECHUGUILLA (<i>ACHYROCLINE ALATA</i>)	192
FIGURA 112. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE CHILCA EN ECUADOR	193
FIGURA 113. CHILCA (<i>BACCHARIS LATIFOLIA</i>).....	193
FIGURA 114. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE OREJUELO EN ECUADOR	194
FIGURA 115. LECHUGUILLA (<i>LACHEMILLA ORBICULATA</i>).....	194
FIGURA 116. ÁRBOL DE PAPEL (<i>POLYLEPIS RETICULATA</i>)	196
FIGURA 117. CORSONERA (<i>CARDUUS L.</i>).....	196
FIGURA 118 A & B. ZAPATITO (<i>CALCEOLARIA ROSMARINIFOLIA</i>).....	197
FIGURA 119. ALKUSUPI (<i>ARCYTOPHYLLUM THYMIFOLIUM</i>).....	198
FIGURA 120. GALÁN (<i>GYNOXYS LAURIFOLIA</i>).....	199
FIGURA 121. A & B. PEDORREA (<i>BARTSIA MELAMPYROIDES</i>).....	199
FIGURA 122. BERRO NEGRO (<i>RORIPPA BONARIENSIS</i>).....	200
FIGURA 123. SAUCO BLANCO (<i>LIABUMIGNIARIUM</i>).....	201

FIGURA 124. ACHIOTILLO (<i>BOMAREA MULTIFLORA</i>)	202
FIGURA 125. ACHICORIA (<i>HYPOCHAERISSONCHOIDES</i>).....	202
FIGURA 126. BOTONCILLO (<i>EUPATORIUM L.</i>)	203
FIGURA 127. ARBUSTO (<i>SENNA MOLLISIMA</i>).....	204
FIGURA 128. DIFERENCIA DE CONDUCTIVIDAD EN LOS PÍXELES ANTES Y DESPUÉS DE REALIZAR LA EXTENSIÓN	204
FIGURA 129. MODELO DE PROFUNDIDAD DE LA LAGUNA DE MAPAGUIÑA.....	205

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. TIPOS DE MAPAS CON SU CORRESPONDIENTE ESCALA GRÁFICA	66
GRÁFICO 2. VALOR DE PDOP DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE LA PRIMERA CAMPAÑA	165
GRÁFICO 3. VALORES ICA OBTENIDOS EN LA SEGUNDA CAMPAÑA	187

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1. ECUACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)	37
ECUACIÓN 2. ECUACIÓN DEL OXÍGENO (OD) DISUELTO RESPECTO A LA TEMPERATURA	42
ECUACIÓN 3. ECUACIÓN DEL INVERSO A LA DISTANCIA PONDERADA (IDW).....	98
ECUACIÓN 4. ECUACIÓN DEL KRIGING.....	100
ECUACIÓN 5. ECUACIÓN DEL ERROR PROMEDIO.....	104
ECUACIÓN 6. ECUACIÓN DEL ERROR CUADRÁTICO MEDIO.....	105
ECUACIÓN 7. ECUACIÓN DEL ERROR ESTÁNDAR PROMEDIO	106
ECUACIÓN 8. ECUACIÓN DE LA MEDIA ESTANDARIZADA	106
ECUACIÓN 9. ECUACIÓN DEL ERROR CUADRÁTICO MEDIO ESTANDARIZADO	107
ECUACIÓN 10. COEFICIENTE DE CURTOSIS	114
ECUACIÓN 11. ECUACIÓN DE LA ALTURA ORTOMÉTRICA	134
ECUACIÓN 12. FÓRMULA DE LA ÉPOCA DE REFERENCIA.....	135
ECUACIÓN 13. ECUACIÓN DE LA PRECISIÓN HORIZONTAL	137

RESUMEN

El estudio y la protección de las cuencas hidrográficas es de vital importancia debido a que aquí se desarrollan actividades humanas como agricultura, ganadería e industria, razón por la cual el Plan Nacional del Buen Vivir en el área de Agua y Saneamiento propone: “Promover el control y monitoreo de la calidad del agua”. La laguna en estudio pertenece al ecosistema de páramo, que es una fuente de agua para la comunidad aledaña de Achupallas. En este contexto se tiene como objetivo realizar la caracterización físico-química de las aguas de la laguna de Mapaguiña, determinar su índice de calidad de agua (ICA) y analizar las condiciones para preservarla, evitando así su posible contaminación y degradación a futuro. En la metodología utilizada para este estudio se realizaron tres campañas para la toma de muestras de agua tanto en época de lluvia como en época de sequía, en la superficie de la laguna y a diferentes profundidades. Para el geoposicionamiento de los puntos de estudio con precisión aproximada de ± 1 metro, primero se arrastra una base GPS desde Riobamba utilizando un GNSS-GPS de dos frecuencias y para cada muestra se emplea un equipo GPS de una frecuencia. Es importante continuar realizando monitoreos del agua en la zona, debido a que esta puede ser utilizada para el riego de los cultivos. Se analizaron parámetros “in situ” y en laboratorio siguiendo los procedimientos del Estándar Métodos, para la determinación del ICA, el cual dio como resultado 80,72 que indica que es de buena calidad para el consumo humano, la pesca y la agricultura. Se tomaron muestras en el centro de la laguna, con la finalidad de determinar su profundidad, la cual llega probablemente a los 14,52 m. en época de sequía (mes de mayo de 2013). Es una zona poco conocida, por lo que se debería fomentar el turismo, y realizar estudios de flora y fauna.

Palabras clave: AGUA, CALIDAD, MUESTREO, PROFUNDIDAD, POSTPROCESO, PRECISIÓN, PRESERVACIÓN.

ABSTRACT

The study and protection of watersheds is vital because human activities are developed here as agriculture, livestock and industry, for that reason the “National Plan for Good Living” in the area Water and Sanitation proposed: “Promote the control and monitoring of water quality”. The lagoon in study belongs to the moor ecosystem which is a major source of water for the surrounded community Achupallas. In this context the objective of this study is perform the physicochemical characterization of the waters of Mapaguiña lagoon, determine the water quality index and analyzes the conditions to preserve it, thus avoiding possible contamination and degradation in the future. The methodology used for this study were three campaigns for water sampling both in wet and dry season, on the surface of lagoon and a different depths. For geo survey points with an approximate precision of ± 1 meter, first drag a GPS base from Riobamba using a GNSS-GPS. Several parameters were analyzed “in situ” and in laboratory following the procedures of Standard Methods, for determining WQI, and the results were 80,72 indicating it is of good quality for human consumption, fishing and agriculture. Is important to continue monitoring the water in the area, because this can be used to irrigate crops. Samples were taken at the center of the lagoon, in order to determinate its depth, which is likely to reach 14,52 m. in the dry season (May 2013). It is a little known area, so that should encourage tourism, and study of flora and fauna.

Key words: WATER, QUALITY, SAMPLING, DEPTH, POSTPROCESSING, ACCURACY, PRESERVATION.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La destrucción y el uso no apropiado de los recursos naturales, así como las tecnologías perjudiciales de producción agrícola para las cuencas hidrográficas y una constante presión por el crecimiento demográfico, ponen en peligro un desarrollo sostenible en el Ecuador. (Bastidas & Terán, 2011).

De acuerdo al Plan Nacional del Buen Vivir que adoptó el Ecuador para el período 2009-2013, en la Participación Ciudadana, en el Proceso Participativo 2007-2010, área de “Agua y Saneamiento”, tiene como objetivo No. 4: “Promover un medio ambiente sano y sostenible, y garantizar el acceso a agua, aire y suelo seguros.”, la primera meta dice: “Promover el manejo sostenible de los recursos naturales estratégicos (suelo, agua, aire, subsuelo, bosques y biodiversidad)” y la tercera meta propuesta por la mesa dice: “Promover el control y monitoreo de la calidad del agua”. (Plan Nacional del Buen Vivir , 2009-2013).

En este sentido es de importancia el estudio y la debida protección de las cuencas hidrográficas, considerando que se entiende por cuenca hidrográfica el territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico. (Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca., 2008). Se encuentra delimitada por el divisorio de aguas, y se conocen como áreas de drenaje, en esta se desarrollan todas las actividades humanas sean estas agrícolas, ganaderas o industriales. (Mendoza, 2010).

Con respecto a estudios sobre las cuencas hidrográficas, la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH) ha emprendido proyectos de ámbito geográfico y ambiental y en conjunto con la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, con el principal

interés de conservar y potenciar los recursos naturales estratégicos que posee la provincia.

El Centro de Estudios y Acción Social (CEAS) realizó proyectos de Agua en el Cantón Alausí en enero de 1998, proyecto denominado: “Agua para beber los pobres”, pero no se consideró a la Laguna de Mapaguiña, de ahí el interés de la investigación. (CEAS, 2004).

El estudio de la calidad de agua (ICA) aporta información acerca de los atributos del agua sin recurrir a recopilaciones estadísticas de las tendencias y simplifican en un solo valor, toda la información acerca de la calidad del agua. Por este motivo resultan muy accesibles para las autoridades políticas y el público en general debido a la facilidad del manejo de la información. También existen índices de calidad de agua (ICA) contruidos en base a parámetros fisicoquímicos, los cuales varían según la naturaleza del cuerpo de agua, el posible uso del agua, las condiciones climáticas y geológicas de la región y el criterio de expertos. El desarrollo de los ICA se basa principalmente en el estudio de ríos o corrientes y falta investigación sobre lagunas de inundación; en las lagunas con un bajo porcentaje de oxígeno disuelto y limitada biodiversidad de organismos, los índices fisicoquímicos pueden ser un instrumento más confiable para determinar el ingreso de agentes contaminantes. (Castillo & Rodríguez, 2008).

1.1.1 Identificación del problema

En la zona no existe un plan de manejo del recurso hídrico, únicamente hay estudios a nivel regional y de carácter general, sin mayor grado de detalle ni actualización, lo que impide realizar una propuesta acorde a los lineamientos planteados en el Plan Nacional del Buen Vivir.

La Laguna de Mapaguiña no posee estudios sobre la calidad de sus aguas, que consiste en la caracterización físico-química de las aguas, base fundamental para iniciar un levantamiento de línea base ambiental en el medio agua.

La laguna en estudio se encuentra en el ecosistema de páramo, y según (Arcos, 2010) esta es la principal fuente de agua para la comunidad. Debido a que tiene características climáticas especiales, suelos volcánicos poco profundos y porosos y con alto contenido de materia orgánica, y la topografía formada por la acción de los glaciares, la hidrología superficial del páramo tiene características extraordinarias. En la actualidad el páramo es utilizado mayormente para el pastoreo intensivo de ganado, cultivo de papas y fréjoles y plantaciones de pinos. También el páramo es de origen glacial con una variedad de lagunas, pantanos y praderas húmedas. Debido a que existe una baja población en la zona, el agua es de muy buena calidad, la hidrología es muy poco entendida y los datos meteorológicos e hidrológicos son casi inexistentes y la literatura científica es muy escasa. En la actualidad no han existido mayores inconvenientes debido a la abundancia de páramos cercanos a las ciudades, pero en el futuro los problemas se podrían generar debido al aumento de la población, y por lo tanto el auge de las actividades agrícolas de la zona.

Además, según (Cherre., 2010), la importancia que representan los lagos, es que moderan el clima y aumentan las lluvias, y las poblaciones aledañas a estos utilizan el agua para uso doméstico, para el riego, como vía de comunicación, para el desarrollo de diferentes industrias o para recreación. Además según (Echarri, 1998), las lagunas son sistemas jóvenes, a escala geológica y permanecen desde pocas semanas o meses, las estacionales, a varios cientos de años, las más duraderas. Con el paso del tiempo acaban llenándose de sedimentos y colmatándose.

1.1.2 Justificación e importancia

Debido a que no se han realizado estudios ambientales en la parroquia de Achupallas, se ha desarrollado el interés de realizar la caracterización físico-química de las aguas de la laguna de Mapaguiña y determinar el índice de calidad del agua de la misma, ya que esta es una de las principales fuentes para la comunidad de Achupallas, tanto en el consumo humano como para riego de cultivos.

Es importante conocer este índice debido a que constituye una necesidad de los sectores sociales y las comunidades aledañas que se encuentran involucradas utilizando este sistema hídrico; además esto permitirá implementar actividades de conservación en labores de saneamiento e incorporación de planes y programas de manejo ambiental; considerando un ámbito participativo, en donde los actores sociales de la zona sean quienes, basándose en los estudios realizados, determinen las mejores alternativas de manejo en el sector.

Se debe analizar la potencialidad de uso de la calidad del agua tanto en las actividades agro-socio-culturales, como si existe o no contaminación como resultado de las actividades humanas. La población utiliza el agua directa o indirectamente, para el consumo doméstico, como en el caso de la alimentación, la limpieza de las viviendas, el lavado de ropa, la higiene, el aseo personal; el consumo público; el uso en agricultura y ganadería, para el riego de los campos.

Cabe resaltar que este estudio va a facilitar información acerca del estado de los recursos hídricos, y aportar al plan integral de manejo de la Laguna de Mapaguiña, que pertenece a la microcuenca del Río Manzano.

El porqué del estudio de los diferentes parámetros y su importancia se describen a continuación: el pH sirve para determinar si el agua es ácida o básica, mientras que la conductividad es la capacidad que posee una solución acuosa de conducir la corriente eléctrica, se la determina con los sólidos disueltos, el potencial redox (Eh) mide la estabilidad de un ion en un nivel de oxidación determinado. La alcalinidad está determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos y se toma como un indicador de dichos iones (Otero, 2011), mientras que el oxígeno disuelto se mide debido a que la presencia de oxígeno en el agua es indispensable para la vida acuática y aumenta al disminuir la temperatura o aumentar la presión. (Chirinos, Guarenas, & Sánchez, 2009).

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua y como resultado de la acción de oxidación bioquímica aerobia. (Flores, 2006), mientras que la Demanda Química de Oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica e inorgánica, en una

muestra de agua, bajo las condiciones específicas del agente oxidante ($K_2Cr_2O_7$), temperatura y tiempo. Los sulfatos se encuentran en las aguas naturales en un amplio intervalo de concentraciones. (APHA, 1992); los ortofosfatos se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza, sobre todo en forma de apatito (EcuRed, 2014), mientras que las concentraciones de sólidos totales disueltos guardan una correlación positiva con la productividad en lagos, a la vez que afectan a la penetración de luz en la columna de agua. (Martínez. O. , 2006). Según (Montes, 2002), la turbidez es la expresión de la propiedad óptica de la muestra, causando que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra, en el caso del color en el agua, este se debe a la presencia del contenido natural de metales o iones metálicos en disolución, humus o residuos orgánicos, plancton o desechos industriales, y es importante su determinación en aguas naturales. (Secretaría de Economía de los Estados Unidos Mexicanos, 2001).

Es importante determinar la temperatura, la cual servirá para determinar el grado de saturación de oxígeno disuelto, variando estacionalmente y con la profundidad (Smith & Smith, 2006). En cuanto a la dureza, el agua de los lagos suele ser relativamente blanda, puesto que las algas y las plantas superiores durante los procesos de asimilación substraen CO_2 a los iones HCO_3^- y con ello se puede producir la precipitación del carbonato cálcico. (Hans, 1976).

Mediante la determinación de los parámetros fisicoquímicos mencionados anteriormente, se puede calcular el índice de calidad del agua de la laguna y su evolución con el tiempo y poder reconocer posibles problemas de contaminación, es decir la salud del cuerpo de agua. Este servirá para elaborar posteriormente un diagnóstico del estado del presente cuerpo de agua, para indicar a la comunidad de Achupallas los posibles usos de la misma, como puede ser para el consumo humano o para el riego de cultivos.

1.1.3 Objetivos

1.1.3.1. Objetivo general

Realizar la caracterización fisicoquímica de las aguas de la Laguna de Mapaguiña, ubicada en la Parroquia de Achupallas, Cantón Alausí, Provincia de Chimborazo.

1.1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar si las aguas de la Laguna de Mapaguiña cumplen las leyes ambientales ecuatorianas (Ley de Agua – Derecho Ambiental Ecuador Art 11, 20, 22).
- Realizar un diagnóstico de los componentes físico-químicos a través de una línea base de la zona de estudio, mediante las salidas de campo.
- Elaborar el estudio de calidad de agua de la Laguna de Mapaguiña, con el principal interés de conservar y potenciar los recursos naturales estratégicos que posee la provincia de Chimborazo.
- Determinar el índice de calidad de agua de la Laguna de Mapaguiña.
- Generar una base de datos de información, producto de la caracterización físico-química de las aguas superficiales y a diferentes profundidades, las cuales se determinarán en campo con el muestreador de agua vertical.

1.1.4 Estado del arte

En lo que se refiere a proyectos en América Latina (Ahumada-Sempoal & Ruiz-García, 2009), realizaron un estudio de las características fisicoquímicas de la Laguna Pastoría, Oaxaca, México, con el fin de conocer las condiciones físico-químicas y su variación estacional en una red de 21 estaciones de muestreo, de abril de 1998 a abril de 1999 y luego de registrar los datos de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH, se determinó que la laguna presenta una marcada estacionalidad, principalmente en salinidad.

(Ávila, Cruz, Girón, & Salcedo, 2009), realizaron un estudio de los Índices de Calidad del Agua de la Laguna de Zupitlán, Hidalgo, México, y se determinó que su calidad como agua de riego es aceptable, su salinidad es baja y su concentración de Cd es elevada, además se encontró contaminación inorgánica con NH₃, Cu, Ag, Cd y Pb cuyas concentraciones afectan la sobrevivencia de los peces.

(Otero, 2011), realiza un estudio de temporalidad de parámetros de calidad en el Lago de Yojoa, Honduras, el cual clasifica a este lago como un cuerpo de agua dulce, de baja alcalinidad y con aguas blandas; también se ha demostrado que este lago sufre con el paso de los años un empeoramiento en la calidad de sus aguas, debido a que en la última década se ha producido un incremento en las concentraciones de nutrientes, tanto en las formas de nitrógeno como en las de fósforo, así como el de actividad bacteriológica, lo cual indica el aumento de la fertilización de las aguas posiblemente por aportes de materia orgánica en descomposición, lo que favorece un aumento de algas.

Además se han realizado estudios de la calidad de agua en Piedras Blancas, Colombia (Posada, Roldán, & Ramírez, 2000), en el cual las aguas del Parque Piedras Blancas se encuentran en buen estado y se ajustan a la clasificación oligo-mesotróficas. Inclusive (Montes, 2002), realiza un estudio de la calidad de agua en la Microcuenca Quebrada Honda en Huaraz, Ancash, Perú, en el cual indica una alta contaminación en los ríos por metales pesados.

En Argentina se destaca el trabajo de (Kruse & Casanova, 1993), quienes investigaron las consecuencias de la acumulación de sedimentos en los lagos artificiales, a través de lo cual se analizó la influencia de dichos sedimentos en la hidrología y la biología de los lagos. También en este país se destaca el estudio de la Laguna Malaver (Geraldí, 2003), en la que se estudiaron los parámetros físicos y químicos y la variación espacial de la laguna mediante la utilización de imágenes satelitales, cartografía de la zona y el análisis de los registros pluviométricos. Inclusive (Bohn, Perillo, & Piccolo., 2004), realizaron un estudio de la calidad del agua de la Laguna Unamuno, también perteneciente a la Argentina, para así hallar la solución al problema de pérdida de tierras productivas, en el que se dice que es recomendable utilizar el agua de la laguna para riego suplementario sólo en suelos bien drenados.

Con respecto a Ecuador, según (Zúñiga, 2009), se menciona que al realizar la remediación de las aguas de la Laguna de Papallacta, perteneciente a la Cuenca del Río Tambo, éstas estaban contaminadas con hidrocarburos y arsénico, porque luego de realizar varios estudios, se determinó que la principal causa de la contaminación con As era la presencia de fuentes de agua geotermales en la Cuenca alta del Río Tambo. (Bastidas & Terán, 2011), (Fierro & Jiménez, 2011) y (Garcés, 2011) realizaron análisis en las Microcuencas del Río Saucay y Manzano, en las cuáles se hace el cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA), con el cual se concluye que los ríos y afluentes dentro de las Microcuencas mencionadas se encuentran dentro del rango de aguas de buena calidad, limpias y bien oxigenadas, aptas para el consumo humano y adaptables para aguas de riego.

(Arias, 2007), analiza que las vías de acceso inciden en el estado del recurso hídrico, por lo que zonas sin vías de acceso, o con difícil acceso, no serán contaminadas o presentarán un grado de contaminación mínimo y tendrán una mejor calidad de agua.

1.1.5 Área de estudio

La laguna de Mapaguiña pertenece a la Provincia de Chimborazo, Cantón Alausí, Provincia de Achupallas. La provincia de Chimborazo está ubicada en la parte central del callejón interandino. Tiene una extensión de 6.569 kilómetros cuadrados y sus límites son: al norte la provincia de Tungurahua, al sur la provincia del Cañar y parte del Guayas, al este la provincia Oriental de Morona Santiago y al oeste las provincias de Bolívar y Guayas, al este la provincia Oriental de Morona Santiago y al oeste las provincias de Bolívar y Guayas. (Curicama, 2009-2014.). La provincia está dividida en 10 cantones: Alausí, Guamote, Riobamba, Colta, Guano, Pallatanga, Penipe, Chunchi, Cumandá y Chambo (Figura 1), cuya organización político administrativa está representada por el jefe político y por el alcalde, y cada cantón está formado por parroquias. Sus representantes político-administrativos son el teniente político y la junta parroquial. (Arias, 2007).

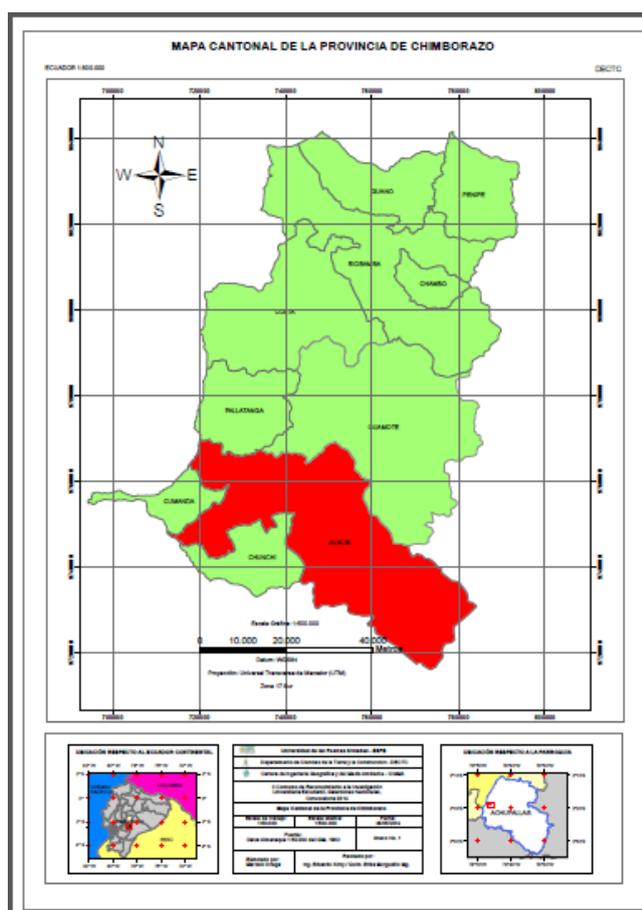


Figura 1. Ubicación del cantón Alausí en la Provincia de Chimborazo (Ortega M., 2013)

El Cantón Alausí se encuentra ubicado a 95 km al sur de Riobamba y la cabecera cantonal está entre las coordenadas $78^{\circ}50'41''$ de longitud Occidental y $2^{\circ}12'02''$ de latitud Sur. Los límites del cantón Alausí son: al norte con el Nudo de Tiocajas, al sur con el Nudo del Azuay, al este con Macas y Sevilla de Oro y al oeste con las Llanuras de la Costa. (Plan de Desarrollo del Cantón Alausí., 1999).

La población del Cantón Alausí es de 42.823 habitantes, siendo el 10% de la población total de la provincia, tiene una superficie de 1.707 km^2 , una tasa de crecimiento de 0,8 % anual. La población la constituyen 20.200 hombres y 22.623 mujeres y se encuentra formada por 10 parroquias: 1 urbana: Alausí central y 9 rurales: Tixán, Sibambe, Huigra, Pistishi, Guasuntos, Achupallas, Sevilla, Pumallacta y Multitud (GAD Municipal del Cantón Alausí , 2011). Este cantón tiene una superficie de 1.695 km^2 . En cuanto a la hidrografía, existen 43 lagunas en Ozogoché, siendo las

más importantes Magtayán y Cubillín. La topografía de Alausí es muy accidentada, debido a que el territorio tiene pendientes superiores a 30%. (Plan de Desarrollo del Cantón Alausí., 1999).

La parroquia de Achupallas fue fundada el 24 de septiembre de 1882 con el nombre de San José de Achupallas por el Mariscal Antonio José de Sucre (Figura 2). La parroquia celebra fiestas en honor a su patrono San Juan del 23 al 25 de junio y su principal atractivo es el Camino del Inca o CápacÑan (Jijón, 2007). Limita al norte por el Cantón Colta, al sur por el Cantón Chunchi y la Provincia de Cañar, al este por Morona Santiago y al oeste por Guasuntos, Sevilla y Pumallacta. Presenta una altitud de 3600 msnm y un clima frío de páramo. (Ilustre Municipio de San Pedro de Alausí., 2007)



Figura 2. Vista panorámica de la parroquia de Achupallas (La Prensa, 2013)

La extensa planicie de la zona facilita para la agricultura, cultivando productos como: papas, habas, mellocos, cebada, trigo, entre otros. Referente a la ganadería el principal representante es el ganado. Otras actividades que realizan son: la fabricación de quesos, la obtención de la lana de borrego, su preparación y confección de ropa. (Martínez. H. , 2005). La laguna es un depósito natural de agua que generalmente es dulce y su profundidad es menor a los 10 metros y una extensión mayor a 1 kilómetro. (Ramírez, 2010). A la laguna de Mapaguiña se accede desde Quito transportándose hasta la Parroquia de Achupallas, posteriormente a la Parroquia de Alausí, en donde se puede ascender en automóvil hasta un parqueadero que se encuentra a una altura de 3300 msnm y luego caminar una cuesta durante alrededor de 50 minutos, una distancia de aproximadamente 872,3 m. (Figura 3).

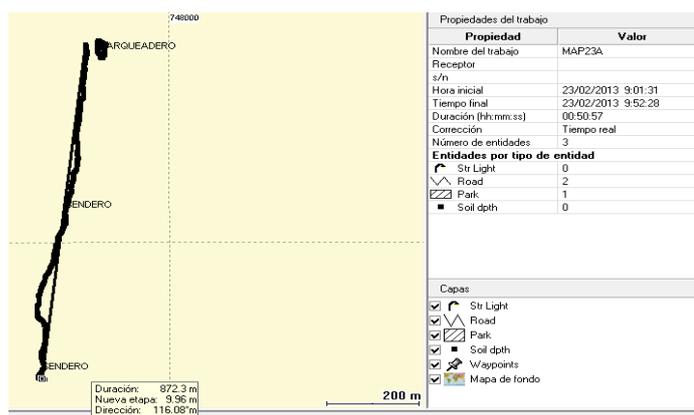


Figura 3. Acceso a la laguna de Mapaguiña desde el parqueadero hasta el sendero. Autor (Ortega M., 2013)

También según (Martínez. H. , 2005), esta laguna es un lugar turístico que motiva a los turistas a visitarlo y permanecer algún tiempo allí. Es muy atractivo para las personas, ya sean turistas nacionales, extranjeros o científicos, debido a que se puede tener un encuentro con la naturaleza y realizar estudios de investigación en la zona. (Figura 4).



Figura 4. Laguna de Mapaguiña. (Ortega M., 2013)
En la Fotografía (Murgueitio E. & Ortega M.)

En lo que se refiere a estudios científicos, este lugar es de gran interés para múltiples disciplinas, adicionalmente para estudios de flora y fauna, debido a que se puede realizar un análisis de la vegetación de la zona, la cual está compuesta principalmente por pajonales, o realizar estudios de algas de la laguna. Es importante que se realice un estudio a profundidad, debido a que en la zona se reforesta con pinos,

lo cual altera su ecosistema. También se pueden realizar estudios geológicos, debido a que se observan diferentes tipos de rocas y estudios de ornitofauna, que se refiere al avistamiento de aves, y como es el interés principal del presente estudio, realizar el análisis de la calidad del agua de la laguna y sus alrededores, por medio de tomas de muestras, para posteriormente determinar el índice de calidad de agua de la misma.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 El agua

De fórmula H_2O ; peso específico 11 (a $4^\circ C$); punto de ebullición, $100^\circ C$; punto de fusión, $0^\circ C$. Es un líquido inodoro, insípido e incoloro en pequeñas cantidades, y azulado o verdoso en grandes masas. El agua de procedencia natural, como agua de mar, de río, de pozo, o de lluvia, contiene cantidades variables de sales, como alcalinas y alcalinotérreas; de gases como el dióxido de carbono y el aire; además de compuestos orgánicos y bacterias. (Plaza & Jánez, 1984).

Estructura del Agua

La molécula de agua está formada por dos átomos de H unidos a un átomo de O por medio de dos enlaces covalentes. El oxígeno es más electronegativo que el hidrógeno y atrae con más fuerza a los electrones de cada enlace. (Figura 5).

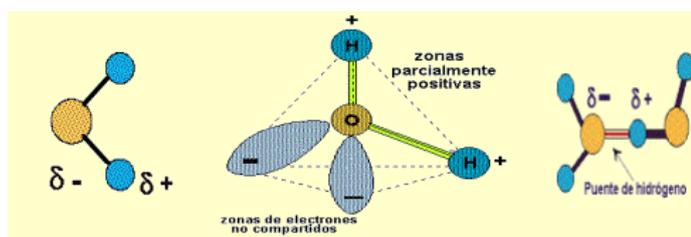


Figura 5. Unión de oxígeno con hidrógeno (Muñoz, 2013)

Propiedades del Agua:

- Acción disolvente.
- Elevada fuerza de cohesión.
- Gran calor específico.
- Elevado calor de vaporización. (Muñoz, 2013)

2.1.1 El ciclo hidrológico

Este ciclo inicia con la evaporación del agua desde la superficie del océano. (Figura 6). En la medida que se eleva, el aire humedecido se enfría y el vapor se transforma en agua, este proceso se conoce como condensación. Luego estas gotas se juntan y forman una nube y posteriormente caen por su propio peso, proceso conocido como precipitación. Finalmente una parte del agua que llega a la tierra será aprovechada por los seres vivos, mientras que otra escurrirá por el terreno hasta llegar a un río, lago o el océano, fenómeno conocido como escorrentía, y otra más se filtra en el suelo, fenómeno conocido como percolación. Hay que tomar en cuenta que el ciclo del agua entrega un elemento puro. (Conicyt, 2010).

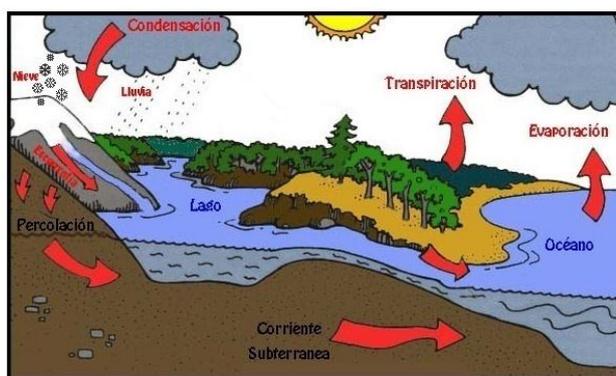


Figura 6. El ciclo hidrológico (Conicyt, 2010).

2.1.2 El agua y su importancia

El agua es el elemento más abundante del planeta y es vital para todos los seres vivos. Los océanos, mares, lagos, ríos, quebradas y otros cuerpos de agua cubren las dos terceras partes del mundo y solo un pequeño porcentaje de esta es agua dulce. La mayor parte del agua disponible para el uso del ser humano se encuentra en los ríos, lagos y capas glaciares. Pero el agua limpia y pura es un recurso cada vez menos disponible y máspreciado, mientras que las necesidades de todos los seres humanos son cada vez mayores. (Arce & Leiva, 2009).

2.1.3 Problemática del agua

Debido al crecimiento poblacional en la actualidad la disponibilidad de agua para consumo humano es menor y se genera la contaminación de fuentes de agua. La calidad de las aguas puede disminuir como consecuencia de la contaminación de sus fuentes, por lo cual es necesaria la realización de estudios del índice de calidad de agua, como es el caso del presente estudio. Además la contaminación de los recursos hídricos superficiales es un problema cada vez más grave, debido a que estos se usan como destino final de residuos domésticos e industriales, sobre todo en las áreas urbanas. También debido a la amplia gama de contaminantes, a los diferentes niveles de contaminación y a la cinética química de las sustancias, elementos, materia orgánica y microorganismos que se incorporan en el cuerpo de agua, es necesario conocer las características físicas, químicas y biológicas del agua antes de seleccionarla como fuente de agua cruda.

2.1.4 Agua dulce

El agua dulce procedente de las precipitaciones se utiliza para el consumo humano y la agricultura. Los ecosistemas de agua dulce son muy vulnerables y el agua se recicla constantemente como consecuencia de la evaporación producida por la energía

solar, las lluvias y el caudal de los ríos dependen del ciclo anual de las estaciones. Los lagos y estanques tienen ciclos naturales muy lentos, con los que tardan en expeler los agentes contaminantes. En la actualidad el agua dulce es muy importante, debido a que de esta están conformados la diversidad de ríos, lagos, torrentes, zonas húmedas y los ecosistemas están gravemente amenazados por esta causa. (Almirón, 2005).

2.1.5 Procedencia de agua para tomar

En la Provincia de Chimborazo, la procedencia del agua para consumo humano en el área urbana es la siguiente (Tabla 1)

Tabla 1.
Procedencia de agua para tomar en la Parroquia de Achupallas

Procedencia	Casos	Porcentaje (%)
La beben tal como llega al hogar	1.483	57,44
La hierven	980	37,96
Le ponen cloro	106	4,11
La filtran	7	0,27
Compran agua purificada	6	0,23
TOTAL	2.582	100,00

Fuente: (INEC, 2010)

La procedencia principal del agua en la Parroquia de Achupallas es (Tabla 2):

Tabla 2.**Procedencia principal del agua recibida en Achupallas**

Procedencia	Casos	Porcentaje (%)
De Red Pública	844	32,79
De Pozo	433	16,82
De Río, Vertiente, Acequia o Canal	1.247	48,45
De Carro Repartidor	1	0,04
Otro (Agua lluvia/albarrada)	49	1,90
TOTAL	2.574	100,00

Fuente: (INEC., 2010)

2.2 Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica es el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conduce sus aguas a un río principal, a un río muy grande, a un lago o a un mar. (Bastidas & Terán, 2011). La formación de la cuenca se produce por medio de los terrenos montañosos de los cursos que guían el agua desde las zonas más altas a las más bajas. (Figura 7). Es muy importante comprender las cuencas hidrográficas debido a que el agua es un recurso natural básico para los seres humanos, utilizado en actividades como agricultura y producción industrial, por lo que deben ser preservadas, garantizando así agua de buena calidad para todos los seres vivos. (Gonzalvo, 2010).

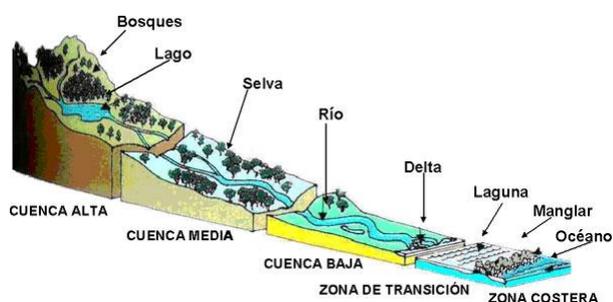


Figura 7. Diferentes terrenos montañosos de la cuenca Hidrográfica (Gonzalvo, 2010).

Los elementos de una cuenca hidrográfica son:

- **Río Principal.-** Es el curso con mayor caudal de agua o con mayor longitud o mayor área de drenaje. El río principal tiene un curso, que es la distancia entre su nacimiento y su desembocadura. (Linárez, 2011) (Figura 8).

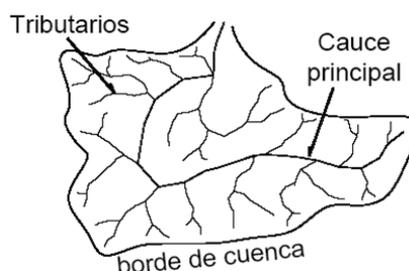


Figura 8. Ríos principales y secundarios (Tutoriales al Día , 2013)

- **Los Afluentes.-** Son los ríos secundarios que desembocan en el río principal. Cada afluente tiene su respectiva cuenca, denominada sub-cuenca. (Linárez, 2011).
- **Divisoria de Aguas.-** “La divisoria de aguas es una línea imaginaria que delimita la cuenca hidrográfica, marca el límite entre una cuenca hidrográfica y las cuencas vecinas. El agua precipitada a cada lado de la divisoria desemboca generalmente en ríos distintos.” (Figura 9). (Gonzalvo, 2010).



Figura 9. Divisoria de aguas (Gonzalvo, 2010).

- **Relieve de la Cuenca.-** “El relieve de una cuenca consta de los valles principales y secundarios, con las formas de relieve mayores y menores y la red fluvial que conforma una cuenca. Está formado por las montañas y sus flancos; por las quebradas o torrentes, valles y mesetas.” (Linárez, 2011).

- **Obras Humanas.-** “Las obras construidas por el ser humano, que se observan en la cuenca suelen ser: viviendas, ciudades, campos de cultivo, obras para riego y energía y vías de comunicación. El factor humano es siempre el causante de muchos desastres dentro de la cuenca, ya que se sobreexplota la cuenca quitándole recursos y trayendo inundaciones en las partes bajas.” (Linárez, 2011).

Partes de una Cuenca Hidrográfica:

- **Sección Alta.-** Comprende a la Cordillera de los Andes. En esta zona nacen los ríos. Corresponde a territorios de gran altitud, con fuertes pendientes. En esta sección se depositan masas de hielo o glaciares. (CONAF, 2007).
- **Sección Media.-** Comprende la cordillera de la Costa y pie de monte de la cordillera de los Andes. Corresponde a territorios de media altitud con pendientes medianas a fuertes. Es el sector de la cuenca por donde se desplazan los ríos. (CONAF, 2007).
- **Sección Baja.-** Corresponde a la depresión intermedia y a la planicie o litoral costero. Son territorios de baja altitud, mayoritariamente planos. En esta zona los ríos y suelos son altamente utilizados y contaminados, además, es la receptora de cualquier impacto causado en las partes alta y media. (Figura 10) (CONAF, 2007).



Figura 10. Partes de una cuenca hidrográfica (CONAF, 2007).

Tipos de Cuencas:

Existen de tres tipos:

- **Cuencas Exorreicas.-** Drenan sus aguas al mar o al océano. (López, 2012)
- **Cuencas Endorreicas.-** Desembocan en lagos, lagunas o salares que no tienen comunicación salida fluvial al mar. Este es el caso de la zona de estudio (Figura 11) (López, 2012)



Figura 11. Cuencas exorreicas y endorreicas (Montilva, 2007).

- **Cuencas Arreicas.-** En estas, las aguas se evaporan o se filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje. (López, 2012)

2.3 Lagos y lagunas

2.3.1 Lagos

Los lagos son cuerpos de agua que ocupan depresiones preexistentes en la corteza terrestre (Figura 12). Según su extensión, pueden ser pantanos, charcas, lagunas, lagos o mares interiores. El suministro de agua puede tener varios orígenes: pluvial, fluvial, glacial, manantial o eólico. (Cherre., 2010). Según (Smith & Smith, 2006), la

profundidad de las lagunas puede ir de 1 a 2000 metros y su tamaño puede estar desde menos de una hectárea hasta miles de km². Además, la mayoría de los lagos y lagunas tienen ríos que los drenan.



Figura 12. Los lagos y lagunas ocupan cubetas o depresiones del terreno (Smith & Smith, 2006)

Origen de los lagos:

El origen de los lagos se clasifica en:

- **Tectónicos.-** Son lagos que están alojados en una depresión o fosa tectónica.
- **De Cráter o Volcánicos.-** Se encuentran alojados en el cráter de un volcán apagado, ya sea por la acumulación del agua lluvia, alimentado por los glaciares que lo rodean o por corrientes subterráneas.
- **De Glaciar.-** Se forman en las hondonadas excavadas por los glaciares en donde se acumula el agua de los deshielos. También en algunos valles, las morrenas, o acumulación de material rocoso, bloquean el paso y llegan a formarse estos lagos.
- **Cársicos.-** En los terrenos calizos o calcáreos se infiltra el agua formando corrientes subterráneas y grutas. Cuando el techo de estas cavernas se derrumba se forman estos lagos.
- **Eólicos.-** Se llaman así los lagos que ocupan las cuencas excavadas por los vientos en rocas suaves. Se pueden formar también en hundimientos entre las dunas o

médanos o entre arenas movedizas que detienen el agua. (Figura 13). (Cherre., 2010)

Los lagos de origen glacial son aquellos que se formaron durante el período de deshielo hace alrededor de 10.000 años y este período se caracterizó por una gran precipitación, alta nubosidad y bajas temperaturas. (Roldán & Ramírez, 2008).

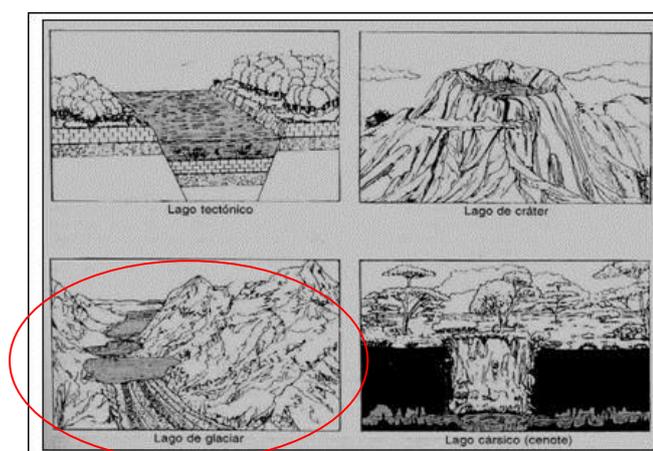


Figura 13. Origen de los lagos de acuerdo con el tipo de depresión que ocupan (Cherre., 2010)

Tipos de Lagos:

Los tipos de lagos se clasifican en:

- **Barrera.-** Se forman cuando un obstáculo natural interfiere en el curso de un río, por lo cual el agua se acumula. Este obstáculo puede ser el derrumbe de las laderas de un valle o una corriente de lava o barras de arena.
- **Albuferas.-** Son embalses formados por la acumulación de arenas y sedimentos casi siempre en la desembocadura de un río; debido a que tienen contacto directo con el mar, tienen agua salada.
- **Herradura o Consecuentes.-** Son aquellos que se forman por la acumulación de material que es arrastrado por un río maduro. En un momento dado, alguna curva

del meandro es interrumpida por las arenas o bloque rocoso que entorpece el paso del agua, con lo cual se forman un lago en forma de U, de ahí el nombre de lago de herradura.

- **De Recepción o Terminales.-** Reciben agua de uno o varios ríos. Estos lagos no desaguan ni forman otro río, por lo que su drenaje se realiza mediante la evaporización, ya que están situados casi siempre en regiones secas.
- **De Transmisión o Abierto.-** Es aquel que recibe aguas de un río y a su vez origina otro. El lago aparece porque el río encuentra una depresión, la cual llena de agua y después continúa su camino hacia el mar.
- **De Emisión.-** Son aquellos que dan origen a uno o varios ríos afluentes. Estos lagos se alimentan de lluvias o de corrientes subterráneas. (Cherre., 2010)

Estructura de los Lagos según la Profundidad:

- **Epilimnion.-** Capa superficial templada de los lagos. Es la parte más cálida y significa encima del lago.
- **Termoclina.-** Está por debajo del epilimnion. Es una zona a través de la cual la temperatura cambia con la profundidad, alrededor de 1°C por metro de profundidad.
- **Hipolimnion.-** Se encuentra debajo de la termoclina y son aguas frías y oscuras. (Molles, 2006).

Características Físicas de un Lago:

Los lagos y lagunas presentan fronteras bien definidas, como son: la orilla, las paredes de la cubeta, la superficie del agua y los sedimentos del fondo. La vida de los ecosistemas depende de la luz, así la cantidad de luz que penetra en el agua se ve influida por los sedimentos y por el crecimiento del fitoplancton.

Además, la temperatura cambia tanto estacionalmente como con la profundidad.

Finalmente, la disponibilidad de oxígeno puede ser limitada, principalmente en verano, ya que únicamente una pequeña proporción del agua está en contacto directo con el aire.

Así se puede decir que las variaciones en oxígeno, temperatura y luz determinan la distribución y adaptaciones de los seres vivos en los lagos. (Smith & Smith, 2006)

El color de un lago varía del profundo azul de los lagos más claros al amarillo, pardo o incluso rojo. El color depende de la absorción de la luz dentro del lago, y está influido especialmente por factores como la actividad química y biológica. (Molles, 2006).

En cuanto a la temperatura, los lagos se van estratificando térmicamente a medida que se calientan. Por lo tanto durante la estación templada, están más calientes en la superficie que debajo de la termoclina. (Molles, 2006).

También la mezcla de la columna de agua generada por el viento es el movimiento de agua ecológicamente más importante, por lo que los patrones de mezcla tienen profundas consecuencias en la biología y la química de los lagos. (Molles, 2006).

Condiciones Químicas:

Las principales condiciones químicas que presentan los lagos son la salinidad y el oxígeno:

- **Salinidad.-** La salinidad de los lagos es mucho más variable que la del océano abierto. La salinidad media del agua dulce mundial, 120 mg/L es una fracción minúscula de la salinidad de los océanos. (Molles, 2006).
- **Oxígeno.-** la mezcla del agua con las actividades biológicas tiene profundos efectos en la química del lago. Por lo que los lagos oligotróficos, que son de baja producción biológica, están casi siempre bien oxigenados; mientras que los lagos

eutróficos, que tienen alta producción biológica pueden carecer de oxígeno. (Molles, 2006).

Según la abundancia de nutrientes, como fosfatos y nitratos, se distinguen los lagos eutróficos y los oligotróficos:

- **Eutrófico.-** Existe una gran relación entre la superficie y el volumen. (Figura 14). Además, la abundancia de nutrientes como nitrógeno y fósforo, estimula el crecimiento tanto de algas como de plantas acuáticas. El fitoplancton le da una tonalidad verde oscura. (Figura 15). La turbidez del agua reduce la penetración de la luz, restringiendo la productividad biológica a una delgada capa superficial.

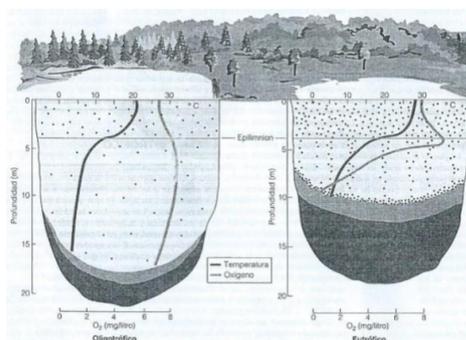


Figura 14. Comparación de un lago oligotrófico con uno eutrófico (Smith & Smith, 2006)



Figura 15. Una laguna eutrófica, mostrando tapetes algales en su superficie. (Smith & Smith, 2006)

- **Oligotrófico.-** Tienen una reducida relación superficie-volumen, sus aguas son claras y tienen una tonalidad azulada o turquesa a la luz del sol. El contenido en

nutrientes del agua es bajo y, aunque el nitrógeno puede ser abundante, el fósforo es muy limitado. La baja disponibilidad de nutrientes desemboca en una baja producción de materia orgánica, en concreto del fitoplancton. Debido a esa baja producción, la disponibilidad de materia orgánica para la descomposición es reducida. Estas elevadas concentraciones de oxígeno son las responsables de la reducida liberación de nutrientes desde el sedimento. (Smith & Smith, 2006)

Función de los lagos y lagunas:

Son sistemas acuáticos rodeados por ecosistemas terrestres (Figura 16). Los nutrientes y otras sustancias atraviesan las fronteras entre estos ecosistemas por vías biológicas, geológicas, meteorológicas e hidrológicas. Los aportes atmosféricos están constituidos por partículas arrastradas por el viento, las sustancias disueltas en la lluvia, y los gases atmosféricos. Los ecosistemas lacustres funcionan mayoritariamente como un entramado de transferencias de carbono orgánico procedente tanto de fuentes internas como externas: aportes externos, la zona litoral y la zona limnética. (Smith & Smith, 2006)

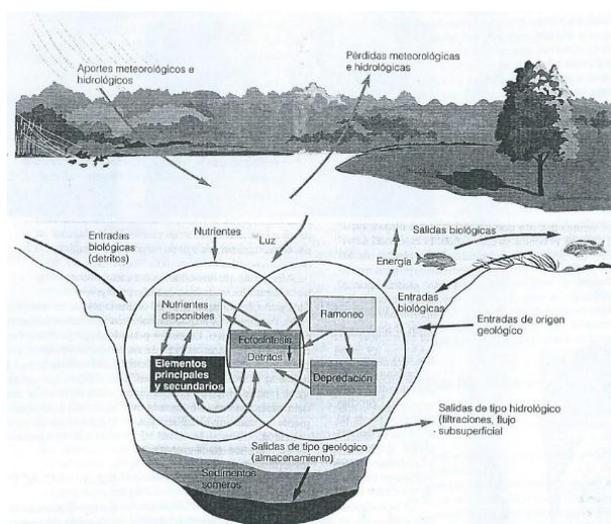


Figura 16. Modelo del ciclo de nutrientes y el flujo de energía en un ecosistema lacustre. (Smith & Smith, 2006).

En lo que tiene que ver con la influencia humana la población ha tenido influencias negativas en la ecología de los lagos. Con el motivo de que estos ofrecen acceso directo al agua para la población, ya sea para uso doméstico o industrial, gran cantidad de personas se desarrollan alrededor de ellos. Como ejemplo se tiene que la población que se ubicó alrededor del lago Erie, uno de los más alterados de los Grandes Lagos, creció desde 2,5 millones en 1880 hasta más de 13 millones en tan solo 10 años. Estas poblaciones han vertido grandes cantidades de nutrientes y residuos tóxicos en este lago, con lo cual han producido un gran impacto negativo en la zona. (Molles, 2006).

2.3.2 Lagunas

Una laguna es cualquier extensión natural de agua estancada, sea dulce o salada. Las lagunas tienen vías de desagüe hacia el mar, otras lagunas y ríos. Otra característica general de las lagunas es que estas se presentan agrupadas en aquellos lugares en los que los cursos fluviales no pueden desembocar en otros ríos mayores o en el mar, y desaguan en depresiones de suelos impermeables, los que contienen el agua sin filtrarla, desecándose por evaporación, fenómeno conocido por endorreísmo. (Ramírez, 2010). También la laguna se refiere al lago de tercer orden, es decir, un cuerpo léntico que no tiene estratificación térmica y que por lo tanto tiene circulación continua todo el año. La mayoría de lagunas presentan una hidroquímica altamente variable, mientras que las lagunas más salinas se sitúan en las cuencas hidrológicamente más aisladas. Las lagunas claras generalmente presentan una baja intensidad de uso de la tierra en sus cuencas de drenaje, mientras que las lagunas con alta utilización humana de sus drenajes son las más turbias y presentan mayores concentraciones de nutrientes y alta abundancia de peces planctívoros. Es difícil determinar con precisión la superficie de una laguna debido a que el perímetro de las orillas se modifica en época seca o lluviosa. Normalmente las lagunas actúan como sistemas de almacenamiento de agua durante los períodos húmedos para ser descargada paulatinamente, a través de la napa freática, por evaporación y en ocasiones por interconexión con otras lagunas hasta alcanzar algún río o arroyo. (Bohn, Perillo, & Piccolo., 2004).

2.3.3 Diferencia entre un lago y una laguna

Para diferenciar una laguna de un lago, se analiza su profundidad, la cual es menor en la laguna, esa profundidad varía de acuerdo a las condiciones ambientales donde se halle y el grado de colmatación de las distintas escalas a las que adhieren los especialistas.

“Muchas lagunas pequeñas se han formado por la acción del agua que al congelarse y derretirse sucesivamente fue horadando y desmenuzando las rocas a su alrededor.” (Grupo de Trabajo en Páramos del Ecuador, 2004).

2.3.4 Morfometría de una laguna

El origen de la morfometría moderna de lagos está en los sondeos para hacer las primeras batimetrías. Diversos autores han reconocido las relaciones entre la morfología del lago y su limnología. La relación más estudiada ha sido la existente entre el tamaño de un lago y su productividad. Uno de los autores reconoció en un conjunto de lagos de Alemania que una profundidad media igual a 18 metros permitía separar lagos oligotróficos de eutróficos, mientras para otro, la profundidad media es la variable que mejor caracteriza la morfometría de un lago, así como el mejor indicador de su productividad, y un último autor reconoció el papel de la cuenca de drenaje en la productividad de peces de un lago. Al estudiar la limnología de un lago generalmente se incluye los valores de sus principales parámetros morfométricos, como son: el área, la profundidad, entre otros. Otro aspecto de interés que presenta el estudio de la forma de un lago es el geológico y geomorfológico. La forma es el resultado, tanto de los procesos que originaron el lago, como de su posterior evolución en el tiempo. (Castillo., 1992).

2.3.4.1 Dimensiones superficiales

Al estudiar una laguna se deben medir las siguientes variables: área, perímetro, longitud máxima, área de la cuenca de drenaje, altitud, orientación del circo, dirección del lago, litología del sustrato y la dimensión fractal. (Castillo., 1992).

A continuación se hablará de cada una de ellas:

- **Área (A) y Perímetro (P)**

El área superficial es el área total del lago menos el área de todas las islas y rocas dentro de los límites de la línea costera, mientras que el perímetro o longitud de la línea costera es la medida del contorno del lago. (Roldán & Ramírez, 2008). Las medidas de área y perímetro deben ser lo más precisas posibles, debido a que constituyen un requisito para algunos métodos de estimación de la dimensión fractal. (Castillo., 1992).

- **Longitud Máxima**

Es la distancia entre los dos puntos más separados del continuo del mapa. No debe cruzarse ninguna porción de terreno y en la mayoría de los casos es una recta. (Roldán & Ramírez, 2008).

- **Coordenadas Cartesianas**

Sirven para representar el contorno del lago. (Castillo., 1992).

- **Coordenadas de los Centros de Masa**

Permiten medir la latitud y longitud geográficas del lago. (Castillo., 1992).

- **Profundidad Máxima**

Es la parte más profunda del lago y se obtiene por levantamiento batimétrico. En lo que se refiere a lagos naturales el punto más profundo se sitúa generalmente en el centro del cuerpo de agua. (Roldán & Ramírez, 2008).

- **Profundidad Media**

Se obtiene mediante la relación entre volumen y área. (Roldán & Ramírez, 2008)

- **Volumen**

La determinación del volumen total de un lago implica conocer su volumen a cada profundidad determinada. (Roldán & Ramírez, 2008)

2.3.4.2 Eutrofización en lagos de agua dulce

En los lagos, los sedimentos presentan una deficiencia en oxígeno, lo cual favorece la presencia de microorganismos anaeróbicos, mientras que la concentración de

oxígeno en la columna de agua aumenta a medida que se esté más cerca de la superficie.

En el invierno, el calentamiento solar de la superficie disminuye, la estratificación térmica desaparece y esto favorece el transporte de nutrientes, mientras que en el verano se produce un aumento de la temperatura y de la intensidad solar, y en la medida que las plantas crecen, el suministro de nutrientes y la actividad del fitoplancton disminuye.

El exceso de nutrientes favorece el desarrollo de una mayor población de fitoplancton y en consecuencia provoca un gran crecimiento de las algas.

La eutrofización es el proceso natural por el cual se cubren y tapan los lagos. A medida que transcurre el tiempo, un lago inicialmente limpio (oligotrófico) sufre gradualmente eutrofización y va rellenándose con sedimentos, transformándose en un pantano o ciénaga, y en algunos casos en tierra seca. (Spiro & Stigliani, 2003).

2.3.5 Los Sedimentos

Los sedimentos de lagos y arroyos se forman a partir de las rocas sedimentarias. Tanto el agua como el viento se encargan de transportar los sedimentos. El agua que fluye en los arroyos o ríos lleva los materiales sedimentarios a grandes distancias. A partir de las rocas sedimentarias se forman vastas áreas de terreno, así como sedimentos de lagos y arroyos u otras corrientes de agua. Los ríos o arroyos movilizan los materiales sedimentarios mediante la erosión, transportan los materiales junto con el flujo del cuerpo de agua y los liberan en forma sólida durante la deposición. Los depósitos de sedimentos llevados por los ríos o arroyos se llaman aluviones. (Manahan, 2007).

2.3.6 Humedales como depósitos químicos

Los nitratos, procedentes de la escorrentía, penetran en los humedales y son empleados por las bacterias allí presentes para la oxidación del carbono almacenado, vía reducción del nitrato a N_2 , compuestos gaseosos que se liberan posteriormente a la atmósfera. (Figura 17). (Spiro & Stigliani, 2003).

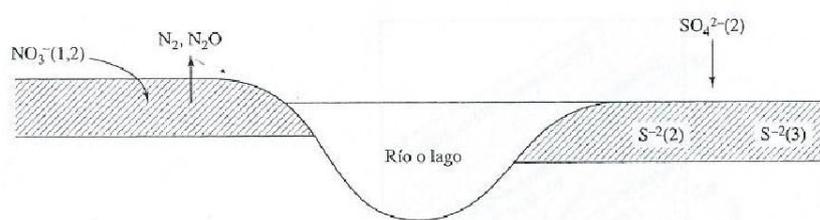


Figura 17. Los humedales como depósitos de nitrato y sulfato (Spiro & Stigliani, 2003).

2.3.7 Caudales

La variación del caudal en el río se da durante las diferentes épocas del año, lo cual varía de acuerdo a condiciones climáticas, acciones realizadas en las riberas del río, uso del suelo, condiciones de la cobertura vegetal, topografía del área de estudio. (Plaza & Jánez, 1984).

2.3.8 Métodos de aforo

El aforo es la operación de medición del volumen de agua en un tiempo determinado, lo que significa el caudal que pasa por una sección de un curso de agua. El valor del caudal mínimo debe ser mayor que el consumo máximo diario con la finalidad de cubrir la demanda de agua de la población futura. Se deberían efectuar los aforos en las épocas secas y lluviosas para conocer los caudales mínimos y máximos.

Existen dos métodos para determinar el caudal del agua: el método volumétrico y el de velocidad área, pero el más utilizado es el segundo, en el cual se mide la velocidad del agua superficial tomando el tiempo que demora un objeto flotante en llegar de un punto a otro en una sección uniforme. (Figura 18) (Barrios, 2008).

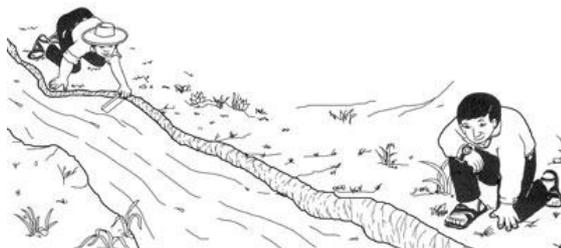


Figura 18. Método velocidad área (Barrios, 2008).

2.4 Marco legal ambiental

Debido a que el tema del Agua en el Ecuador es muy debatido en la actualidad, se mencionan a continuación algunos de los artículos que regulan éste recurso y que se encuentran estipulados en la actual Constitución, en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 169:98, la cual se refiere a la Calidad de Agua y la Ley de Aguas:

2.4.1 Constitución de la República del Ecuador 2008

El Art. 276 menciona que se debe garantizar a las personas un acceso equitativo, permanente y de calidad al medio agua, razón por la que se realiza el presente estudio, mientras que el Art. 398 menciona que toda decisión o autorización estatal debe ser consultada a la comunidad aledaña a la zona respectiva. También el Art. 405 menciona que el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) garantiza la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas.

El Art. 406 menciona que el Estado regulará la conservación y manejo de ecosistemas frágiles y amenazados como: páramos, humedales, bosques nublados, entre otros, mientras que el Art. 411 menciona que se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad del agua. (Constitución de la República del Ecuador, 2008)

2.4.2 Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS)

La norma tiene como objeto la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, en lo relativo al recurso agua, protegiendo la calidad del recurso agua

Los criterios de calidad para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces se muestran en la Tabla 3 del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), Libro VI, Anexo 1, en el que se menciona que el oxígeno disuelto no debe ser menor al 80%, ni tampoco menor a 6 mg/L, mientras que el pH se debe encontrar en un rango de 6,5 a 9, y la temperatura en condiciones normales debe ser de máximo 20°C. En lo que tiene que ver a los nitritos, su límite máximo permisible es de 60 µg/L.

Toda descarga a un cuerpo de agua dulce deberá cumplir con los valores establecidos en la Tabla 12 del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), Libro VI, Anexo 1, en la que se menciona que la Demanda Bioquímica de oxígeno (D.B.O.₅) tiene un límite máximo permisible de 100 mg/L, mientras que para la Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.) es de 250 mg/L, en el caso del fósforo total (P), de los nitratos y de los nitritos, este límite es de 10 mg/L. El Potencial de hidrógeno (pH) se encuentra en un rango de 5 a 9, mientras que los sólidos totales tienen un límite máximo permisible de 1600 mg/L. En lo que se refiere a los sulfatos, estos deben estar por debajo de los 1000 mg/L y para la temperatura, esta debe ser menor a los 35°C. (TULAS, 2002).

2.4.3 Ley de aguas

El Art. 2 afirma que las aguas de ríos, lagos, lagunas, manantiales que nacen y mueren en una misma heredad, nevados, caídas naturales y otras fuentes, y las subterráneas, afloradas o no, son bienes nacionales de uso público, mientras que el Art. 20 indica que el Consejo Nacional de Recursos Hídricos protegerán y desarrollarán las cuencas hidrográficas, efectuando los estudios de investigación correspondientes.

El Art 22 menciona que se prohíbe toda la contaminación de aguas que afecte a la salud humana, al desarrollo de flora o de fauna, mientras que el Art. 52 determina que el Consejo Nacional de Recursos Hídricos determina la posibilidad de las aguas de los ríos, lagos, lagunas, entre otros, como aptas para fines de riego. (Ley de Aguas, 2004).

2.4.4 Plan Nacional del Buen Vivir

El Objetivo No. 4 del Plan Nacional del Buen Vivir menciona que se debe garantizar los derechos de la naturaleza y promover un ambiente sano y sustentable.

En el área de “Agua y Saneamiento” se tiene como objetivo No. 4: “Promover un medio ambiente sano y sostenible, y garantizar el acceso a agua, aire y suelo seguros.” Además la tercera meta propuesta por la mesa dice lo siguiente: “Promover el control y monitoreo de la calidad del agua”. (Plan Nacional del Buen Vivir , 2009-2013).

2.5 Calidad del agua

La actividad humana genera gran cantidad de desechos que son liberados a la tierra, al aire y al agua y el deterioro de un ecosistema se produce cuando la cantidad y calidad de desechos que se introducen superan su capacidad de recuperación, por lo que se requiere elaborar un diagnóstico del estado de los cuerpos de agua.

Existen varias estrategias para la elaboración del diagnóstico de la calidad del agua de un ambiente determinado, como: la determinación de parámetros físico-químicos y bioquímicos, la detección de bioindicadores de contaminación y la realización de bioensayos de laboratorio y de campo. Las dos primeras informan el estado del cuerpo de agua tanto en sus condiciones abióticas como en las bióticas, mientras que la tercera permite evaluar el impacto de los agentes contaminantes y de las condiciones físico-químicas del medio sobre la biota. (Arce & Leiva, 2009).

El ICA determina en un solo valor la información de la calidad del agua, con la ayuda de los parámetros fisicoquímicos, que varían según la naturaleza del cuerpo de agua, uso, condiciones climáticas y geológicas de la región.

2.5.1 Índice de calidad de agua (ICA)

El ICA permite determinar la salud relativa de un río, flujo de agua o lago e indica el grado de pureza de la muestra para la fecha de muestreo. Se lo obtiene utilizando 9 parámetros como mínimo, dando a cada uno de estos valores su peso o importancia. Primero se calcula el índice de calidad de agua de cada parámetro, en unidades de concentración; para posteriormente, mediante la ponderación de todos los parámetros, obtener el ICA de cada punto de muestreo. (Rizzardo, 2012).

El índice de calidad del agua está en un rango entre 0 y 100, siendo 0 cuando está altamente contaminada y 100 cuando se encuentra en buenas condiciones.

En lo referente a la aplicación de índices de calidad del agua (ICA), esta es una metodología que aporta información reproducible sobre los atributos del agua y una alternativa para dictaminar un cuerpo de agua sin recurrir a recopilaciones estadísticas de las tendencias, variable por variable y sitio por sitio. Además se han realizado estudios del ICA mayoritariamente en ríos y corrientes, pero se tiene la necesidad de realizar estudios similares en lagunas. Cuando existe un bajo porcentaje de oxígeno disuelto y una escasa biodiversidad de organismos, los índices fisicoquímicos van a ser un instrumento más certero para poder determinar el ingreso de agentes fisicoquímicos. (Castillo & Rodríguez, 2008).

El índice de calidad de agua (ICA) permite reconocer problemas de contaminación en un punto determinado, para un intervalo de tiempo específico y permite representar el estado general del agua en función de variables seleccionadas. (Consuelo , 2010) clasifica los datos de campo y de laboratorio de 0 a 1, según sea el orden: muy malo, malo, regular, aceptable, o bueno.

Los índices de calidad de agua pueden incluirse en modelos para la toma de decisiones, son entendibles al público, y deben ser tomados con precaución, en forma crítica y actualizados periódicamente. Su evaluación fisicoquímica tiene como ventajas: cambios temporales detallados y determinación precisa de los contaminantes, y como inconvenientes se pueden contaminar las muestras y tiene un coste elevado. (Reolón., 2010).

Algunas de las variables incluidas en estos índices merecen cuestionamiento, como es el caso de la temperatura, la cual varía de forma natural con la altitud y épocas del año.

La principal falencia del ICA, es que se concentra en un único valor de calidad de un cuerpo de agua, lo que produce gran pérdida de información y enmascaramiento de las condiciones reales del sistema.

Metodología de cálculo:

La ecuación aplicada para el cálculo de ICA es la siguiente:

Ecuación 1.

Ecuación del Índice de Calidad de Agua (ICA)

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Ec. (1)

Dónde:

ICA= Índice de Calidad de Agua global

Ii= Índice de Calidad para el parámetro i

Wi= Coeficiente de ponderación del parámetro i

n= Número total de parámetros

Coefficiente de ponderación por parámetro

En la Tabla 3 se indica la importancia o peso de cada parámetro para determinar el Índice de Calidad de Agua Global de un punto de muestreo.

Tabla 3.**Importancia de cada uno de los parámetros fisicoquímicos**

Parámetro	Importancia
pH	1,0
Color	1,0
Turbiedad	0,5
Sólidos Suspendidos	1,0
Conductividad Eléctrica	2,0
Alcalinidad	1,0
Nitrógeno de Nitratos	2,0
Fosfatos totales	2,0
Oxígeno Disuelto	5,0

Fuente: (Reolón., 2010).

En caso de que no exista un dato, se considerará un coeficiente de ponderación nulo para el parámetro al que corresponda en la evaluación del ICA.

Ecuaciones para el cálculo del índice de calidad del agua:

Tabla 4.

Ecuaciones para determinar el ICA de cada parámetro

Parámetro	Ecuación	Observaciones
pH	a. $I_{pH} = 10^{0,2335 pH+0,44}$	a. Si el pH es menor que 6,7
	b. $I_{pH} = 100$	b. Si el pH está entre 6,7 y 7,3
	c. $I_{pH} = 10^{4,22-0,293 pH}$	c. Si el pH es mayor que 7,3
Color	$I_C = 123(C)^{-0,295}$	(C) en unidades de color escala de platino-cobalto
Turbiedad	$I_T = 108(T)^{-0,178}$	(T) turbiedad en unidades de UTJ
Sólidos Suspendidos	$I_{SS} = 265(SS)^{-0,37}$	(SS) Sólidos Suspendidos en mg/l
Conductividad Eléctrica	$I_{CE} = 540(CE)^{-0,379}$	(CE) Conductividad Eléctrica en μ mhos/cm
Alcalinidad	$I_A = 105(A)^{-0,186}$	(A) Alcalinidad en mg/l como $CaCO_3$
Nitratos	$I_{N-NO_3} = 162,2(N - NO_3)^{-0,343}$	(N- NO_3) Nitrógeno de Nitratos en mg/L
Fosfatos totales	$I_{PO_4} = 34,215(PO_4)^{-0,46}$	(PO_4) Fosfatos Totales en mg/L
Oxígeno Disuelto	$I_{OD} = \frac{OD}{OD_{sat}} * 100$	(OD) Oxígeno Disuelto en mg/L y a T. de campo (T_c) ($OxígenoDisuelto$) _{sat} mg/L de saturación $T_{sat} = T_c$

Fuente: (Fundación de Sanidad Nacional de Estados Unidos, 2009)

Criterios de cálculo del ICA

Los criterios de cálculo para cada parámetro son los siguientes:

1. Potencial de hidrógeno.-

Se utilizarán las ecuaciones antes mencionadas en el orden siguiente:

- La primera ecuación para valores de pH menores a 6,7
- La segunda ecuación si el pH se encuentra entre 6,7 y 7,58.
- La tercera ecuación si el pH es mayor a 7,58.

2. Color.-

Si la concentración es menor a 2,018 unidades de Pt-Co, el valor del ICA será igual a 100, caso contrario se utilizará la fórmula anteriormente mencionada.

3. Turbiedad.-

Para concentraciones menores a 1,54 UTJ se asignará un valor de ICA de 100, caso contrario se aplicará la ecuación mencionada anteriormente.

4. Sólidos Suspendidos.-

Para concentraciones menores de 14,144 mg/L se asignará un valor de ICA de 100, caso contrario se aplicará la ecuación de la tabla anterior.

5. Conductividad Eléctrica.-

Si se tiene concentraciones menores a 85,60 $\mu\text{mhos/cm}$, se debe asignar un ICA de 100, de otra manera se utilizará la ecuación antes mencionada en la tabla.

6. Alcalinidad.-

Para concentraciones menores de 1,3 mg/L se asigna un ICA de 100, y si no es el caso, se aplica la ecuación mencionada en la tabla anterior.

7. Nitratos.-

Se asigna un valor de ICA de 100 para concentraciones menores a 4,097 mg/L, caso contrario, aplicar la ecuación correspondiente de la tabla anterior.

8. Fosfatos totales.-

Se asigna un valor de ICA de 100 para concentraciones menores o iguales a 0,0971 mg/L, caso contrario se aplica la ecuación correspondiente de la tabla anterior.

9. Oxígeno disuelto.-

El oxígeno se disuelve en el agua por el contacto de aire con la superficie del agua, hasta alcanzar el punto de saturación a una temperatura determinada. A la temperatura de 0°C el punto de saturación del oxígeno disuelto es de 14,6 ppm y esta concentración disminuye al aumentar la temperatura del agua.

Cuando no se cuente con el dato de la temperatura ambiente, no se podrá realizar el cálculo del oxígeno disuelto y se lo considerará inexistente. (Fundación de Sanidad Nacional de Estados Unidos, 2009)

Para el cálculo correspondiente se debe utilizar la siguiente ecuación:

Ecuación 2.

Ecuación del oxígeno (OD) disuelto respecto a la temperatura

$$\ln(OD) = -13934411 + \left(1.575701 \frac{10^5}{T}\right) - \left(6.642308 \frac{10^7}{T^2}\right) + \left(1.2438 \frac{10^{10}}{T^3}\right) - \left(8.621949 \frac{10^{11}}{T^4}\right) \quad \text{Ec. (2)}$$

Categorías del índice de calidad del agua

El índice de calidad de agua muestra las siguientes categorías (Cuadro 1)

Cuadro 1.

Categorías del índice de calidad de agua

ICA	CRITERIO GENERAL
85 - 100	No Contaminado
70 - 84	Aceptable
50 - 69	Poco Contaminado
30 - 49	Contaminado
0 - 29	Altamente Contaminado

Fuente: (Reolón., 2010).

Relación del ICA con la calidad del agua para la vida acuática

El índice de calidad del agua presenta la siguiente relación con la vida acuática (Cuadro 2)

Cuadro 2.
Puntaje del ICA-L y su relación con la calidad del agua para la vida acuática

ICA – L	Categoría	Descripción de la calidad del agua
86 – 100	Excelente	No presenta peligros para el ecosistema. Es adecuada para el desarrollo de todas las especies.
71 – 85	Buena	Sostiene una alta biodiversidad de vida acuática. Se presentan períodos donde algún indicador muestra peligros para el ecosistema. En este caso, si la situación no mejora en un período breve, se empezaría a ver cambios en la composición del ecosistema.
51 – 70	Regular	Existen signos de contaminación, como aumento en la concentración de nutrimentos. Se observa una reducción de la diversidad en los organismos acuáticos y un desequilibrio en el crecimiento de algas y vegetación acuática.
26 – 50	Mala	Sostiene una baja biodiversidad de vida acuática, principalmente de especies tolerantes. Manifiesta problemas con fuentes de contaminación, puntuales y no puntuales.
0 – 25	Pésima	Posibilita el crecimiento de poblaciones elevadas de un limitado número de organismos resistentes a aguas muy contaminadas.

Fuente: (Castillo & Rodríguez, 2008)

2.6 Parámetros fisicoquímicos

La presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua, que puede ser de origen natural o antropogénico, define su composición física y química. (Bellostas, 2011).

2.6.1 pH

El pH indica si el agua es ácida o básica, según su temperatura. (Aguinaga, 1996).

El pH sirve como un indicador que compara algunos de los iones más solubles en el agua. El resultado de una medición de pH viene determinado por una consideración entre el número de protones y el número de iones hidroxilo. El pH del agua puede variar entre 0 y 14. Cuando el pH de una sustancia es mayor de 7, es una sustancia básica, mientras que cuando el pH de una sustancia está por debajo de 7, es una sustancia ácida. (Lenntech, 2012).

El pH expresa la intensidad de un ácido, dependiendo de su capacidad de disociación, así como de su concentración. Entre los factores que afectan el pH de un cuerpo de agua natural, en el caso de las aguas oceánicas, el pH varía entre 8,1 y 8,3. El pH de lagos alcalinos puede tener valores mayores a 10 y 11 unidades, mientras que en ciénagas y pantanos, este puede ser menor a 4. Además el rango de pH en los cuerpos de agua interiores se extiende de 6 a 9, controlado por el sistema de ácido carbónico, por lo que las fuentes de CO₂ en aguas naturales tienen un impacto sobre el pH. (Massol. A. , 1994)

2.6.2 Conductividad eléctrica

La conductividad es la medida de la capacidad de una solución acuosa para conducir una corriente eléctrica y depende de la presencia de iones; de su concentración total, de la movilidad, de la valencia; y de la temperatura. Generalmente los compuestos inorgánicos son buenos conductores, mientras que los compuestos orgánicos son malos conductores. (APHA, 1992). La medida de conductividad de un cuerpo de agua es un parámetro importante en limnología, ya que permite conocer acerca del metabolismo de un ecosistema acuático. Además, altas diversidades de especies corresponden, generalmente a bajas conductividades y viceversa. A continuación se tienen los valores habituales de conductividad (Tabla 5) (Roldán & Ramírez, 2008).

Tabla 5.
Valores habituales de conductividad

Contenido iónico	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Bajo contenido iónico	Menor a 50
Fuertemente mineralizadas	500 – 2000

Fuente: (Roldán & Ramírez, 2008).

Los iones más responsables de la conductividad son los macronutrientes. La variación diaria de la conductividad proporciona información acerca de la productividad primaria y descomposición de materia orgánica; la detección de fuentes de contaminación; la naturaleza geoquímica del terreno (Roldán & Ramírez, 2008).

2.6.3 Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales se definen de la siguiente manera:

- **Sólidos Suspendidos Totales.-** Son los materiales retenidos por un filtro estándar de fibra de vidrio y secado a 103-105°C
- **Sólidos Suspendidos Fijos.-** Son los residuos resultantes luego de calcinar a 550 +/- 50 °C la muestra retenida en el filtro.
- **Sólidos Suspendidos Volátiles.-** Corresponden a los compuestos perdidos durante la calcinación a 550 +/- 50°C de la muestra retenida en el filtro. Se determinan por diferencia de peso entre sólidos suspendidos totales y fijos (Aguinaga, 1996).

2.6.4 Oxígeno Disuelto (OD)

Los niveles de oxígeno disuelto (OD) en las aguas naturales y residuales dependen de las actividades físicas, químicas y bioquímicas en el cuerpo de agua. El oxígeno disuelto (OD) es muy importante para el tratamiento de aguas. (APHA, 1992 (4500 O)). La determinación de oxígeno disuelto (OD) es el factor que determina la existencia de condiciones aerobias o anaerobias en un medio particular. Además el

oxígeno disuelto se presenta en cantidades variables y bajas en el agua y disminuye con la temperatura. (Juárez, Franco, & Ascencio, 2009) (Figura 19)

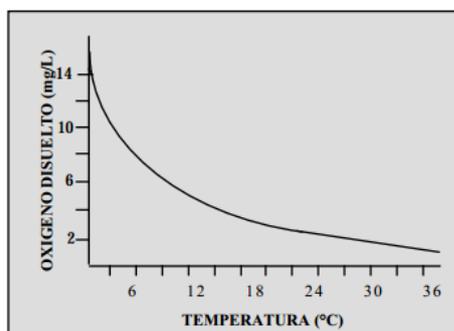


Figura 19. Efecto de la temperatura sobre las concentraciones de oxígeno disuelto en agua. (Horne & Goldman, 1994).

El oxígeno disuelto es esencial para el mantenimiento de lagos y ríos saludables, siendo su presencia, un indicador de que no existe contaminación y este es muy importante para mantener la vida acuática en los cuerpos de agua. (Arce & Leiva, 2009).

La entrada de oxígeno en cuerpos de agua, se da por el intercambio gaseoso en la superficie del agua, la producción fotosintética y el consumo respiratorio de organismos acuáticos y por procesos físicos de difusión y advección, es un requisito nutricional importante para los organismos debido a su dependencia en la respiración aerobia para la generación de energía. También es importante en los procesos de descomposición de materia orgánica. Además, la mayor parte del oxígeno lacustre de otros cuerpos lóticos proviene de la actividad fotosintética. (Horne & Goldman, 1994).

Determinación de Oxígeno Disuelto por el Método Winkler:

Consiste en la adición de una solución de sulfato manganoso ($MnSO_4$) a una muestra de agua, seguida de la adición de una base fuerte, como el yoduro de potasio

alcalino, con lo que se genera un precipitado de hidróxido manganoso. El oxígeno disuelto en la muestra oxida una cantidad equivalente del hidróxido manganoso a hidróxido mangánico. Luego en la presencia de iones de yoduro y la acidificación de la muestra con ácido sulfúrico, el manganeso oxidado revierte al estado divalente, liberando al mismo tiempo una cantidad de yodo equivalente al contenido original de oxígeno disuelto en la muestra y posteriormente se cuantifica el yodo liberado a través de una titulación con tiosulfato (Massol A. , 1994)

Finalmente, el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto se utiliza para describir cualitativamente la calidad de cuerpos de agua. (Tabla 6).

Tabla 6.
Calidad del agua en función del porcentaje de saturación de oxígeno

Calidad	% de Saturación de Oxígeno
Buena	90
Regular	89 – 75
Dudosa	74 – 50
Contaminada	< 50

Fuente: (Massol A. , 1994)

2.6.5 Alcalinidad

La alcalinidad del agua es la capacidad para neutralizar un ácido. Se debe a los aniones bicarbonato, carbonatos e hidróxidos. La alcalinidad a la fenolftaleína es la correspondiente a los iones hidróxidos más la mitad de la concentración de los iones carbonatos. (Aguinaga, 1996). Además, la alcalinidad no solo representa el principal sistema amortiguador del agua dulce, sino también desempeña un rol principal en la productividad de cuerpos de agua naturales, también históricamente la alcalinidad ha sido utilizada como un indicador de la productividad de lagos, en donde los niveles de alcalinidad altos indican una productividad alta y viceversa. (Tabla 7) (Massol. A. , 1994)

Tabla 7.
Rangos de alcalinidad

Rango	Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)
Baja	< 75
Media	75 - 150
Alta	> 150

Fuente: (Massol. A. , 1994)

Es importante también mencionar que la disponibilidad del carbono es mayor en lagos alcalinos y también las rocas sedimentarias que contienen carbonatos, a menudo contienen también concentraciones muy altas de nitrógeno y fósforo. También cabe mencionar que los carbonatos y bicarbonatos presentes en cuerpos naturales de agua dulce se originan generalmente del desgaste y disolución de rocas en la cuenca que contienen carbonatos tales como la piedra caliza. (Massol. A. , 1994)

Titulación

La alcalinidad se expresa como alcalinidad de fenolftaleína o alcalinidad total. Ambas formas se determinan por titulación con ácido sulfúrico y un cambio de color por un indicador da el punto final. La titulación se hace en dos fases: alcalinidad de fenolftaleína, hasta un pH de 8,3 y alcalinidad total, hasta un pH de 4,5 utilizando anaranjado de metilo o verde de bromocresol como indicador. (Figura 20) (Massol. A. , 1994)

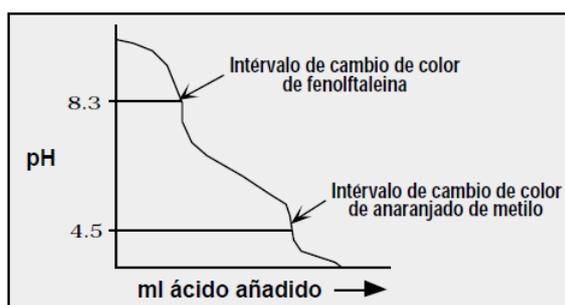


Figura 20. Titulación de agua para determinar alcalinidad de fenolftaleína y alcalinidad total (Massol. A. , 1994)

La alcalinidad total brinda una caracterización general del agua de una manera más aproximada que otros parámetros, debido a la relación con otras características generales como la conductividad, la concentración de calcio y el pH. Un pH alto puede indicar una alta alcalinidad. (Roldán & Ramírez, 2008).

2.6.6 Nitrógeno

El nitrógeno es esencial para todos los organismos; es parte fundamental de moléculas como proteínas y ácidos nucleicos y es un nutriente indispensable en el crecimiento de organismos fotosintéticos (Figura 21) (Ambientum., 2002).

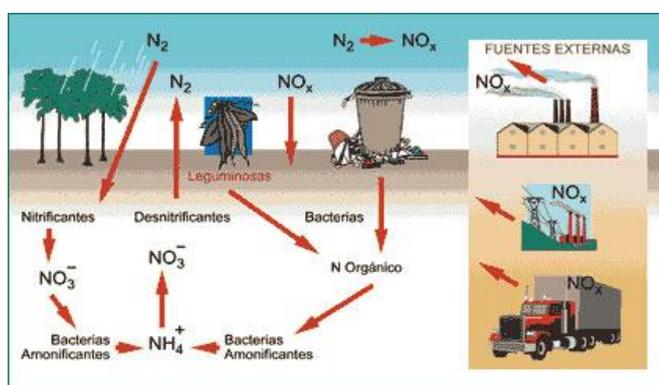


Figura 21. Ciclo del nitrógeno (Ambientum., 2002).

El nitrógeno presente en el medio acuático puede existir en cuatro formas diferentes: nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, compuestos en forma de nitritos y compuestos en forma de nitratos. (Ambientum., 2002).

El nitrógeno es un nutriente importante para el desarrollo de los animales y las plantas acuáticas, y en el agua se lo encuentra formando amoníaco, nitratos y nitritos. (Barrenechea , 2004).

2.6.6.1 Ciclo del Nitrógeno

Los procesos de transformación química que intervienen en el ciclo del nitrógeno son varios: fijación o reducción de nitrógeno molecular a amoníaco, asimilación de amoníaco, nitrificación, reducción disimilativa de nitrato, reducción asimilativa de nitrato y amonificación (Massol A. , 1994).

2.6.6.2 Nitrificación

El proceso de nitrificación ocurre en dos etapas: comienza con la oxidación del amoníaco a nitritos, seguido de la oxidación del nitrito a nitrato. En cada una de estas etapas intervienen diferentes poblaciones de bacterias quimiolitotróficas. La oxidación de amoníaco a nitrito es mediada principalmente por bacterias del género Nitrosomas, mientras que en la oxidación de nitrito a nitrato intervienen frecuentemente bacterias del género Nitrobacter. (Massol A. , 1994).

2.6.6.3 Nitritos

El nitrito presente en el agua se determina por diazotación con sulfanilamida y copulación con clorhidrato de N-(1-naftil)-etiendiamina, para formar un colorante azoico de gran intensidad que se mide espectrofotométricamente a una longitud de onda de 540 nm. (EcuRed., 2014) (EcuRed ., 2014)

El anión NO_2 es incoloro y débilmente básico. Además es reductor y oxidante.

Todos los nitritos son solubles en el agua. Debido a esta ausencia de compuestos insolubles, el nitrito carece de reacciones de precipitación, y la mayoría de las utilizadas para su identificación se basan en procesos rédox o en la propiedad del ácido nitroso de reaccionar con aminas primarias aromáticas, originando diazocompuestos, que asimismo se copulan con aminas dando colorantes. (Buriel, Lucena, & Arribas, 1983). Además se transforman naturalmente a partir de los nitratos, ya sea por oxidación bacteriana incompleta del nitrógeno en los sistemas acuáticos y terrestres o por reducción bacteriana. Los nitritos son menos estables que los nitratos y actúan como agentes oxidantes y reductores, por lo que solo se los encuentra en cantidades apreciables en condiciones de baja oxigenación. Es difícil encontrar nitritos en aguas tratadas debido a que se oxidan fácilmente y se convierten en nitratos durante la cloración. La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece un valor guía provisional de 3 mg/L, mientras que el Canadá recomienda un máximo de 1 mg/L. (Barrenechea., 2008).

2.6.6.4 Nitratos

La concentración de nitratos es de gran importancia tanto para humanos como para animales. Los nitratos provenientes de las actividades humanas incluyen: la escorrentía de terrenos cultivados, efluentes de lagunas y tanques sépticos, fertilización excesiva con nitrógeno, deforestación y el cambio en la materia orgánica del suelo como resultado de la rotación de cultivos. (Pacheco, 2003).

Fuentes Naturales:

Las pequeñas cantidades de nitrógeno que contienen las rocas ígneas pueden proporcionar algún nitrato a las aguas naturales en el proceso de meteorización. Todos los compuestos del nitrato son altamente solubles en agua. También existen en forma natural en algunos alimentos, particularmente en los vegetales y en las aguas

superficiales y subterráneas se derivan de la descomposición natural, por microorganismos, de materiales nitrogenados orgánicos como las proteínas de las plantas, animales y excretas de animales. (Pacheco, 2003).

Fuentes Artificiales

Como fuentes artificiales se tienen dos: los fertilizantes, los cuales son naturales orgánicos y químicos; y las excretas animales, las cuales son susceptibles a convertirse en nitritos y posteriormente en nitratos (Pacheco, 2003).

A continuación se tiene la clasificación de las aguas superficiales en función de los nitratos (Tabla 8)

Tabla 8.

Clasificación de las aguas superficiales en función de la concentración de nitratos

Calidad de Aguas Superficiales	Rangos de Valores NO₃ (mg/l)
No afectada o contaminada	0 – 25
Ligeramente afectada o contaminada	25 – 50
Afectada o contaminada	> 50

Fuente: (Otero, 2011)

El nitrato es un anión incoloro, neutro, correspondiente al ácido fuerte HNO₃, es soluble en el agua y es un ácido muy oxidante. (Buriel, Lucena, & Arribas, 1983).

2.6.7 Sulfatos

Los sulfatos se encuentran en casi todas las aguas naturales y son los principales constituyentes disueltos de la lluvia. Una alta concentración de sulfato en agua potable tiene un efecto laxativo cuando se combina con calcio y magnesio, que son los dos

componentes más comunes de la dureza. Las bacterias, que atacan y reducen los sulfatos, hacen que se forme sulfuro de hidrógeno gas (H_2S). El nivel máximo de sulfato sugerido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en las Directrices para la Calidad del Agua Potable, que se establecieron en Génova, (1993), es de 500 mg/L. Las directrices de la Unión Europea son más recientes, 1998, completas y estrictas que las de la Organización Mundial de la Salud (OMS), sugiriendo un máximo de 250 mg/L de sulfato en el agua destinada al consumo humano (Lenntech., 2012).

Los sulfatos son incoloros, neutros y procedentes del ácido sulfúrico fuerte (H_2SO_4). Estos son ácidos de gran importancia industrial, y al disolverlo en agua se produce gran desprendimiento de calor que incluso puede llegar a hacer hervir la disolución con peligro de proyección del ácido, que es sumamente cáustico. (Buriel, Lucena, & Arribas, 1983).

2.6.8 Fosfatos

El fósforo forma la base de muchos compuestos, como los fosfatos, los cuales se basan en átomos de fósforo rodeados por átomos de oxígeno (PO_4^{3-}). Actualmente casi todo el fósforo utilizado en el comercio se encuentra en forma de fosfatos. (Lenntech .. , 2012).

Las especies químicas de fósforo más comunes en el agua son los ortofosfatos y los fosfatos orgánicos, los cuales pueden estar solubles como partículas de detritos o en los cuerpos de los organismos acuáticos. Los fosfatos son nutrientes de la vida acuática y limitantes del crecimiento de las plantas, pero su presencia está asociada a la eutrofización de las aguas, con problemas de crecimiento de algas indeseables en embalses y lagos, con acumulación de sedimentos, entre otros. Es importante tomar en cuenta que la fuente principal de los fosfatos orgánicos son los procesos biológicos, que pueden generarse a partir de los ortofosfatos. (Barrenechea., 2008).

A continuación se presenta una tabla que muestra el estado del agua en función de la concentración de fósforo total (Tabla 9).

Tabla 9.**Estado del agua en función de la concentración de fósforo total**

Calidad de Aguas Superficiales	Fósforo (mg/l)
No contaminadas	0,01 – 0,09
Poco contaminadas	0,1 – 0,9
Muy contaminadas	≥1,0

Fuente: (Massol A., 1994)

2.6.9 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) es la medida de oxígeno equivalente a la materia orgánica susceptible a ser oxidada por un oxidante químico fuerte, en condiciones específicas de temperatura y tiempo. (Aguinaga, 1996). Lo deseable es que las fuentes de agua cruda no presenten una carga orgánica elevada. (Barrenechea., 2008). En contraposición a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), con la Demanda Química de Oxígeno (DQO) prácticamente todos los compuestos son oxidados. (Lenntech. , 2012).

2.6.10 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es la cantidad de oxígeno consumida para la degradación bioquímica de la materia orgánica contenida en la muestra, durante un intervalo de tiempo específico y a una temperatura determinada. (Aguinaga, 1996). Esta demanda es ejercida por las sustancias carbonadas, las nitrogenadas y ciertos compuestos químicos reductores. Su cálculo se efectúa mediante la determinación del contenido inicial de oxígeno de una muestra dada y lo que queda después de cinco días en otra muestra semejante, conservada en un frasco cerrado a 20°C y la diferencia entre los dos contenidos corresponde a la DBO₅. (Barrenechea., 2008)

A continuación una tabla en la que se menciona la clasificación de la calidad del agua en función de los valores de DBO. (Tabla 10).

Tabla 10.**Clasificación de la calidad del agua en función de los valores de DBO₅**

Pureza del Agua	DBO ₅
Aguas muy puras	< 3 ppm O ₂
Aguas de pureza intermedia	3 – 5 ppm O ₂
Agua contaminada	> 8 ppm O ₂
Aguas residuales urbanas	100 – 400 ppm O ₂

Fuente: (Massol A. ,, 2010)

2.6.11 Relación entre DBO₅ y DQO

La relación entre DBO₅ y DQO da una idea de la naturaleza de los contaminantes existentes en el agua (tipo de vertido, orgánico o inorgánico) y su posibilidad de depuración:

- Si la relación DBO₅/DQO es menor que 0,2, esto indica la presencia de contaminación de naturaleza orgánica no biodegradable.
- En cambio si la relación DBO₅/DQO es mayor que 0,6, indica la presencia de contaminación orgánica de naturaleza biodegradable. (Otero, 2011).

2.6.12 Turbidez

Es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Mide la claridad del agua y cuántos sólidos hay en suspensión en la misma, por lo que mientras más sucia está, más alta será la turbidez (Figura 22). (Gonzales, 2011).

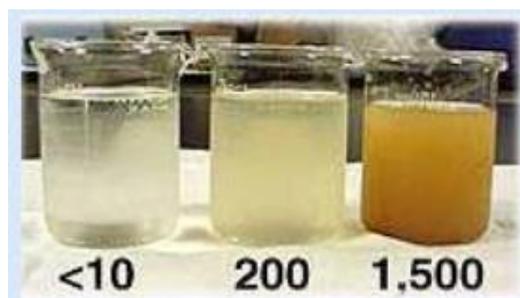


Figura 22. Diversos valores de turbidez (Gonzales, 2011)

Los valores de turbiedad van desde cero, en agua pura, hasta varios miles en ríos muy turbios. Las medidas de turbidez han recibido más atención de los ingenieros que de los limnólogos. Su principal responsable son los sólidos en suspensión, que varían su rango de tamaño desde material coloidal a dispersores gruesos. En lagos y otras aguas quietas, la mayoría de la turbiedad se deberá a dispersores coloidales y a otros extremadamente finos. (Roldán & Ramírez, 2008). La turbidez puede impactar los ecosistemas acuáticos al afectar la fotosíntesis, debido a que limita el paso de la luz solar, la respiración y la reproducción de la vida acuática. Además se la considera una buena medida de la calidad del agua. Los principales parámetros que influyen en la turbidez son: fitoplancton, partículas de suelo suspendidas en el agua de la erosión, sedimentos depositados en el fondo, descargas directas a cuerpos de agua, crecimiento de las algas y la escorrentía urbana. El principal efecto de la turbidez es la sedimentación, en la cual las partículas se depositan en el fondo de los cuerpos de agua, y su principal impacto es estético, debido a que un agua turbia es de mal aspecto, debido a que está sucia. (Gonzales, 2011).

La siguiente tabla presenta la calidad del agua en función del índice de turbidez (Tabla 11)

Tabla 11.

Calidad del agua en función del índice de turbidez

Calidad del Agua	Índices de Turbidez
Aguas transparentes	< 1 UNT
Aguas algo turbias	1 – 5 UNT
Aguas turbias	> 5 UNT

Fuente: (Massol A. ,, 2010)

2.6.13 Color

El término color es usado para referirse al color verdadero, es decir, el color del agua del que se ha eliminado la turbidez. El término color aparente incluye no solo el color debido a las sustancias en la solución, sino también debido a los sólidos en suspensión. Este se determina en la muestra original sin filtración o centrifugación. (APHA, 1992). Los lagos de regiones que contienen abundante roca cálcica presentan un color verdoso, lagos volcánicos, uno amarillento por el azufre y lagos en regiones de rocas férricas un tinte rojizo, los lagos altamente productivos o eutróficos presentan colores amarillentos, azul-grisáceos o pardos; los menos productivos u oligotróficos, tienen colores azulados o verdosos. Desde el punto de vista limnológico, el agua presenta un color verdadero producido por sustancias en solución o materiales en estado coloidal. Por esta razón, se considera que el principal responsable del color son los sólidos disueltos. El color aparente del agua se debe al resultado de la acción de la luz sobre los materiales particulados suspendidos. Con el fin de determinar su color verdadero, debe filtrarse o centrifugarse para liberarla de las fuentes que le dan el color aparente. Pero los responsables definitivos del color son, los sólidos disueltos, originados en la descomposición natural de la materia orgánica, el hierro y el manganeso y residuos industriales. (Roldán & Ramírez, 2008).

2.6.14 Temperatura

La determinación de la temperatura es importante para varios procesos de tratamiento y análisis de laboratorio. Por ejemplo, el grado de saturación de oxígeno disuelto, la actividad biológica y el valor de saturación con carbonato de calcio se relacionan con la temperatura. (Barona, 2009). Además afecta las características físicas, químicas y biológicas de un cuerpo de agua, por lo que se puede afectar la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, la velocidad de fotosíntesis de algas y plantas acuáticas, la velocidad metabólica de organismos y la sensibilidad de organismos a desechos tóxicos, parásitos y enfermedades. (Arce & Leiva, 2009). En los ecosistemas acuáticos de las zonas templadas se forma la llamada termoclina estacional durante el período de sequía, que se basa en la formación de un gradiente o descenso acusado de

temperatura entre los 10 y 150 m de profundidad (Figura 23), mientras que en el período de lluvia, se produce una mezcla de la columna de agua, desaparece la termoclina estacional y se permite la resuspensión de materiales del fondo, así como la oxigenación de las aguas más profundas.

No en todos los lagos se experimentan cambios estacionales en la estratificación, por lo cual este fenómeno no es característico de todas las masas de agua. Por ejemplo los lagos y charcas someras pueden presentar procesos de estratificación de corta duración, mientras que en otros tipos de lagos puede existir estratificación aunque no se forma una termoclina. (Smith & Smith, 2006).

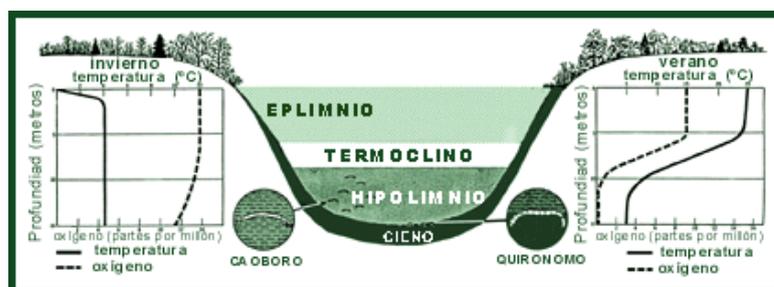


Figura 23. Estratificación termal en cuerpos de agua (Profin, 2013)

2.7 Toma de muestras y conservación

2.7.1 Introducción

El muestreo de agua es una actividad dirigida a la recolección de una pequeña porción de ésta, que represente exactamente la calidad de la masa de agua en el lugar y en el momento de obtención de la muestra. La recolección de la muestra representativa constituye uno de los elementos fundamentales de un programa de control de calidad analítica a fin de obtener datos reales de las características físicas, químicas y microbiológicas de los cuerpos de agua. (Bolívar, 2011).

El objetivo de la toma de muestras es la obtención de una porción de material cuyo volumen sea lo suficientemente pequeño como para que pueda ser transportado con facilidad y manipulado en el laboratorio. (APHA, 1992). Además las muestras que se

obtienen deben ser válidas y representativas, ya que esto permitirá tener garantía de calidad en los resultados obtenidos. (CIDTA. , 2012).

2.7.2 Sistema de toma de muestras

El sistema de toma de muestras variará según el origen del agua. En el caso de un lago, se debe escoger varios puntos de toma, y en cada uno de ellos, tomar varias muestras a diferentes profundidades. (Rodier, 2011).

2.7.3 Precauciones generales

Cuando se planifica un muestreo se debe precisar cuál es el objetivo del mismo: análisis físico-químico y/o microbiológico para consumo humano, para riego, entre otros. El muestreo es el primer paso para la determinación de la calidad de una fuente de agua. (INTA, 2011). Este debe realizarse considerando los máximos cuidados. De una buena toma de muestra depende la representatividad de los datos analíticos que se obtendrán en el laboratorio. La toma de muestra no solo involucra el proceso de obtener físicamente la muestra representativa del cuerpo de agua para el análisis, sino también el de caracterizar el ambiente del cual la muestra fue tomada y el manejo de la misma para cumplir con los objetivos propuestos (Bolívar, 2011).

La muestra no debe deteriorarse antes de llegar al laboratorio, por lo que debe estar preservada. Antes de tomar la muestra, se debe lavar dos o tres veces con el agua que se va a recoger. (APHA, 1992). Es necesario conservar las muestras a bajas temperaturas (4°C) para que se conserven en el transporte. (Rodier, 2011).

Cuidados a tener en cuenta en la obtención de muestras procedentes de lagos y reservorios

Para determinar la representatividad de la calidad del agua en embalses se requiere la toma de muestras en más de una posición. Se debe evitar la toma de muestras en lugares donde exista acumulación de sedimentos o de material flotante. Si no se dispone de una lancha, recolectar las muestras lo más lejano de la orilla y anotar esta distancia y la profundidad del punto de muestreo. (Bolívar, 2011).

2.7.4 Técnicas de muestreo

Existen diferentes tipos de muestras: simples, compuestas y en continuo.

Muestras Simples.- Proporcionan información sobre la calidad en un punto y momento dados.

Muestras Compuestas.- Se componen de varias alícuotas espaciadas temporalmente que se adicionan al mismo recipiente. Son utilizadas para el seguimiento de vertidos industriales.

Muestras en Continuo.- Son imprescindibles en procesos a escala industrial, como por ejemplo la determinación de cloro residual libre en el agua potable a la salida de una potabilizadora. (CIDTA. , 2012).

2.7.5 Consideraciones sobre seguridad

En el laboratorio es importante el uso de guantes, gafas y se debe abrir los envases en una campana de gases. (APHA, 1992).

2.7.6 Equipos de muestreo

Un equipo de muestreo puede ser tan simple como una botella de vidrio, metálica o de plástico provista de un tapón, que se llena con el agua objeto del posterior análisis.

Los muestreadores automáticos son útiles en la toma de muestras compuestas.

Estas son las características comunes para cualquier equipo de muestreo. (CIDTA, 2012).

2.8 Toma de muestras

2.8.1 Procedimientos de cadena de vigilancia

La muestra debe estar íntegra desde la toma hasta la emisión de su informe, por lo cual se debe realizar el procedimiento de cadena de vigilancia, para custodiarla y protegerla de posibles falsificaciones. (APHA, 1992).

A continuación se resumen los principales aspectos de la cadena de vigilancia:

2.8.1.1 Etiquetado de la muestra

Para identificar las muestras, pegar al recipiente antes o en el momento de muestreo etiquetas adhesivas en las que se anote, con tinta a prueba de agua, al menos la siguiente información: número de la muestra, nombre del recolector, fecha y hora de muestra, lugar y dirección del sitio de muestreo, técnica de preservación realizada y análisis requerido (Bolívar, 2011)

2.8.1.2 Libro de registro de campo

Debe contener: objeto de la toma, localización del punto donde se ha hecho, nombre y dirección del contacto de campo y productor del material del que se ha hecho la toma, como datos principales. (Anexo 1) (APHA, 1992).

2.8.1.3 Registro de la cadena de vigilancia

Debe contener: el número de la muestra, nombre del que ha hecho la toma, fecha, momento y lugar de la toma y tipo de muestra. (Anexo 2) (APHA, 1992)..

2.8.1.4 Hojas de petición de análisis de la muestra

La muestra debe ir al laboratorio acompañada por una hoja de petición de análisis (APHA, 1992).

2.8.2 Métodos de toma de muestras

Existen dos métodos de toma de muestras: manual y automática (APHA, 1992).

Muestreo Manual.- Generalmente las muestras obtenidas manualmente se aplican para breves períodos de tiempo y están representados por las muestras simples.

Muestreo Automático.- Se realiza por medio de un equipo de bombeo que succiona el agua y la deposita automáticamente en uno o varios envases. (Bolívar, 2011).

2.8.5 Puntos a tener en cuenta para un análisis de agua

- Persona que pide el análisis.
- Causa que motiva la demanda del análisis.
- Nombre del punto de agua.
- Origen del agua e identificación exacta del punto de toma de la muestra.
- Caudal aproximado por minuto o por segundo.
- Tomar la temperatura del agua y la de la atmósfera en el momento de la toma, e indicar las condiciones meteorológicas del momento.
- Precisar los usos para los que fue destinada el agua.
- Ciudad o establecimiento que abastece el agua.
- Fecha y hora de la toma (Rodier, 2011).

2.9 Toma de muestra para análisis físico-químico

Las muestras de agua pueden provenir de fuentes superficiales, como ríos, arroyos, canales, represas, lagos o aljibes; o subterráneas como pozos calzados o de balde, perforaciones, y este aspecto definirá las condiciones de muestreo.

Para tomar una muestra de un lago, se debe sumergir el frasco en el agua, incorporando un peso, con el cuello hacia abajo hasta una profundidad de 15 a 30 cm, destapar y girar el frasco ligeramente permitiendo el llenado y retirarlo cuando no se observe ascenso de burbujas. (INTA, 2011).

2.10 Conservación de las muestras

El análisis debe ser lo más rápido posible con relación a la toma de muestras para garantizar una mínima alteración de la muestra de agua desde su origen hasta el laboratorio de análisis. Para transportar las muestras, estas son llevadas en un recipiente que debe estar herméticamente cerrado (Figura 25)

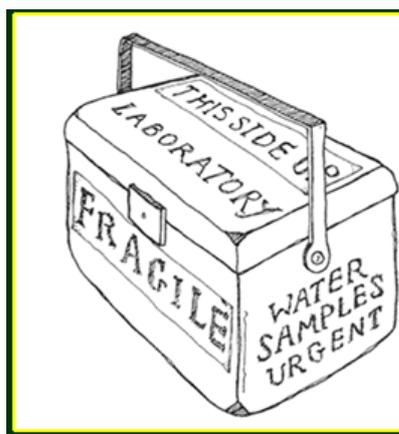


Figura 25. Recipiente para conservación de muestras (CIDTA. , 2012).

2.11 Conceptos Cartográficos

2.11.1 Cartografía

Es la ciencia que se encarga del estudio de la representación de toda la superficie terrestre, o parte de ella, mediante el uso de mapas, planos o cartas y de datos topográficos, geodésicos o fotogramétricos. (Sánchez, n.d.). Es el diseño y producción de mapas, ya sea por un individuo, un cartógrafo, o una institución (Monmonie, 2009).

2.11.1.1 Escala

Expresa la razón de ampliación o reducción entre una distancia en el mapa y una distancia equivalente en el terreno. (Fallas., 2003). En los mapas, la escala puede expresarse de tres modos distintos: en forma de proporción o fracción, como por ejemplo 1:50.000 o 1/50.000; con una escala gráfica, que es un segmento recto en el que se marcan las distancias; o con una expresión en palabras y cifras, como por ejemplo: “1 centímetro representa 100 kilómetros”. (EcuRed ., , 2014). Ejemplos de escala en forma de fracción en la Tabla No. 12 y visualmente, en escala gráfica (en millas) en el Gráfico 1.

Tabla 12.
Tipos de escala en los mapas

Escala	Grande	Mediana	Pequeña
Relación	Desde 1:10.000 a 1:50.000	Desde 1:50.000 a 1:500.000	Desde 1:500.000 a 1:5'000.000
Tipo de Mapa	Ciudades, pueblos, comarcas	Regiones o países no muy extensos	Países grandes, continentes, mapamundis

Fuente: (Lozano , Marcos, & Hart, n.d.)

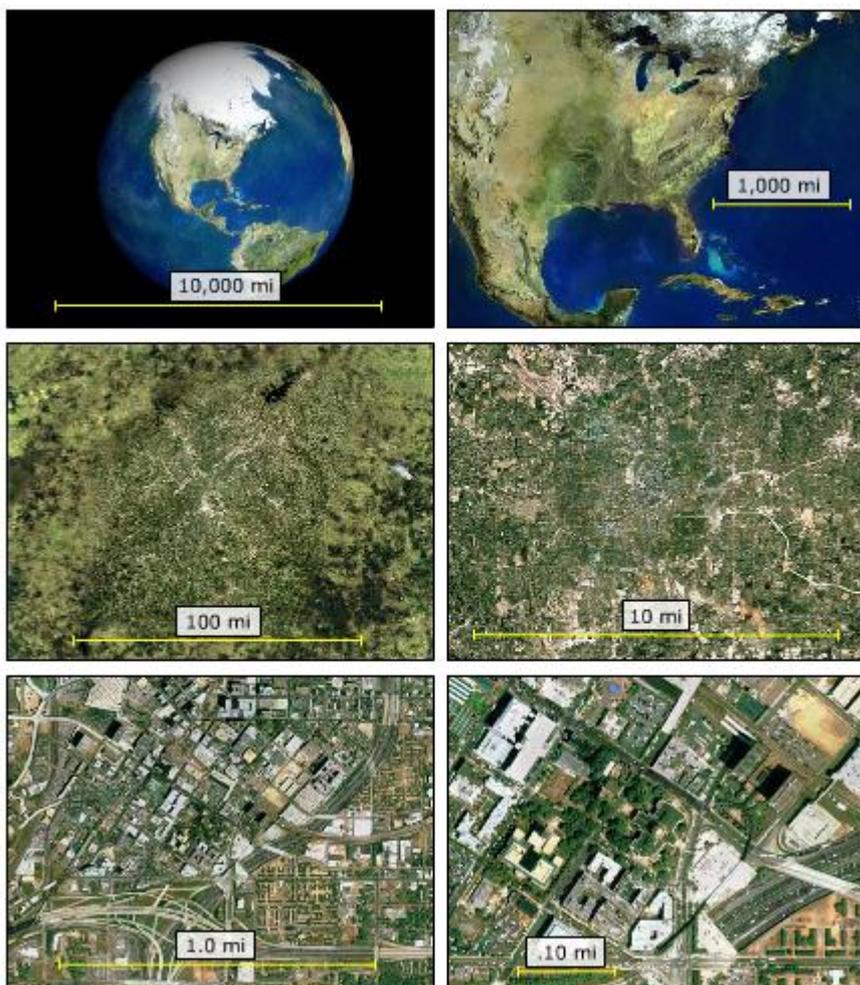


Gráfico 1. Tipos de mapas con su correspondiente escala gráfica

Fuente: (Lozano , Marcos, & Hart, n.d.)

2.11.1.2 Mapa

Es la representación gráfica a una escala reducida de una porción de la superficie terrestre que muestra sólo algunos rasgos o atributos de la realidad. (Fallas., 2003). Las principales características de un mapa son: contienen información general, son de escalas pequeñas, están en un sistema universal de coordenadas, cubren áreas grandes, consideran la curvatura terrestre. (Hansen, n.d.). Los mapas se clasifican según el propósito para el que han sido creados en: mapas topográficos (vías, población, hidrografía, relieve); y mapas temáticos (representan características y fenómenos particulares). (IGN & UPM-LatinGeo (Spain) , n.d.).

2.11.2 Sistemas de referencia GNSS / GPS

Es un conjunto de parámetros que definen un sistema de coordenadas, con relaciones conocidas entre sí y está definido por un sistema de ejes coordenados tridimensionales, elipsoide de revolución o esferoide y datum, que es el origen. (Figura 26 a & b).

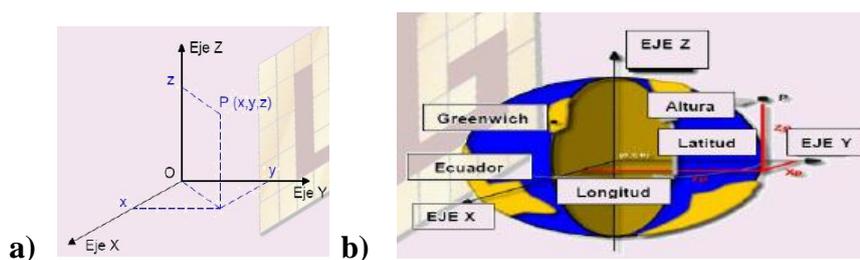


Figura 26. a & b Sistema de referencia geográfico (Laboratorio de Astronomía Geodesia y Cartografía, n.d.)

Los sistemas de referencia más utilizados, conjuntamente con sus elipsoides, tipos de datum y actualidad se presentan en la tabla No. 13:

Tabla 13.
Sistemas de referencia más utilizados

Sistema de Referencia	ITRS	ED50	ETRS89	WGS84
Elipsoide	GRS80	Hayford	GRS80	WGS84
Tipo de Datum	Geocéntrico	Local	Geocéntrico	Geocéntrico
Actualidad	Moderno	Clásico	Moderno	Moderno

Fuente: (Laboratorio de Astronomía Geodesia y Cartografía, n.d.)

2.11.2.1 Marco de Referencia

Es la materialización de un sistema de referencia convencional a través de observaciones. Se trata de un conjunto de puntos con coordenadas y velocidades conocidas en ese sistema de referencia convencional y que sirven para materializar en el espacio el sistema de referencia. (Furones, 2010). Como técnicas de medición para el establecimiento del marco de referencia se tiene: VLBI, SLR, LLR, GPS/GNSS y Doris. (Sánchez, n.d.).

2.11.2.2 Datum

Es un conjunto de parámetros que sirve como referencia para el cálculo de otros parámetros. Además define la posición del origen, la escala y la orientación de los ejes de un sistema de coordenadas. (Junta de Andalucía, 2011). Antes de la era espacial cada país establecía a su conveniencia el datum horizontal para la definición de sus coordenadas. Se utiliza un datum geodésico horizontal para la definición de la posición de varios puntos con fines cartográficos. Las coordenadas de latitud y longitud son horizontales, y la tercera coordenada, la altura (H), se estima a partir del nivel medio del mar para algunos puntos. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2004), mientras que el datum vertical se refiere al punto de referencia en donde intersecan el geoide y el elipsoide que es supuestamente el nivel medio del mar. (Mejía, 2012).

2.11.3 Sistemas de Alturas

2.11.3.1 Altura Nivelada (H)

Distancia vertical medida por el método de nivelación geométrica o trigonométrica entre los datums verticales y el punto de medición, también se la conoce como altura ortométrica. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi , 2004).

2.11.3.2 Altura Ortométrica (H)

Según (Sánchez, n.d.) es la distancia desde el punto considerado hasta el geoide siguiendo la dirección de la línea de la plomada, es utilizada como referencia sobre el nivel medio del mar; y de acuerdo a (Vanicek, 2003), se define como la distancia vertical entre la superficie física de la Tierra y la superficie del geoide.

2.11.3.3 Altura Elipsoidal (h):

Es el valor de altura proveniente del cálculo de la distancia desde el punto considerado hasta el elipsoide de referencia siguiendo la dirección de la vertical geodésica (normal al elipsoide; esta altura es utilizada en los sistemas GNSS y se relaciona con la altura ortométrica mediante la ondulación geoidal (Sánchez, n.d.).

2.11.3.4 Ondulación del Geoide (N):

Es la diferencia de altura entre el geoide y el elipsoide en cada punto. En la Figura No. 27 se puede observar la diferencia entre la altura elipsoidal y la ortométrica (Sánchez, n.d.).

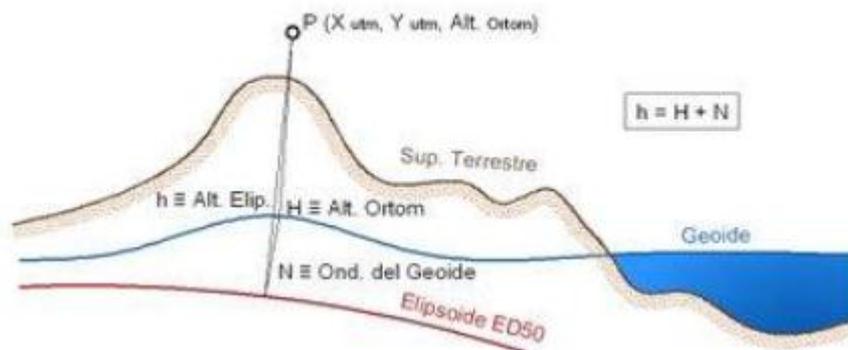


Figura 27. Diferencia entre altura elipsoidal y ortométrica (Sánchez, n.d.).

Para obtener el valor de la ondulación geoidal se puede utilizar el modelo global EGM96 (Earth Gravity Model 1996); así como un programa para la extracción automática de la Ondulación Geoidal (N), llamado NIMA EGM96 Calculator. (Ortiz, 2004).

2.11.4 Global Navigation Satellite System - GNSS

El GNSS (Global Navigation Satellite System), se refiere al conjunto de tecnologías de sistemas de navegación por satélite que dan un posicionamiento geoespacial con cobertura global de manera autónoma. Los sistemas de navegación por satélite tienen una estructura claramente definida, que se divide en tres segmentos distintos: un segmento espacial, de control y de usuarios. No se entiende un GNSS sin alguno de estos tres elementos. (García, 2008). Existen principalmente tres sistemas: el sistema NAVSTAR GPS, que se encuentra en EEUU, tiene 29 satélites, a 20.000 km de altura, con órbitas cuasicirculares, está en operación desde 1995 y se tolera el uso no militar; el sistema GLONASS, que se encuentra en Rusia, tiene 24 satélites, están a una altura aproximada de 25.500 km, tiene órbitas elípticas muy excéntricas, finalmente, el sistema GALILEO, que pertenece a la Unión Europea (UE), tiene 30 satélites y una distancia de 23.600 km, es de origen y control civil, con garantías de

servicio, precisión e integridad, y se encuentra solo en fase inicial de implementación. (Laboratorio de Astronomía Geodesia y Cartografía, n.d.)

2.11.4.1 Navstar GPS

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS), fue puesto en funcionamiento en 1973 y fue desarrollado a partir de la constelación NAVSTAR. (Navigation Satellite Timing and Ranging).

Por razones militares se necesitaba que el sistema tenga cobertura global a cualquier hora del día y funcionamiento, en cualquier punto, ya sea, mar, aire o tierra y el usuario no tenía que emitir señal de ningún tipo para no ser delatada su posición. La constelación es de seis órbitas casi circulares con cuatro satélites por cada una. La altitud de los satélites es de unos 20200 km cuando están en el Zenit del lugar (Leal , 2013). Existen distintos bloques de satélites: el bloque I, que son prototipos iniciales (1978-1985), están fuera de uso, el bloque II / IIA contiene cuatro relojes atómicos: dos de cesio, y dos de rubidio e incorporan una técnica de encriptación, el bloque IIR, poseían osciladores atómicos de hidrógeno y finalmente el bloque IIF, que son los satélites actuales. (Laboratorio de Astronomía Geodesia y Cartografía, n.d.) .

- **Segmentos GPS**

El funcionamiento de un Sistema de Navegación por satélite involucra los distintos segmentos que lo conforman y como se relacionan entre sí: el segmento espacial envía la señal que se recibe en los segmentos de control y usuario; el segmento de control recibe la señal del segmento de espacio, monitoriza y actualiza información enviando correcciones a los satélites y el segmento de usuario recibe información procedente del segmento espacial y calcula su posición. El receptor GNSS mide su distancia de los satélites y usa esa información para calcular su posición. Esta distancia se mide calculando el tiempo que la señal tarda en llegar al receptor (Figura 28) (Laboratorio de Astronomía Geodesia y Cartografía, n.d.).

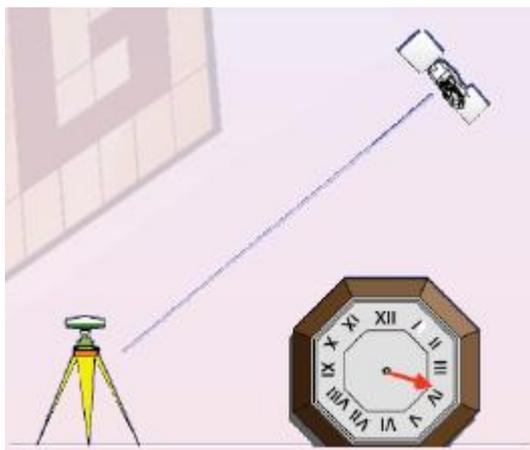


Figura 28. Cálculo de la posición (Laboratorio de Astronomía Geodesia y Cartografía, n.d.).

2.11.4.2 Componentes de la Señal GPS

De acuerdo a (Conejeros, 2004), los osciladores a bordo de los satélites GPS generan una frecuencia fundamental (f_0) con una estabilidad en el rango de 10^{-13} segundos. Dos señales portadoras en la banda L, llamadas L1 y L2, se generan mediante la multiplicación entera con (f_0), de la siguiente forma (Ver Tabla 14).

Tabla 14.
Características de las portadoras L1 y L2

Portadora	Frecuencia	Longitud de onda
L1	$154 * f_0 = 1575,42 \text{ MHz}$	19 cm.
L2	$120 * f_0 = 1227,60 \text{ MHz}$	24,4 cm.

Fuente: (Conejeros, 2004)

Para lograr obtener las lecturas de los relojes, se hace uso de dos códigos, los cuales se caracterizan por contener un ruido pseudo aleatorio (PRN).

El primero de estos es llamado C/A (Coarse acquisition) que posee una longitud de onda de 293 m, mientras que el segundo es el llamado código P (código preciso) y su longitud de onda es de 29 m., y este código impide el acceso a usuarios no autorizados. Las señales portadoras L1 y L2 son moduladas con el código P mientras que el código C/A es modulado solo para la L1. El principal propósito de los códigos es identificar las señales de cada uno de los satélites y de determinar el tiempo de transmisión de la señal, además de restringir el uso de algún elemento del subsistema del usuario. (Conejeros, 2004).

- **Mensaje de Navegación**

Son datos exclusivos de cada satélite y vienen en un registro denominado mensaje de navegación, y consta de la siguiente información: efemérides de los satélites, tiempo del sistema GPS, correcciones a los relojes de los satélites, el almanaque con las posiciones de todos los satélites del sistema GPS, la salud del satélite y el número de identificación del satélite. (Conejeros, 2004) .

2.11.4.3 Fuentes de Error

Según (Correia , 2002), las fuentes de error que afectan a la precisión del GPS son múltiples; algunas son de origen natural, sistemáticas y errores humanos. En la Tabla 15, se aprecian errores característicos introducidos por cada componente.

Tabla 15.**Algunos valores corrientes de las fuentes de error**

Fuentes de error	Error habitual (metros)
SA	24
Ionósfera no modelizada	7
Tropósfera	0,7
Reflexiones parásitas	1,2
Reloj y precisión de los satélites	3,6
Ruido del receptor	1,5
Error debido al satélite (RMS)	En torno a 25 metros

Fuente: (Correia , 2002)

La precisión de la posición depende no solo del error inducido por cada satélite, sino también de la geometría de los satélites; es decir, del modo en que los satélites están repartidos por el cielo. (Correia , 2002)

2.11.4.4 Métodos de Posicionamiento

Para la determinación de posiciones sobre la superficie de la tierra se tienen dos formas de posicionamiento: absoluto y relativo. (Ver Figura 29-31)



Figura 29. Tipos de Posicionamiento GPS (Laboratorio de Astronomía Geodesia y Cartografía modificado por el autor, n.d.)

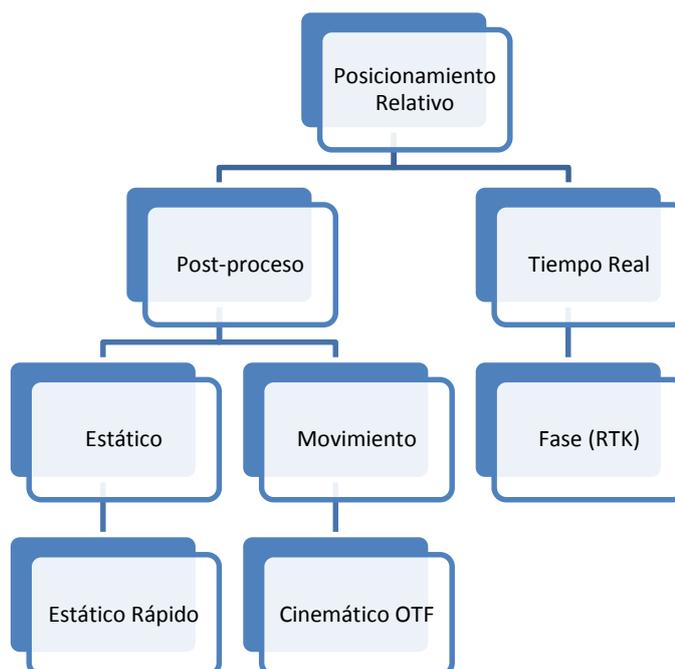


Figura 30. Posicionamiento Relativo (Laboratorio de Astronomía Geodesia y Cartografía modificado por el autor, n.d.)

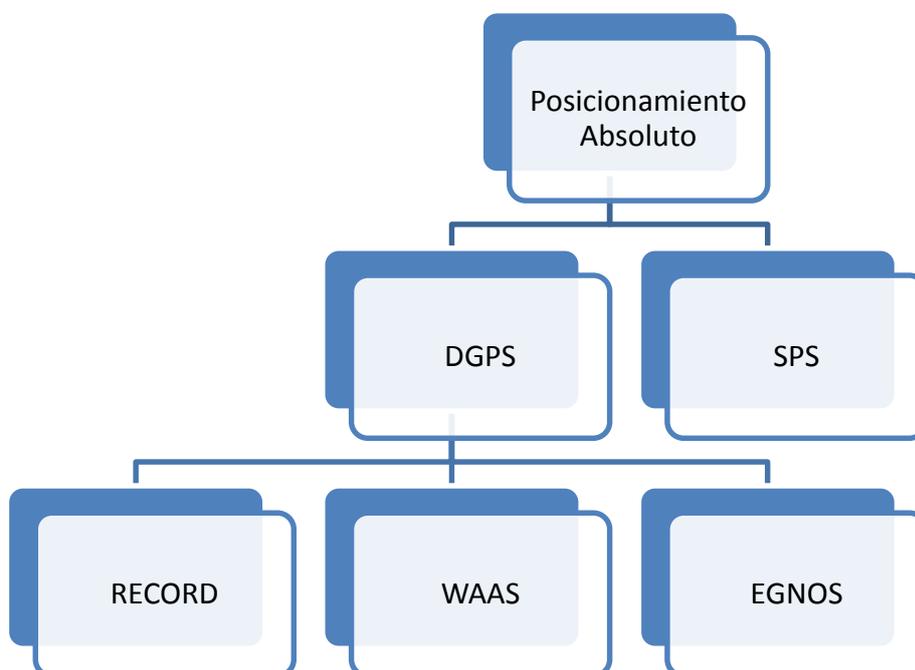


Figura 31. Posicionamiento Absoluto (Laboratorio de Astronomía Geodesia y Cartografía modificado por el autor, n.d.)

2.11.4.5 Posicionamiento Absoluto:

Un posicionamiento es absoluto cuando se calcula la posición del punto utilizando las medidas de pseudodistancia ya sea procedentes del código C/A o P. La precisión variará de 15 a 100 m. Este posicionamiento utilizan los equipos navegadores. Actualmente existen receptores que alcanzan precisiones de 3 a 5 m. en tiempo real. (Peñañiel & Zayas , 2004). La precisión del posicionamiento absoluto depende de la estabilidad de los satélites y receptor, las condiciones de encriptado del código P, la cantidad de ruido existente en la recepción de la señal, la cantidad de canales del receptor, la antigüedad de las efemérides y las condiciones y estabilidad de la ionósfera y tropósfera. (Ghio, 2008). Los resultados obtenidos a través de este método son poco exactos, para poder mejorar la precisión se deben emplear dos o más receptores. (Solis, 2009).

Para calcular la posición se lo realiza a partir de la triangulación de 4 satélites. (Figura 32) (Laboratorio de Astronomía Geodesia y Cartografía, n.d.)



Figura 32. Posicionamiento Absoluto (Laboratorio de Astronomía Geodesia y Cartografía, n.d.)

A continuación en la Tabla 16, se puede apreciar influencias que modifican la precisión de este método.

Tabla 16.**Influencia de las Fuentes de Error en el Posicionamiento Absoluto:**

Fuentes de Error	GPS Autónomo (metros)
Relojes de Satélites	3,0
Errores Orbitales	2,7
Ionósfera	8,2
Tropósfera	1,8
Disponibilidad Selectiva S.A.	30 a 100
Reloj del Receptor	0,3

Fuente: (Ghio, 2008).

2.11.4.6 Posicionamiento Relativo:

En este método se calcula la posición de un receptor móvil a partir de la posición de un fijo de coordenadas ya conocidas (Figura 33).



Figura 33. Posicionamiento relativo (Laboratorio de Astronomía Geodesia y Cartografía, n.d.)

Se logra cuando se calcula la posición de un punto mediante la utilización de dos o más receptores GPS. Se clasifican en el posicionamiento relativo diferencial GPS, con fase portadora, de código y fase:

- **Posicionamiento relativo diferencial GPS (DGPS)**

Se posiciona un equipo GPS en una estación de coordenadas conocidas, el cual conoce la posición de los satélites en el espacio y puede estimar con alta precisión la distancia existente entre él y cada satélite; al dividir esta distancia por la velocidad de la luz, se conoce el tiempo que debería haber tardado, el cual se compara con el tiempo que realmente tardó, esta diferencia es el error de la señal del satélite. Debido a que los satélites están situados a más de 20.000 km, las distancias en la Tierra se hacen mínimas y las señales que llegan a ambos receptores viajan por el mismo sector de la atmósfera; por lo tanto, a ambos receptores les afectarán los mismos errores. (Solis, 2009). El proceso de corrección diferencial consiste en obtener datos satelitales en forma simultánea por dos receptores, uno de los cuales es ubicado en una posición conocida y otro en una posición variable (base y móvil). Las observaciones desde la base son usadas para ajustar la posición del móvil. Para que exista corrección diferencial, el receptor base colecta datos de la totalidad de satélites visibles y el móvil, sólo de parte de la constelación. (Figura 34) (Ghio, 2008).

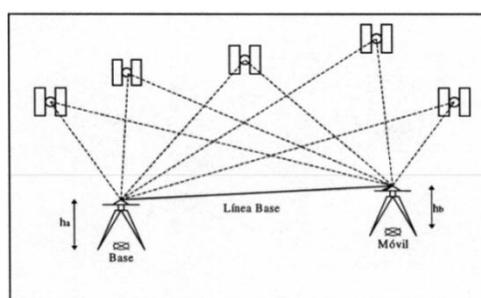


Figura 34. Cálculo de línea base en postproceso (Ghio, 2008).

- **Posicionamiento relativo con fase portadora:**

El posicionamiento relativo con fase portadora es parte del posicionamiento relativo diferencial, y es la observable más precisa, debido a que la longitud de onda de las

portadoras es menor que la del código C/A. El receptor GPS que se encuentra estacionado en un punto de coordenadas conocidas, calcula la distancia por medio del desfase de la onda portadora. La señal de la fase proveniente del satélite es comparada con una señal de referencia generada por el receptor GPS, a partir de este desfase se obtiene una parte de la distancia como parte de la longitud de onda. (Solis, 2009).

- **Posicionamiento relativo de código y fase**

El posicionamiento relativo se clasifica en el de postproceso y en el del tiempo real:

- a) **Postproceso**

Dentro de los métodos de postproceso se tienen los métodos estáticos y los métodos de movimiento.

- b) **Tiempo Real**

Se refiere al método autónomo o absoluto.

- **Métodos de Posicionamiento Relativo o Diferencial**

Existen algunos métodos, como: estático, estático rápido, stop and go, cinemático, RTK y NTRIP.

De estos métodos, solo se describirán: el método estático, el estático rápido y el cinemático:

a) Método Estático:

El error medio cuadrático de una línea-base es de $3\text{mm} \pm 0,5 \text{ ppm}$, siendo estándar para distancias superiores a 20 km. (Peñañiel & Zayas , 2004) No varía su posición durante la etapa de observación. (Laboratorio de Astronomía Geodesia y Cartografía, n.d.) (Ver Figura 35)

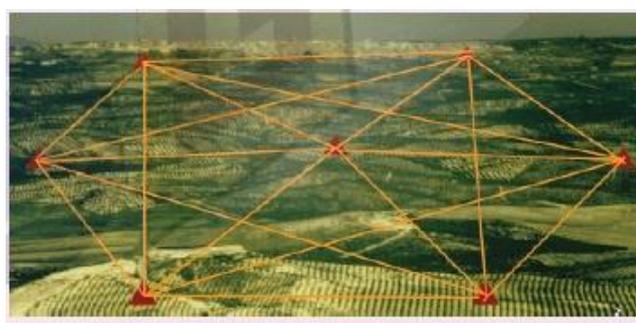


Figura 35. Método estático (Laboratorio de Astronomía Geodesia y Cartografía, n.d.)

b) Método Estático Rápido:

La distancia máxima entre el punto referencia y el móvil es de 20 km. Se introduce una máscara de elevación de 15° y las épocas son de 15 segundos. Se debe tomar en cuenta que los tiempos breves de observación generan una precisión de $5 \text{ a } 10 \text{ mm} \pm 1 \text{ ppm}$ (EMC), mientras que los tiempos de observación son de 5 a 10 minutos para distancias inferiores a 5 km. Y el tiempo de observación depende de los siguientes factores: longitud de la línea-base, número de satélites, geometría de los satélites (GDOP), la ionósfera (disturbios), mes, año y posición sobre la tierra. (Ver Tabla 17). (Peñañiel & Zayas , 2004) .Según (Arbitto, 2012), las aplicaciones del método son: densificación de redes, puntos de control fotogramétrico y medición de linderos.

Tabla 17.**Longitud de la línea base y tiempo de observación en los métodos estático y estático rápido**

No. de satélites GDOP <=8	Longitud de la línea base	T iempo de observación (Día)	Tiempo de observación (Noche)
Estático Rápido			
4 o 5	Menos de 5 km	De 5 a 10 min.	5 min.
4 o 5	De 5 a 10 km	De 10 a 20 min.	De 5 a 10 min.
4 o 5	De 10 a 15 km	Alrededor de 30	De 5 a 20 min.
Estático			
4 o 5	De 15 a 30 km	De 1 a 2 horas	1 hora
4 o 5	Más de 30 km	De 2 a 3 horas	2 horas

Fuente: (Peñañiel & Zayas , 2004)

- **Métodos de Movimiento**

Dentro de este grupo se encuentra el método cinemático, el RTK y el Stop and go. Posteriormente se hablará del método cinemático:

- **Método Cinemático**

En este método el receptor de referencia se coloca en posicionamiento estático, mientras el que se mueve es el receptor móvil. El móvil se inicializará de dos formas, con estático rápido, o partiendo de un punto conocido. (Peñañiel & Zayas , 2004) El período de observación deberá tener tiempos comunes para toda la medición, y es esencial que desde el comienzo hasta el final, ambos receptores registren datos continuos. Este método tiene una tolerancia de un error no superior a 1 metro (RMS), on un PDOP inferior a 5 y con un mínimo de 4 satélites. (Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile., 2005). Se emplea para levantamientos de detalles, cuando los puntos están unos cerca de otros, pero si existen obstrucciones como puentes, árboles o edificios altos, y se rastrean menos de 4 satélites, el equipo se

debe inicializar, lo que toma entre 5 y 10 minutos. (Leica, 1999). La precisión de una línea-base es de 1 a 3 cm + 1 ppm (EMC) en posición y de 2 a 3 cm + 1 ppm en altimetría. Las principales aplicaciones del método son: determinación de la trayectoria de objetos en movimiento, levantamiento de ejes, carreteras y ferrocarriles, medición de perfiles transversales, levantamientos hidrográficos y batimetría.

2.11.4.7 Estaciones de referencia

2.11.4.7.1 Red Pasiva GPS del Ecuador

La red GPS del Ecuador comprende 135 estaciones que fueron observadas durante los años de 1994, 1996 y 1998. (Figura 36) (SIRGAS., 2005).

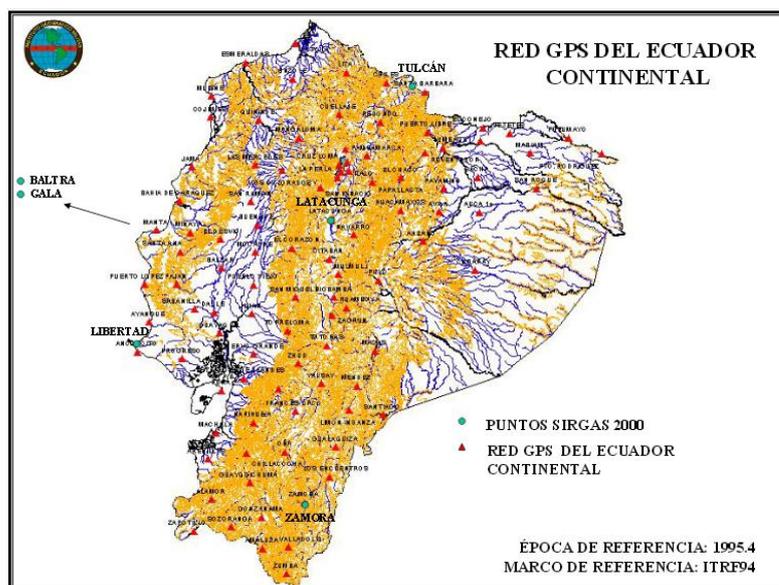


Figura 36. Red GPS del Ecuador (SIRGAS., 2005).

2.11.4.7.2 Red GNSS de Monitoreo Continuo (REGME)

La Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador (REGME), está actualmente conformada por 33 estaciones. La REGME genera archivos diarios de 24 horas en formato RINEX 2.11 (O y N), con un intervalo de grabación de 30 segundos de cada estación y sus correspondientes coordenadas (SIRGAS 95, ITRF 94) contenidas en las fichas técnicas. (Tabla 18). (IGM , 2013)

Tabla 18.
Estaciones de la REGME

Ciudad	Provincia	Estación	Sitio
ESMERALDAS	Esmeraldas	ESMR	Terminal OCP
PUENGASÍ	Pichincha	QUEM	EMAAP-Q
RIOBAMBA	Chimborazo	RIOP	BCB 11 Galápagos
IBARRA	Imbabura	IBEC	Patronato GPI
TULCÁN	Carchi	COEC	Cueva OSOS
TENA	Napo	TENI	GAD Napo
AUCA	Orellana	AUCA	Terminal Petroecuador
SAN LORENZO	Esmeraldas	SNLR	Armada
BAHÍA	Manabí	BAHI	Universidad Católica
JEVO ROCAFUERTE	Orellana	NORE	Hospital Franklin Tello
LOROCACHI	Pastaza	LREC	BS 48 Sangay
MONTALVO	Pastaza	MTEC	BS 49 Capt. Chiriboga
CUENCA	Azuay	CUEC	Etapá
GUAYAQUIL	Guayas	GYEC	IGM Regional
LOJA	Loja	LJEC	UTPL
MACAS	El Oro	MAEC	GADPMS
PORTOVIEJO	Manabí	PTEC	COMIL7 GRAD Miguel Iturralde
QUEVEDO	Los Ríos	QVEC	UTEQ
SANTIAGO	El Oro	STEC	BS 61 Santiago
MACHALA	El Oro	MHEC	GAD El Oro
EL CARMEN	Manabí	ECEC	GAD Carmen
NARANJAL	Guayas	NJEC	GAD Naranjal
EL CHACO	Napo	CHEC	Edificio Gestión Ambiental
GUALAQUIZA	El Oro	GZEC	Municipio Gualaquiza
CELICA	Loja	CLEC	GAD Celica
PALORA	El Oro	PREC	Casa de la Cultura Palora
PALANDA	El Oro	PDEC	Bodegas Municipio
PAJAN	Manabí	PJEC	GAD Paján
SANTA ELENA	Santa Elena	SEEC	Instituto Oceanográfico de la Armada
ALAUŚÍ	Chimborazo	ALEC	GAD Alausí
SAN CRISTOBAL	Galápagos	SCEC	CGREG
QUITO	Pichincha	QUII	IGM Quito
GALÁPAGOS	Galápagos	GLPS	Estación Charles Darwin

Fuente: (REGME. , 2013)

Las coordenadas oficiales de la EMC de Riobamba RIOP pertenecen al ITRF 94, Datum SIRGAS-Ecuador, época de referencia 1995,4 y elipsoide de referencia GRS80. (Tabla 19)

Tabla 19.
Coordenadas oficiales de la estación RIOP

Coordenadas Geodésicas	
Latitud	1° 39' 2,1471'' S
Longitud	78° 39' 3,9856'' W
Altura Elipsoidal	2817,163 m.
Altura Nivelada	2789,945 m.
Coordenadas Planas (UTM 17 Sur)	
Norte:	9817404,627 m.
Este:	761338,827 m.

Fuente: (Amores, 2013)

La altura nivelada está referida al nivel medio del mar, con origen en el mareógrafo de La Libertad.

- **Estación de Monitoreo Continuo Alausí – ALEC**

Está localizada en la Provincia de Chimborazo, en la Ciudad de Alausí. El mojón es un pilar de concreto de 2,00 m. de alto, en el centro se encuentra empotrado el dispositivo de centrado forzoso. Se ubica en la terraza del edificio del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Alausí (Figura 39).



Figura 39. Estación de monitoreo continuo ALEC (Cisneros, 2013)

Las coordenadas oficiales de la EMC de Alausí ALEC pertenecen al ITRF 94, Datum SIRGAS-Ecuador, época de referencia 1995,4 y elipsoide de referencia GRS80. (Tabla 20)

Tabla 20.

Coordenadas oficiales de la estación ALEC

Coordenadas Geodésicas	
Latitud	2° 12' 7,76276'' S
Longitud	78° 50' 50,66235'' W
Altura Elipsoidal	2383,688 m.
Coordenadas Planas (UTM 17 Sur)	
Norte:	9756421,484 m.
Este:	739410,618 m.

Fuente: (Cisneros, 2013)

2.11.5 Formato de transmisión de datos GPS

La información que almacena la estación de referencia debe ser transmitida. Esto se realiza a través de distintos formatos propios de cada fabricante (Solis, 2009). El más usado es el Formato RINEX (Receiver Independent Exchange Format), el cual está compuesto de cuatro tipos de archivos ASCII: los datos de observación, el mensaje de navegación, los datos meteorológicos y el mensaje de navegación GLONASS y cada archivo se compone de una sección de encabezado y una sección de datos. El formato se ha optimizado para las necesidades de espacio mínimo independiente del número de tipos de observaciones diferentes de un receptor específico (Gurtner, 2007). Este formato se creó para solucionar el problema que se genera al querer combinar datos en el post-proceso que proceden de distintos receptores GPS. Por convención la forma que se utiliza para nombrar ficheros RINEX es “ssssdddf.yyt”, en el cual “ssss” representa el nombre de la estación, “ddd” el día del año del primer registro; “f” el número del fichero de secuencia en el día; “yy” y “t” los dos últimos dígitos del año actual y el tipo de fichero, respectivamente. (Jiménez, 2006). Este formato está estandarizado por la Asociación Internacional de Geodesia (IAG), y la gran mayoría de los programas son capaces de trabajar con este tipo de formato (Solis, 2009).

2.11.6 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

2.11.6.1 Definición

Es un “Conjunto integrado de medios y métodos informáticos, capaz de recoger, verificar, almacenar, gestionar, actualizar, manipular, recuperar, transformar, analizar, mostrar y transferir datos espacialmente referidos a la Tierra”. Un SIG debe verse como un modelo del mundo real. Este se compone de datos, hardware, software, recursos humanos y un esquema organizativo. (IGN - CNIG , n.d.).

Un SIG es igual a un panel muy grande con casillas idénticas y abiertas, en el que cada casilla representa una determinada área sobre la superficie de la Tierra. (Ver Figura 40) (OAS, n.d.)

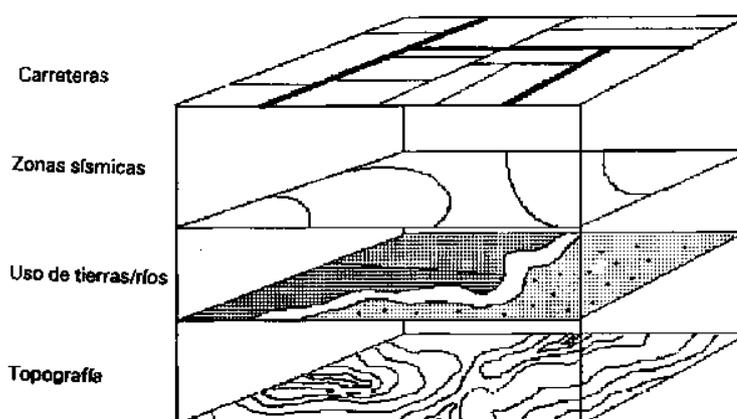


Figura 40. Características de sobreposición de un SIG (OAS, n.d.)

Los datos manejados por un SIG en computadora son ordenados, sea por técnicas de raster o de vectores. Los programas de cómputo SIG basados en vectores, son más complejos que aquellos para sistemas raster. (OAS, n.d.) El SIG tiene que trabajar con ambas partes, con cartografía y bases de datos a la vez. Por ejemplo, un lago que tiene su correspondiente forma geométrica plasmada en un plano, tiene también otros datos asociados como los niveles de contaminación. (Figura 41) (Ortiz., 2002).



Figura 41. Lago con los niveles de contaminación (Ortiz., 2002).

2.11.6.2 Tecnologías de la Información Geográfica (TIG)

Las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) están formadas por un conjunto de técnicas y métodos clásicos y modernos en torno a la Cartografía, la Fotointerpretación o la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica. (Quiroz., 2011).

Según (Carmona & Monsalve , 2008), a los objetos se asocian unos atributos que pueden ser: gráficos y no gráficos o alfanuméricos (Ver Figura 42).

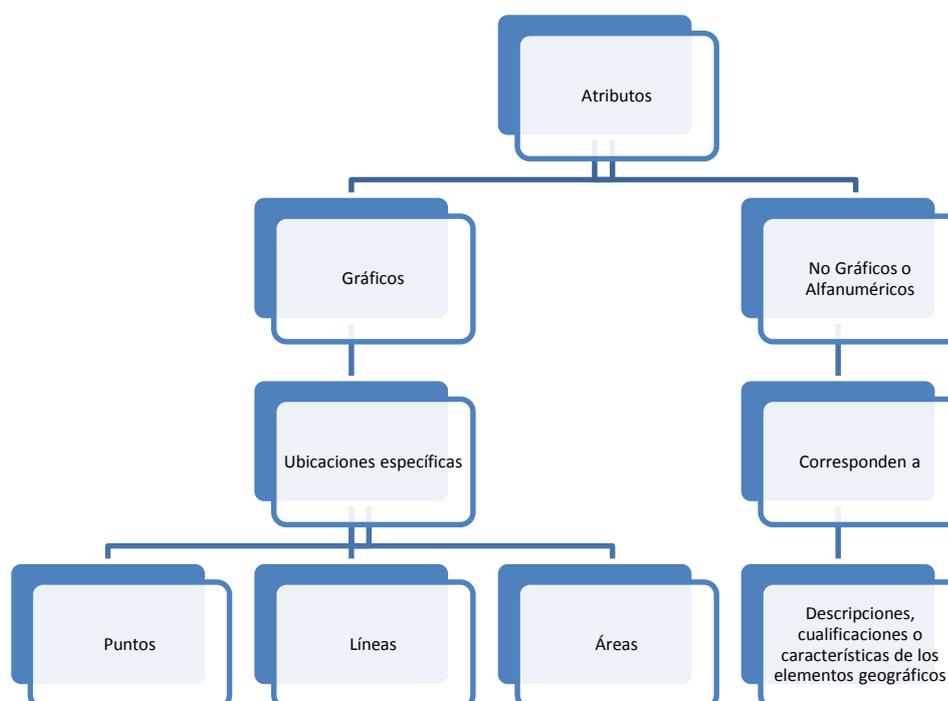


Figura 42. Atributos gráficos y alfanuméricos (Carmona & Monsalve , 2008)

Teledetección.- Es la ciencia y arte de obtener información acerca de la superficie de la Tierra sin entrar en contacto con ella, detectando y grabando la energía emitida o reflejada. (Arbelo, n.d.). Permite el estudio de imágenes de satélite con el fin de obtener datos espaciales sobre un territorio; generar mapas de uso del suelo; obtener modelos digitales del terreno; detectar el estado de conservación de zonas de gran valor natural, estudios espacio-temporales para la recuperación de masas forestales, etc. (Ager ingenieros, irc S.L., 2003).

IDES.- Una IDE (Infraestructura de Datos Espaciales) es un sistema informático integrado por un conjunto de recursos, como catálogos, servidores, programas, datos, etc., dedicados a gestionar información geográfica como: mapas, ortofotos, imágenes de satélite, entre otros; que se encuentran disponibles en Internet y le permiten al usuario utilizarlo a través de un navegador. (IGN - CNIG , n.d.)

2.11.6.3 Funciones de los SIG

Los SIG tiene ciertas funciones según sus componentes (Ver Figura 43) (Carmona & Monsalve , 2008).

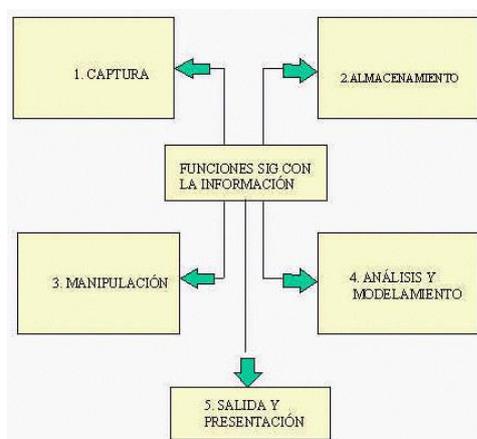


Figura 43. Funciones de un SIG según componentes (Carmona & Monsalve , 2008).

2.11.6.4 Componentes de un SIG

El SIG tiene cinco componentes esenciales: el hardware, el software, los datos, los usuarios y los procedimientos (Ver Figura 44 & 45) (Universidad Nacional de Colombia., n.d.).



Figura 44. Componentes de un SIG (Universidad Nacional de Colombia., n.d.)



Figura 45. Componentes de un SIG (Universidad Nacional de Colombia., n.d.)

2.11.6.5 Sistemas de un SIG

Se lo puede ver en el siguiente diagrama de flujo (Ver Figura 46)



Figura 46. Diagrama de sistemas que ilustra un SIG (FAO , 2006)

2.11.6.6 Aplicaciones generales de los SIG

Se enumeran algunas aplicaciones que tienen los SIG (Ver Figura 47 & 48)



Figura 47. Aplicaciones de los SIG (Ambientum .. , 2010)



Figura 48. Aplicaciones de los SIG (Ambientum .. , 2010)

También tiene aplicaciones en la planificación y gestión urbana (Ver Figura 49), estas aplicaciones de SIG en actividades de manejo urbano periódicas se relacionan con los procesos de control, evaluaciones de sitio y selecciones de sitio. (Figueroa, 1993).



Figura 49. Proyectos de Planeación Urbana (ArquiRED , 2010)

2.11.6.7 Modelo de datos

- **Modelo ráster**

Se fundamenta en la división del área de estudio en una matriz de celdillas cuadradas, cada una de las cuales recibe un único valor representativo para toda la superficie. (Universidad de Murcia, n.d.). (Ver Figura 50)

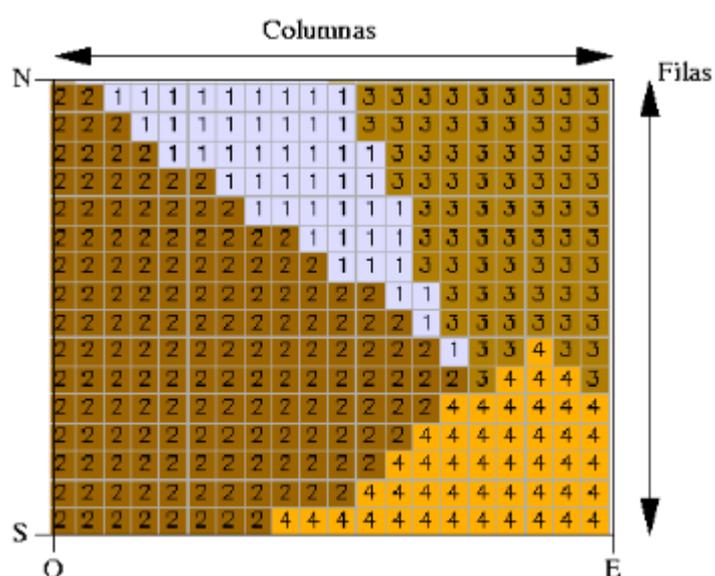


Figura 50. Modelos digitales en formato (Universidad de Murcia modificado por el autor., n.d.)

- **Modelo vectorial**

Define objetos geométricos, como puntos, líneas y polígonos, mediante la codificación explícita de sus coordenadas. Es adecuado para la representación de entidades reales ubicadas en el espacio, como carreteras, ríos, parcelas de cultivo, entre otros. (Universidad de Murcia, n.d.).

2.11.6.8 Base de datos

Una base de datos (BD) es un conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto y almacenados sistemáticamente para su posterior uso. En la actualidad la mayoría de bases de datos están en formato digital. La base de datos geográfica (BDG) es un modelo que permite el almacenamiento físico de la información geográfica, tanto en archivos dentro de un sistema de ficheros o en una colección de tablas en un sistema gestor de base de datos – SGBD (Bravo, 2011). Además, implica pasar del mundo real a una representación simplificada, que se representa en capas, las cuales pueden ser: puntos, líneas y polígonos. (Figura 51) (Ortiz., 2002).

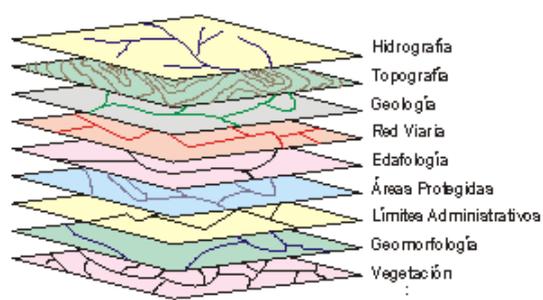


Figura 51. Capas temáticas (Ortiz., 2002).

2.11.6.9 Modelamiento

Un modelo, es la expresión abstracta y visual que resume los procesos de un fenómeno. Los modelos geográficos miden e interrelacionan las variables utilizadas para analizar un territorio determinado y con el resultado obtenido: anticipar, prevenir y mitigar el territorio. (Cortés, 2010).

2.11.6.9.1 Variables discretas y continuas

- **Variable discreta**

Esta variable solo puede tomar ciertos valores muy específicos, como por ejemplo: los seres humanos pueden ser mujeres u hombres; los países o regiones del mundo, entre otros. (Centro Virtual de Aprendizaje , 2012). Otra definición indica que, siendo variables cuantitativas, sólo pueden tomar valores enteros, como por ejemplo: la puntuación obtenida al lanzar un dado, el número de estudiantes de un aula, entre otros. (Vitutor., 2012)

- **Variable continua**

Estas variables solo pueden agruparse en categorías, porque pueden tomar cualquier valor a lo largo de una escala numérica continua, como por ejemplo: la estatura de los habitantes de un país, y las calificaciones de pruebas de estudiantes. Los intervalos pueden ser por ejemplo: 1-20, 21-40, etc. (Centro Virtual de Aprendizaje , 2012).

2.11.6.9.2 Interpolación

Es un método numérico y gráfico que permite estimar datos desconocidos en medio de datos ya conocidos (Villegas, 2012). Predice valores para las celdas de un ráster según los datos muestra, como: elevaciones, precipitaciones, concentraciones químicas y niveles de ruido. Además, la interpolación indica qué tan distribuidos y correlacionados espacialmente se encuentran los objetos. (Figura 52)

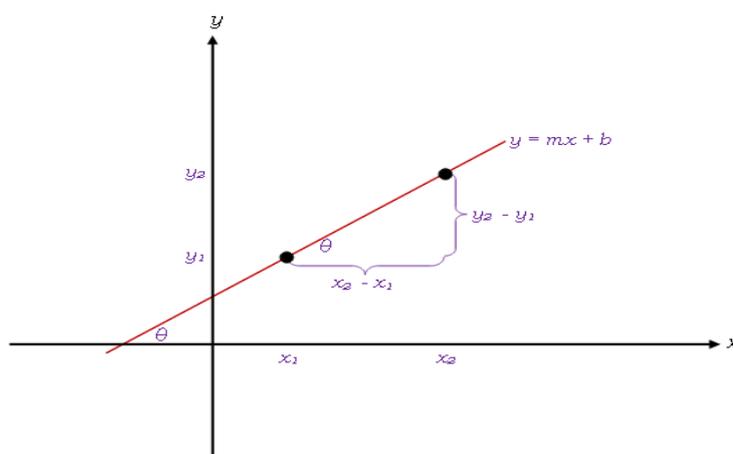


Figura 52. Interpolación (Villegas, 2012).

Existen variados métodos de interpolación que pueden ser divididos en: deterministas y geoestadísticos. (Martínez. R. , 2013)

Proceso Estocástico:

Un proceso estocástico es aquel en el que se representan todos y cada uno de los pasos necesarios para realizar una actividad, además de las formas o maneras en que cada uno de los pasos puede ser llevado a efecto y sus respectivas probabilidades, dicho de otra manera, cualquier proceso en el que se involucren probabilidades es un proceso estocástico. (Instituto Tecnológico de Chihuahua, n.d.).

2.11.6.9.3 Métodos Deterministas:

Determinan la suavidad de la superficie resultante e incluyen: IDW (ponderación de distancia inversa), vecino natural, trend y spline. (Martínez. R. , 2013)

- **Método de Interpolación IDW:**

Asume que la influencia de la variable decrece con la distancia al punto muestra, y crea superficies con más detalle pero de aspecto menos continuo. (Rapallo, n.d.). Establece que las cosas que están más cerca son más parecidas que las que están más lejos. (Jiménez, 2006). Los valores de los puntos cercanos al nodo que se procesa tienen mayor importancia o peso en el valor que será asignado al mismo. Normalmente, la búsqueda se hace considerando un número de puntos o un radio (círculo alrededor de la celda de interés) (Ver Figura 53) (Fallas, 2007).

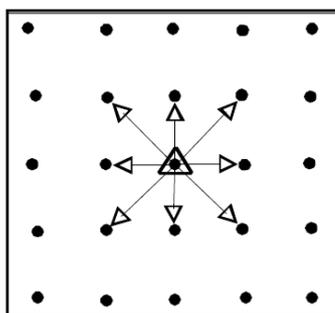


Figura 53. Concepto de distancia de búsqueda (Fallas, 2007).

El peso asignado a cada valor está dado por:

Ecuación 3.

Ecuación del Inverso a la Distancia Ponderada (IDW)

$$P = \frac{1}{d^m} \quad \text{Ec. (3)}$$

En dónde:

P= Peso o ponderación que se aplicará a cada punto.

m= Exponente que define la influencia local de cada uno de los puntos.

d= Distancia entre el punto que se interpola y los vecinos más cercanos utilizados en la interpolación. (Fallas, 2007).

Uno de los defectos de este método es que genera una superficie con una apariencia de ojos de buey alrededor de los puntos de muestreo. (Fallas, 2007).

2.11.6.9.4 Métodos Geoestadísticos:

Se basan en modelos estadísticos que incluyen autocorrelación. Las técnicas geoestadísticas no solo tienen la capacidad de producir una superficie de predicción, sino también de proporcionar un cierto grado de certeza o la exactitud de las predicciones. (Martínez. R. , 2013)

- **Método de Interpolación Kriging**

Este método crea superficies de interpolación y además especifica la exactitud del modelo. (Rapallo, n.d.). Asume que la distancia y/o la dirección entre puntos de muestreo es una expresión de la correlación espacial entre los puntos y que por tanto dicha información puede utilizarse para explicar la variabilidad encontrada en la superficie muestreada. Este método es considerado como uno de los mejores interpoladores ya que provee estimaciones insesgadas y de varianza mínima (Fallas, 2007).

Kriging es un proceso que tiene varios pasos, entre los que se incluyen, el análisis estadístico exploratorio de los datos, el modelado de variogramas, la creación de la superficie y la exploración de la superficie de varianza (ESRI, 2012). En cuanto al Kriging Ordinario, es el usado por defecto, se utiliza para datos que no tienen tendencia y cuya media es desconocida. (Jiménez, 2006).

La fórmula de Kriging según (ESRI, 2012) es:

Ecuación 4.
Ecuación del Kriging

$$\hat{Z}(S_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i) \quad \text{Ec. (4)}$$

Dónde:

$Z(s_i)$ = Valor medido en la ubicación i

λ_i = Ponderación desconocida para el valor medido en la ubicación i

s_0 = Ubicación de la predicción

N = Cantidad de valores medidos

- **Isotropía y Anisotropía**

Las sustancias isotrópicas presentan siempre el mismo comportamiento independientemente de la dirección, mientras que en las anisotrópicas las propiedades varían con la dirección. (Ver Figura 54) (Dorronsoro, 2013).

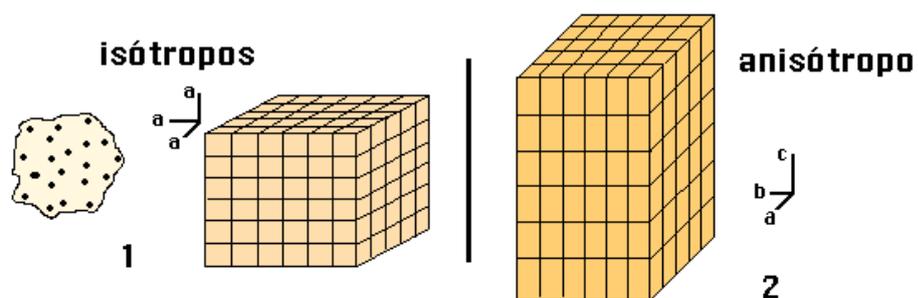


Figura 54. Diferencia entre isotrópico y anisotrópico (Dorronsoro, 2013).

- **Validación Cruzada**

Los siguientes gráficos ayudan a valorar los valores predichos por el modelo:

a) Valores Predichos

Muestra los valores predichos frente a valores observados. La línea de ajuste aparece en trazado continuo y la ecuación debajo del gráfico. (Ver Figura 55) (Jiménez, 2006).

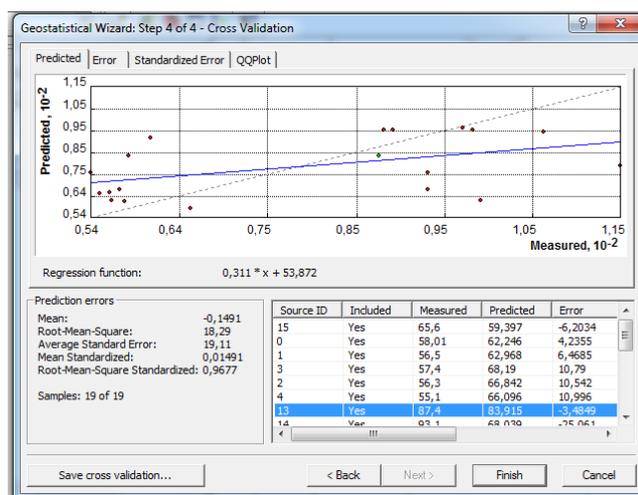


Figura 55. Gráfico de los valores predichos (Ortega M., 2014)

b) Gráficos de los Errores o Residuales

Muestra la diferencia entre valores observados y predichos. En el eje horizontal están los valores observados y en el eje vertical los residuales. (Ver Figura 56) (Jiménez, 2006).

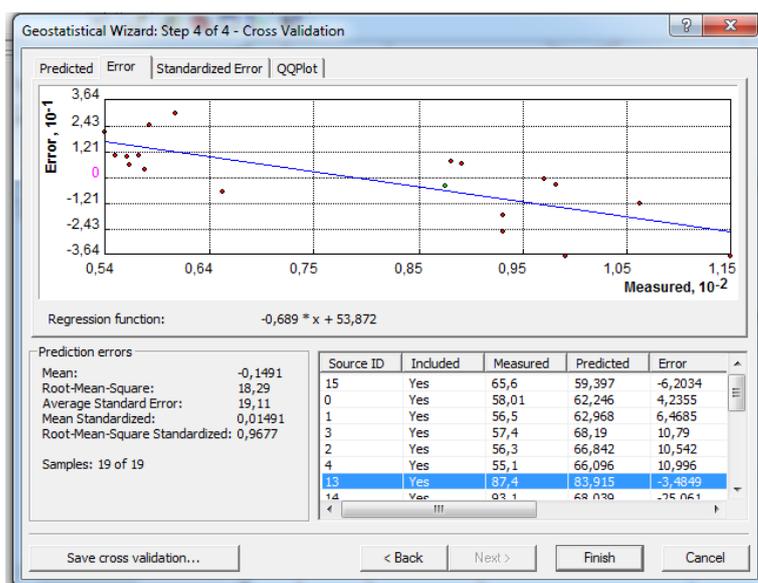


Figura 56. Gráfico de los Errores o Residuales (Ortega M., 2014)

c) Gráfico de los Errores Estandarizados

Se obtienen dividiendo los errores por la desviación típica estimada del Kriging.
 (Ver Figura 57) (Jiménez, 2006).

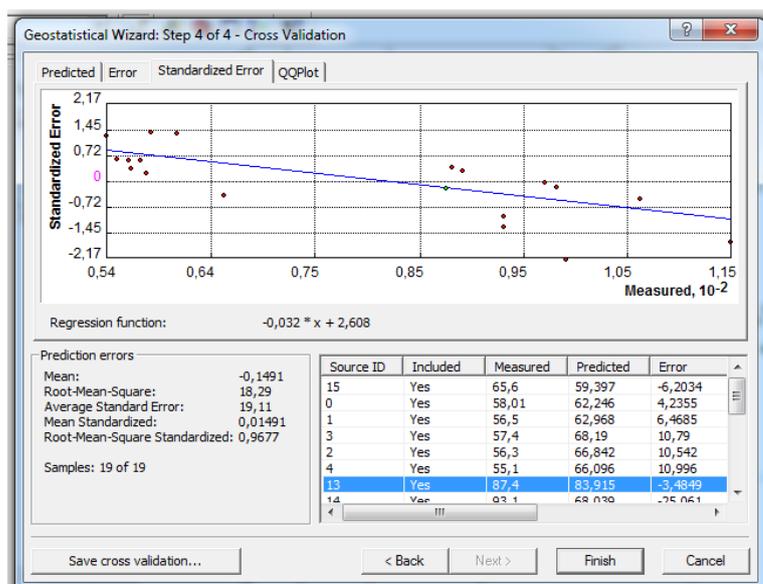


Figura 57. Gráfico de los Errores Estandarizados (Ortega M., 2014)

d) Gráfico de Probabilidad Normal – QQ- Plot

Compara los cuantiles de los errores estandarizados con los cuantiles de una distribución normal. Los errores estarían normalmente distribuidos si coinciden con la línea de trazos. (Ver Figura 58) (Jiménez, 2006).

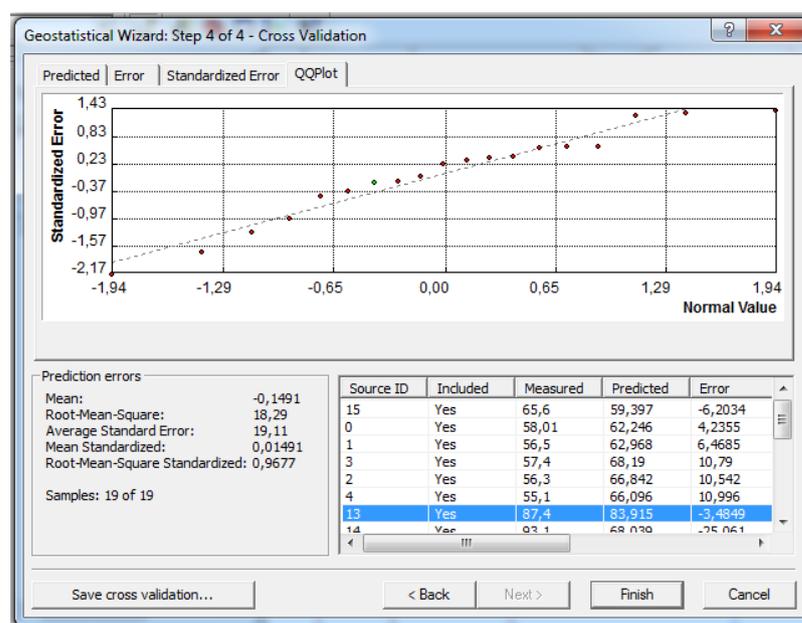


Figura 58. Gráfico de Probabilidad Normal QQ-Plot (Ortega M., 2014)

La expresión QQ del nombre QQPlot, quiere decir cuantiles, por lo cual a continuación se describe brevemente la definición de los cuantiles:

Cuantiles:

Son aquellos valores de la variable, que ordenados de menor a mayor, dividen a la distribución en partes, de tal manera que cada una de ellas contiene el mismo número de frecuencias.

Los cuantiles más conocidos son: i) los cuartiles (Q_i), que son valores de la variable que dividen a la distribución en 4 partes, cada una de las cuales engloba el 25% de las mismas; ii) los deciles (D_i), que son los valores de la variable que dividen a la distribución en las partes iguales, cada una de las cuales engloba el 10% de los datos y en total habrá 9 deciles; iii) los centiles o percentiles (P_i), que son los valores que dividen a la distribución en 100 partes iguales, cada una de las cuales engloba el 1% de las observaciones y en total habrá 99 percentiles.

- **Errores de Predicción**

En el método de interpolación de Kriging del ArcGIS se presentan los siguientes errores de predicción:

a) Error Promedio

Debe estar próxima a cero. Se encuentra muy influida por la escala de los datos. (Jiménez, 2006). Su fórmula es:

Ecuación 5.

Ecuación del Error Promedio

$$AE = \frac{\sum (y_j - \hat{y}_j)}{n} \quad \text{Ec. (5)}$$

Dónde:

Y_j = Valor medido

\hat{Y}_j = Valor estimado de la variable dependiente

n = Número de muestras.

b) Error Cuadrático Medio

Los valores predichos deben estar lo más cerca posible de los valores observados, y mientras más pequeño sea, mejores serán las predicciones. (Jiménez, 2006). A continuación se presenta la fórmula correspondiente:

Ecuación 6.

Ecuación del Error Cuadrático Medio

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (y_j - \hat{y}_j)^2}{n}}$$

Ec. (6)

Dónde:

Y_j = Valor medido

\hat{Y}_j = Valor estimado de la variable dependiente

n = Número de muestras.

c) Error Estándar Promedio

Este ayuda a valorar la variabilidad de las predicciones, y debería estar próximo al error cuadrático medio para que la variabilidad de la precisión se calcule correctamente. (Jiménez, 2006).

A continuación se presenta la fórmula utilizada:

Ecuación 7.
Ecuación del Error Estándar Promedio

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Ec. (7)

Dónde: σ = Desviación estándar

n = Número de muestras (Instituto Tecnológico de Chihuahua, n.d.)

d) Media Estandarizada

Según (Jiménez, 2006), debería estar cerca a cero. Para este parámetro se aplica la siguiente fórmula:

Ecuación 8.
Ecuación de la Media Estandarizada

$$MSPE = \sum_{i=1}^N \frac{ME}{\sigma^2(X_i)}$$

Ec. (8)

Dónde:**ME**= Error Medio σ = Desviación estándar**N** = Número de muestras

e) Error Cuadrático Medio Estandarizado

Deben estar próximos a 1, para que los errores de la predicción sean válidos. Cuando el RMSE > 1, se subestima la variabilidad de las predicciones; mientras que cuando este es < 1, se sobreestima dicha variabilidad. (Jiménez, 2006).

A continuación se presenta la fórmula correspondiente:

Ecuación 9.

Ecuación del Error Cuadrático Medio Estandarizado

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(Z^{\wedge}(s_i) - z(s_i)) / \sigma^{\wedge}(s_i)]^2}{n}}$$

Ec. (9)

Dónde:

$Z^{\wedge}(S_i)$ = Valores predichos

$\sigma^{\wedge}(S_i)$ = Desviación estándar

$Z(S_i)$ = Valores observados

n = Número de muestras

2.11.6.9.5 Semejanzas entre IDW y Kriging

Según (Rapallo, n.d.), las semejanzas son:

- Ambos métodos ponderan muestras del entorno, para extraer predicciones de zonas próximas.
- La fórmula general para ambas interpolaciones está basada en la suma ponderada de todos los datos.

2.11.6.9.6 Diferencias entre IDW y Kriging

De acuerdo a (Business Intelligence Solutions., n.d.):

- Se observa el efecto de ojos de buey de forma más evidente en el IDW que en el Kriging.
- El método Kriging da como resultado el error estándar, mientras el IDW no lo hace.
- En el IDW, el peso solo depende de la distancia a los puntos de muestreo, mientras que en el Kriging los pesos no solo se basan en las distancias, sino también en las relaciones espaciales entre las muestras y sus valores.

2.11.6.9.7 Análisis exploratorio de datos

- **Histograma**

Representación gráfica de una variable en forma de barras. En el eje de las abscisas se construyen unos rectángulos que tienen por base la amplitud del intervalo, y por altura, la frecuencia absoluta de cada intervalo. La superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados (Vitutor., 2012) (Ver Figura 59)

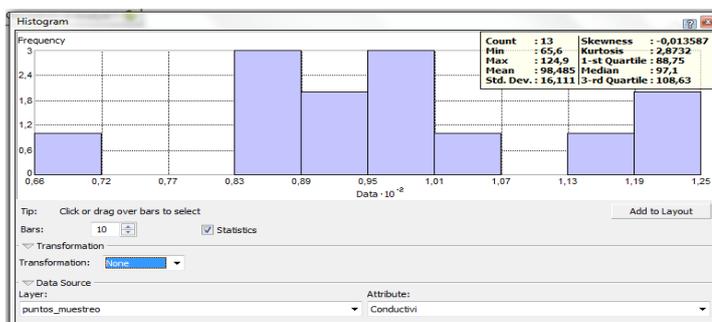


Figura 59. Histograma de las muestras de conductividad (El Autor, 2014)

- **Semivariograma**

El semivariograma muestra la autocorrelación espacial de los puntos de muestra medidos. (Ver Figura 60) (ESRI, 2012).

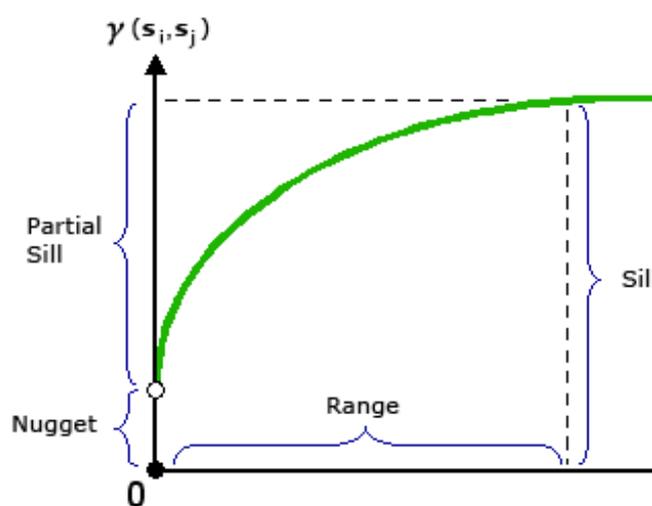


Ilustración de componentes de rango, meseta y nugget

Figura 60. Componentes del Semivariograma (ESRI, 2012).

Los principales elementos del semivariograma son: rango, meseta y efecto nugget:

- **Rango:**

Es la distancia a la cual el modelo comienza a aplanarse. Las ubicaciones separadas por distancias más cortas que el rango están autocorrelacionadas espacialmente, mientras que las que están más alejadas que el rango, no lo están. (ESRI, 2012). Como ilustración se puede ver la Figura 60

- **Meseta:**

Es el valor en el cual el modelo de semivariograma alcanza el rango (el valor en el eje Y). Una meseta parcial es la meseta menos el nugget. (ESRI, 2012). En inglés significa Sill, y como ilustración se puede observar la Figura 60

- **Efecto Nugget:**

Puede atribuirse a errores de medición o a fuentes espaciales de variación a distancias que son menores que el intervalo de muestreo. Como ilustración se observa la Figura 60 (ESRI, 2012).

- **Modelos del Semivariograma**

El modelo seleccionado influye en la predicción de los valores desconocidos, en particular cuando la forma de la curva cercana al origen difiere significativamente. Cuanto más pronunciada sea la curva cercana al origen, más influirán los vecinos más cercanos en la predicción. Se tienen diferentes modelos, como son: el circular, esférico, exponencial, gaussiano y lineal. A continuación se presentan los más utilizados:

- a) **Modelo Esférico**

Muestra una disminución progresiva de la autocorrelación espacial hasta cierta distancia, después de la cual la autocorrelación es cero. Este modelo es uno de los que más se utilizan. (Ver Figura 61) (ESRI, 2012).

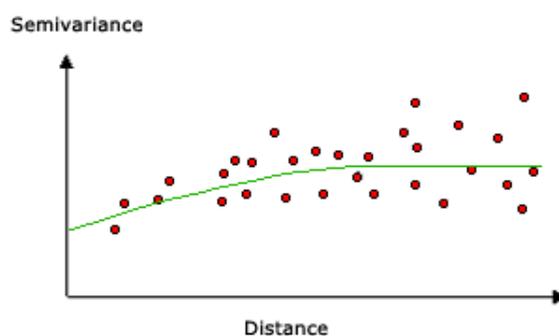


Figura 61. Ejemplo de modelo esférico (ESRI, 2012).

b) Modelo Exponencial

Se aplica cuando la autocorrelación espacial disminuye exponencialmente cuando aumenta la distancia. La autocorrelación desaparece por completo solo a una distancia infinita. Este también es un modelo muy utilizado. (Ver Figura 62)

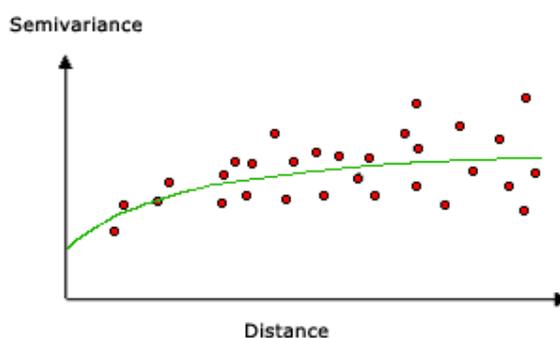


Figura 62. Ejemplo de modelo exponencial (ESRI, 2012).

2.11.6.9.8 Medidas de Centralidad

A continuación en la Figura 63, se presenta un ejemplo de los datos de centralidad.

Count	: 17	Skewness	: 0,14641
Min	: 54,1	Kurtosis	: 1,5372
Max	: 115,3	1-st Quartile	: 57,175
Mean	: 77,754	Median	: 87,4
Std. Dev.	: 20,557	3-rd Quartile	: 94,1

Figura 63. Medidas de Centralidad (Ortega M., 2014)

Dónde:

a) Contar (Count):

Es el número de muestras que intervienen en el modelo.

b) Mínimo (Min):

Es la muestra de menor valor en el modelo.

c) Máximo (Max):

Es la muestra de mayor valor del modelo.

d) Media (Mean):

Es el promedio aritmético de los datos en el centro de la distribución (Jiménez, 2006)

e) Desviación Estándar (Std. Dev.):

Es la raíz cuadrada de la varianza. Es la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de las puntuaciones de desviación. (Vitutor, 2012).

f) Sesgo (Skewness):

Es el sesgo o la asimetría. Una distribución perfectamente simétrica tiene un sesgo igual a 0. (Jiménez, 2006).

g) Curtosis (Kurtosis):

Mide el grado de concentración de los valores en una parte de la distribución de frecuencias. En una distribución normal, la curtosis es 3. Una distribución leptocúrtica tendrá una curtosis superior a 3 y una platicúrtica tendrá un valor inferior a 3. (Ver Figura 64) (Jiménez, 2006).

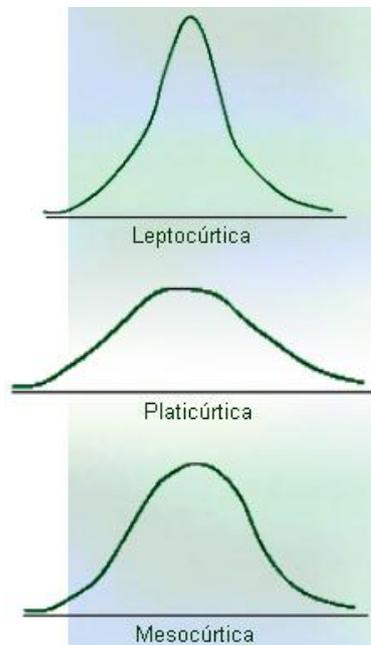


Figura 64. Tipos de curtosis (Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, n.d.)

Para calcular la curtosis se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 10.
Coefficiente de curtosis

$$\text{Coeficiente de Curtosis} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2)^2} - 3 \quad \text{Ec. (10)}$$

h) Mediana (Median):

Representa una proporción acumulada del 0,50. (Jiménez, 2006).

i) Cuartil:

El primer y tercer cuartil corresponde a una proporción acumulada de 0,25 y 0,75 respectivamente. (Jiménez, 2006).

2.11.6.10 Modelo digital del terreno (MDT)

Es una representación estadística del terreno, en forma de números digitales, por medio de un conjunto de puntos con coordenadas x, y, z, respecto a un sistema de georeferenciación conocido. Como características de los modelos digitales de terreno, se tiene que sus datos están codificados en cifras, existe una relación entre la posición geográfica y el valor de la altura. (Martínez, 1999)

2.11.6.11 Modelo digital de elevaciones

Es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos

presentes en el mismo. Están contenidos en un archivo de tipo ráster y tienen dos cualidades esenciales: la exactitud y la resolución horizontal. (Ver Figura 65) (INEGI., n.d.)

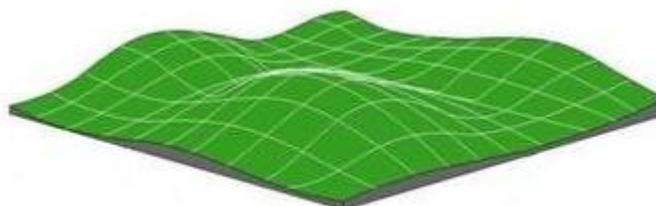


Figura 65. Representación de un modelo digital de elevación en formato ráster (INEGI., n.d.)

Los modelos MDT, de acuerdo a la variable continua utilizada, pueden adquirir un nombre. Por ejemplo, si se tiene la variable de conductividad, el modelo se llamaría: “Modelo Digital de Conductividad”, el de pH: “Modelo Digital de pH”, y así para cada uno de los parámetros fisicoquímicos analizados en el estudio.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

A continuación en la Figura 66 se observa un diagrama de flujo de todos los procedimientos realizados en el proyecto:

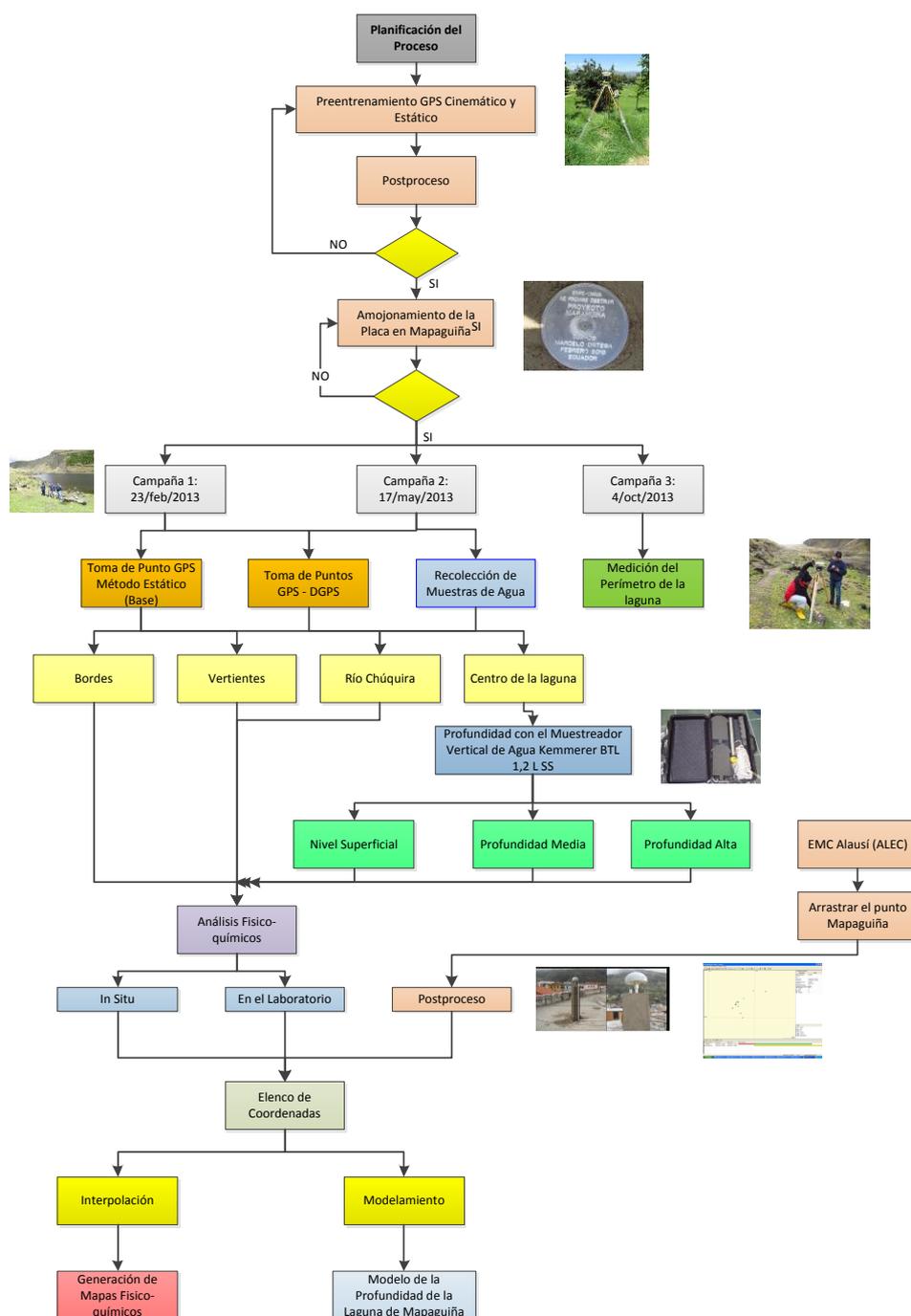


Figura 66. Procedimientos a realizarse como Metodología del siguiente proyecto. (El Autor, 2014)

3.1 Toma de puntos de muestreo en la ESPE

Antes de realizar las salidas de campo se hicieron simulaciones en la ESPE con los equipos GNSS (Navstar GPS). Inicialmente se plantó el equipo GPS Trimble 5800 L2, que tiene un intervalo de registro de 15 segundos, en el mojón de la biblioteca, en donde se colocó el punto base. Luego con el GPS Mobile Mapper se tomaron puntos de 6 postes cercanos a diferentes distancias de la base de la biblioteca, como se observa en la Figura 67 y en la Tabla 21.

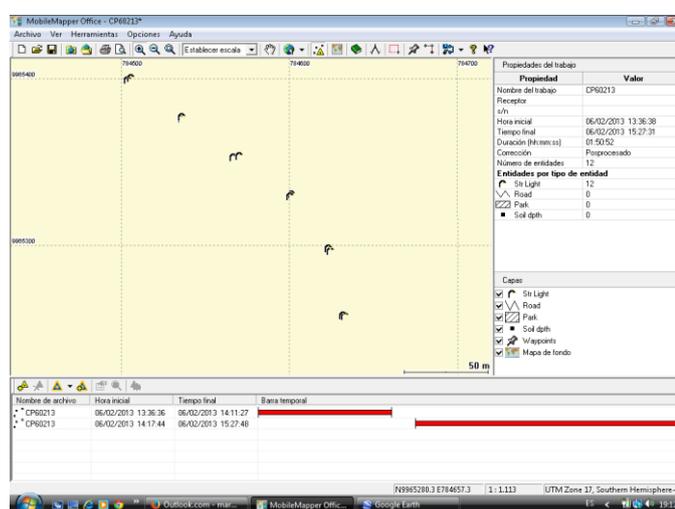


Figura 67. Puntos de los postes de la ESPE cerca de la biblioteca (El Autor, 2014)

Tabla 21.**Coordenadas de los postes de la ESPE cercanos al mojón de la biblioteca**

Código	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)	Número de Satélites	PDOP	EH (m)	EV (m)	Tiempo (min.)
CHP1A-060213	784566,321	9965353,007	2552,401	6	3,3	0,744	0,608	8:37
CHP1B-060213	784570,071	9965353,731	2551,800	8	2,0	1,746	1,215	4:59
CHP2A-060213	784535,636	9965376,381	2554,043	8	2,2	0,882	0,706	6:40
CHP2B-060213	784535,759	9965377,124	2552,177	8	2,0	1,341	1,369	4:18
CHP3A-060213	784503,360	9965399,530	2555,411	8	2,1	1,022	0,936	5:38
CHP3B-060213	784505,400	9965400,605	2551,857	8	2,0	1,561	1,693	2:06
CHP4A-060213	784601,037	9965330,609	2551,168	7	2,2	1,705	0,838	7:40
CHP4B-060213	784600,308	9965329,423	2550,612	8	2,0	1,658	1,548	1:19
CHP5A-060213	784624,049	9965296,572	2551,452	8	1,9	1,631	0,909	5:51
CHP5B-060213	784622,965	9965298,229	2549,632	8	2,0	1,211	1,327	2:06
CHP6A-060213	784632,916	9965257,710	2551,826	9	1,8	0,933	0,834	3:05
CHP6B-060213	784631,637	9965258,030	2549,414	8	2,0	1,191	1,432	1:51

Luego se configuró el GPS Mobile Mapper diferencial en modo postproceso con el método estático durante 5 y 10 minutos, con la finalidad de hacer pruebas de la precisión en función del tiempo de rastreo. Se utilizaron las coordenadas de la monografía del punto de la biblioteca, con el fin de ingresarlas en el programa Mobile Mapper Office, postprocesar los datos y mejorar su precisión. De igual manera, antes de levantar en campo el área y perímetro de la laguna de Mapaguiña, se realizó una simulación en la ESPE el 16/jul/2013, tomando como base el mojón del estadio, en donde se colocó el equipo GPS Trimble L2 5800, con un intervalo de registro de 2 segundos, y como móvil, el GPS Trimble R3, con el mismo intervalo de registro. (Ver Figura 68)



Figura 68. Levantamiento del perímetro del estadio de la ESPE (El Autor, 2014)

3.2. Campañas de muestreo

3.2.1. Salida de inspección

Previo a los muestreos se realizó una salida de inspección (15/dic/2012), planificando muestreos y toma de coordenadas con el GPS Mobile Mapper de la zona de estudio. (Figura 69).



Figura 69. Salida de inspección en la laguna de Mapaguiña (Ortega M., 2013)

3.2.2. Preparación de materiales, reactivos y equipos

En la presente investigación se preparó los reactivos para determinar oxígeno disuelto, alcalinidad y dureza. Para tomar las muestras se utilizó frascos de polietileno de 1 litro y de 250 ml con su respectiva etiqueta (Figura 70) y frascos Winkler para en el caso de oxígeno disuelto y DBO₅. Además se analizó “in situ”: pH, conductividad y oxígeno disuelto.

Muestra de agua del borde de la laguna para análisis	
	Código:
	Operador:
	Fecha:
	Profundidad:
	Hora:

Figura 70. Etiqueta de una muestra de agua (Ortega M., 2013)

Se realizó la verificación del funcionamiento de los equipos: GPS doble frecuencia Trimble 5800 (Figura 71) (método estático), GPS Mobile Mapper (método diferencial), GPS R3 (método cinemático), trípode y base nivelante. Los manuales del funcionamiento de los equipos utilizados se encuentran en los anexos 4, 5 & 6.



Figura 71. GPS doble frecuencia en el mojón del estadio de la ESPE (Ortega M., 2013)

3.2.3. Primera campaña

La primera campaña fue realizada el (23/feb/2013), colocándose una placa (Figura 72 & 73), con la finalidad de determinar las coordenadas de este punto con el equipo GPS Trimble 5800 L2, con un intervalo de registro de 15 segundos, utilizando el método estático. Se tomó el punto base en la placa, y 9 puntos de muestreo en los bordes de la laguna utilizando el Mobile Mapper Office, de los cuales se analizaron “in situ”: pH, conductividad y alcalinidad. (Anexo 7).



Figura 72. Primera campaña realizada en la laguna de Mapaguiña (Ortega M., 2013) En la fotografía (Murgueitio E., Kirby E. & Ortega M.)

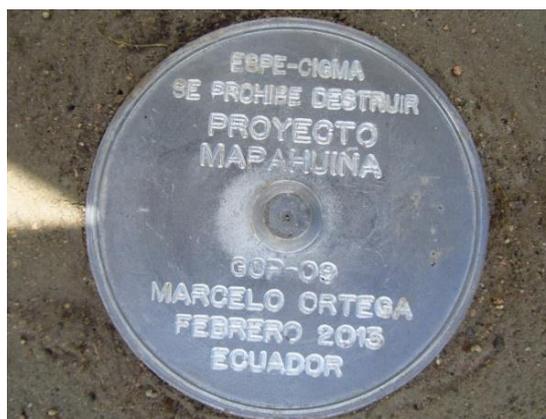


Figura 73. Placa colocada en campo (Kirby E. & Ortega M., 2013)

Debido a que se necesitan coordenadas GPS con precisión menor o igual a $\pm 1\text{m}$, y como la laguna se encuentra a 15,49 km. de Alausí en línea recta, se consideró el método diferencial DGPS, ya que a esa distancia se necesita posicionar el punto por largo tiempo.

Por lo tanto, se decidió arrastrar un punto a la laguna, el cual será la nueva base y esto ayudará a disminuir la distancia de la línea base y el tiempo de captura.

Después de las pruebas realizadas en la ESPE, se comprobó que para obtener una buena precisión en campo, es necesario tomar los datos con el GPS Mobile Mapper durante al menos 10 minutos en cada punto de muestreo, y mientras tanto, se toman las muestras de agua.

Antes de iniciar la toma de puntos de muestreo con GPS, se materializó la nueva base, un punto en una roca, en donde se colocará la placa, para posteriormente enlazarlo a la Estación de Monitoreo Continuo (EMC) RIOP de la ciudad de Riobamba y a la EMC ALEC de Alausí. Este punto sirvió como base para la corrección de la toma de muestras de agua con GPS diferencial, en donde se picó un poco de roca con martillo y combo para hacer un agujero. Finalmente se colocó una placa de aluminio con el nombre del proyecto y la fecha de elaboración, la cual quedará firme para cuando se necesite disponer de este punto en futuras investigaciones.

Todos los puntos se tomaron con GPS Mobile Mapper, con la finalidad de obtener coordenadas diferenciales en postproceso y poder enlazar con el punto base tomado en la placa.

La línea base entre el punto RIOP (Estación de monitoreo continuo de Riobamba) y el de la Laguna de Mapaguiña es de aproximadamente 75 km, por lo que la toma se realizó con el GPS Trimble 5800 L2, debido a que la línea base fue mayor a 30 km; los datos están referidos a una época de referencia actual (IGB08). El tiempo que este equipo debe estar encendido está en función de la distancia de la línea base, y para el caso del presente estudio se lo dejó encendido durante aproximadamente 3 horas, tiempo en el que se realizaron tomas de las muestras de agua en la laguna. Como medida de procedimiento, se debe encender el equipo antes de iniciar el muestreo, para que los puntos móviles puedan estar sincronizados con la base de referencia y poder realizar el postproceso adecuadamente.

Posteriormente, en lo que se refiere al levantamiento del área y perímetro de la laguna, de igual manera que en la simulación, se utilizó como base el equipo Trimble L2 5800, con un intervalo de registro de 2 segundos, y como móvil el GPS Trimble R3, con el cual se empleó el método cinemático continuo, con un intervalo de 2 segundos de igual manera, y se recorrió todo el borde de la laguna.

A continuación en la Figura 74, se observa la distancia de la línea base, respecto a la estación de monitoreo continuo “RIOP”:

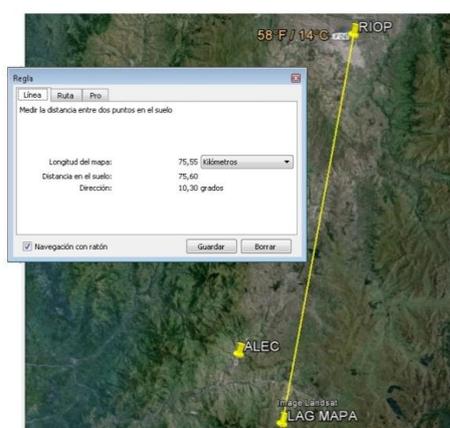


Figura 74. Distancia entre la EMC RIOP de Riobamba (Base) y la placa de Mapaguiña (Rover) (El Autor, 2013)

3.2.4. Segunda campaña

En la segunda campaña (17/may/2013) los lugares en donde se realizó el muestreo son los siguientes: i) vertientes (Figura 75), ii) río principal (Figura 76), iii) bordes de la laguna, iv) centro de la laguna.

Para la toma de muestras en el centro de la laguna se utilizó un bote a remos (Figura 77 a) para evitar la perturbación auditiva en la zona y un muestreador de agua vertical marca Kemmerer BTL 1,2 L SS (Figura 77 b), para muestras en la superficie y a diferentes profundidades.



Figura 75. Lugar por donde sale una vertiente de la laguna de Mapaguiña (Ortega M., 2013)



Figura 76. Río Chúquira. En la Fotografía Estudiante Carrera Biotecnología Srta. Silvia Ayala (Paz, A., 2013)



Figura 77 a & b. Toma de puntos en el centro de la laguna de Mapaguiña con el muestreador de agua. (Ortega M. & Murgueitio E, 2013). En la Fotografía (Murgueitio E. & Pérez J.)

3.2.5. Tercera campaña

En la tercera campaña (4/oct/2013), se tomó el punto base (Figura 78), se determinó el perímetro y área de la laguna con el GPS R3, realizando el método continuo y se tomaron muestras de la vegetación aledaña a la laguna.



Figura 78. Midiendo la altura de la antena del GPS doble frecuencia (Kirby E. & Ortega M., 2013).

3.3. Obtención de datos corregidos

3.3.1. Descarga de datos

Los datos descargados son los siguientes:

- Datos del Mobile Mapper (Anexo 8)
- Datos de la antena GPS Trimble doble frecuencia 5800 (Anexo 9) convirtiéndose a Rinex (Anexo 10).
- Datos obtenidos desde la Estación de Monitoreo Continuo de Riobamba (página del SOPAC y del SIRGAS) (Anexos 11 & 12) estas se transformaron de cartesianas a geodésicas y posteriormente a proyectadas UTM utilizando el Geocalc. y de la Estación de Monitoreo Continuo de Alausí (ALEC) (facilitado por el Dr. Alfonso Tierra, CEINCI-Universidad de las Fuerzas Armadas -ESPE).

3.3.2. Postproceso

Una vez tomados los datos en campo, se realizó el postproceso de la base de la Estación de Monitoreo Continuo (EMC) de Alausí (ALEC), con el punto tomado en la laguna de Mapaguiña en el programa Trimble Business Center (Anexo 13), luego se generaron informes de los resultados (Anexos 14 & 15) y posteriormente se ingresaron las coordenadas de los puntos base de las dos campañas en la calculadora del EGM 96, en donde se determinó la ondulación geoidal, y después la altura ortométrica. Luego se elaboraron las monografías de los puntos base tomados en campo (Anexos 16 & 17) a partir de los datos obtenidos. Después, se realizó el postproceso en el programa Mobile Mapper (Anexo 18), para lo cual se ingresaron las coordenadas obtenidas en las monografías, que sirvieron como puntos base para dicho postproceso y finalmente, se obtuvo el error en horizontal y en vertical de cada punto de muestreo. (Anexo 19).

Posteriormente se obtuvieron ortofotos de la zona aledaña a la laguna (Ver Anexo 20)

3.3.3. Análisis de las muestras

Se realizó el análisis de las muestras, tanto “in situ” como en el laboratorio.

3.3.3.1. Análisis “In situ”

Los parámetros que se analizaron in situ fueron: pH, conductividad, oxígeno disuelto y alcalinidad.

- **Temperatura del Agua (°C)**

Se utilizó un termómetro de mercurio graduado de -20 a 110°C, marca PromoLab origen Francia, para determinar la temperatura del agua en todos los puntos de muestreo. Los resultados se reportaron en °C.

- **Potencial Hidrógeno (pH)**

Se utilizó un equipo marca Thermoelectron Co., modelo ORION 3-STAR (Figura 79), previa calibración con soluciones buffer pH 4,1; 7; 9. Como control de resultados se calibró el pH-metro cada 5 muestras. Los resultados se reportaron con la temperatura medida. (Anexo 21)



Figura 79. pH-metro marca Thermo Electron Co., modelo ORION 3-STAR.
(Ortega M., 2013)

- **Conductividad**

Se basó en el método potenciométrico 2510 B (“In situ”), utilizando un equipo marca HACH, modelo HQ14D, previa calibración con solución estándar de cloruro de potasio (KCl). Como control de resultados se calibró el conductivímetro cada 5 muestras. (Figura 80). Los resultados se reportaron en $\mu\text{S}/\text{cm}$. (Anexo 22)



Figura 80. Conductivímetro marca HACH, modelo HQ14D (Ortega M., 2013)

- **Oxígeno disuelto**

Para medición de oxígeno disuelto se utilizó el método Winkler o yodométrico (4500 O) del Estándar Métodos, que consistió en la adición de sulfato manganoso y yoduro de potasio (base fuerte) a una muestra de agua, luego de lo cual se liberó una cantidad de yodo equivalente al contenido original de tiosulfato, la cual se contabiliza cuando se realiza la titulación con tiosulfato de sodio. Los resultados se reportaron en mg de OD/L. (Anexos 23-26).

- **Alcalinidad**

La alcalinidad se basó en el Método de Titulación (2320 B) del Estándar Métodos, que consistió en titular con ácido sulfúrico 0,1 N, y utilizar los indicadores: fenoltaleína cuando el pH es mayor a 8,3 y verde de bromocresol cuando este es menor a 8,3. Los resultados se presentaron en mg CaCO₃/L. (Anexo 27 & 28).

3.3.3.2. Análisis en el laboratorio

En el laboratorio se analizó: nitratos, nitritos, sulfatos, fosfatos, turbidez, color y sólidos suspendidos para lo cual se utilizó un espectrofotómetro portátil, marca HACH, modelo DR/2010, con la longitud de onda correspondiente para cada parámetro. En el caso de los sólidos suspendidos, primero se filtró la muestra con un filtro de 0,45 μ m y para el caso de nitratos, nitritos, sulfatos y fosfatos se utilizaron los reactivos dados según el método y la longitud de onda correspondiente.

- **Nitratos**

La determinación de nitratos se basó en el método espectrofotométrico (4500 NO₃-E) del Estándar Métodos, siguiendo el procedimiento del espectrofotómetro HACH, 2000, método 8039, que se refiere a la reducción de cadmio (0-30 mg/L NO₃ - N) y con su respectiva longitud de onda que es de 500 nm. Los resultados se presentaron en mgNO₃⁻/L. (Anexo 29).

- **Nitritos**

La determinación de nitritos se basó en el método espectrofotométrico (4500 NO₂-B) del Estándar Métodos. Se siguió el procedimiento del espectrofotómetro HACH, 2000, método 8507 correspondiente a la diazotización (0 – 0,300 mg/L NO₂ - N) y con su respectiva longitud de onda que es de 507 nm. Los resultados se expresaron en mgNO₂⁻/L. (Anexo 30).

- **Sulfatos**

Los sulfatos se determinaron basándose en el método espectrofotométrico (4500 SO₄²⁻- E) del Estándar Métodos, siguiendo el procedimiento del espectrofotómetro marca HACH, 2000, método 8051 correspondiente al SulfaVer 4 (0 a 70 mg/L) con su respectiva longitud de onda de 450 nm. Los resultados fueron reportados en mgSO₄²⁻/L. (Anexo 31).

- **Fosfatos**

Para determinar fosfatos se utilizó el método del aminoácido del Estándar Métodos, siguiendo el procedimiento del espectrofotómetro marca HACH, 2000,

método 8178 (0 a 30 mg/L de PO_4^{3-}), con su respectiva longitud de onda de 530 nm. Los resultados se reportaron en $\text{mgPO}_4^{3-}/\text{L}$. (Anexo 32).

- **Turbidez**

En lo que se refiere a la turbidez, se utilizó el Método Turbidimétrico (2130 B) del Estándar Métodos, siguiendo el procedimiento del método de atenuación de radiación del espectrofotómetro marca HACH, 2000, con su respectiva longitud de onda de 400 a 600 nm. Los resultados se expresaron en FAU (Formazin Attenuation Units = Unidades de Atenuación de Formazin) (Anexo 33).

- **Color**

Para el caso del color, se utilizó el Método estándar APHA, de platino cobalto siguiendo el procedimiento del espectrofotómetro marca HACH, 2000, método 8025, con una longitud de onda de 455 nm. Los resultados se reportaron en unidades de PtCo. (Anexo 34).

- **Sólidos Suspendidos**

En lo que se refiere a los sólidos suspendidos, se utilizó el espectrofotómetro marca HACH, realizando el método 2540 B del Estándar Métodos. Los resultados se expresaron en mg/L .

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

La demanda química de oxígeno (DQO) se basó en el método colorimétrico (Estándar Métodos 5220 C), se realizó el método 8000, método de digestión del reactor, se

colocó el reactor marca HACH, modelo DRB200 (Anexo 35) a una temperatura de 150°C, y luego de 2 horas se determinó el DQO por espectrofotometría, por determinación colorimétrica (5520 C) del Estándar Métodos (0 a 150 mg/L de DQO). (Anexo 36). Los resultados se expresaron en mg/L de DQO.

3.3.4. Determinación del índice de calidad de agua

La metodología a seguir para determinar el “Índice de Calidad del Agua” (ICA), considerada para esta investigación se basa en el protocolo desarrollado por la Fundación de Sanidad Nacional de Estados Unidos, 2009, ya que se encuentra acorde a nuestra investigación y a los datos experimentales.

Cálculo del ICA:

Se emplearon cada una de las ecuaciones de la tabla 4 (ubicada en el capítulo No. 2), y posteriormente se multiplicó por la importancia de cada parámetro, con lo cual se obtuvo el índice particular de cada parámetro, después se sacó un promedio y se obtuvo el ICA para cada punto de muestreo.

Se realizó el mismo proceso de cálculo para cada punto, y se obtuvo un promedio de todos los puntos de los bordes de la laguna, del centro, de las vertientes, y del río Chúquirá.

Cálculo del ICA ejemplificado de un punto de muestreo en campo, del borde de la laguna con dirección al centro de 1,50 a 2 m. (Tabla 22).

Tabla 22.

Punto de muestreo del borde de la laguna (17/may/2013)

Parámetro	Muestra	Unidades	Importancia	Índice Particular	Índice Particular *	Índice Particular * Importancia
pH	7,82	---	1	IpH=	84,87	84,87
Color	55,75	Pt Co.	1	IColor	37,563	37,56
Turbidez	48	UTN	0	ITur=	--	---
Sólidos Suspendidos	32	mg/L	1	ISS=	73,51	73,51
Conductividad	91,06	μS/cm	2	IμS/cm	97,68	195,36
Alcalinidad	3,375	mgCaCO ₃ /L	1	IAlc=	83,74	83,74
Nitratos	0,3	mg/L	2	INO ₃ =	100	200
Fosfatos Totales	0,9725	mg/L	2	I PO ₄ ³⁻	34,66	69,31
Oxígeno Disuelto	6,8	mg/L	5	IOD=	72,05	360,25
Temperatura	18,15	(°C)				
TOTAL			15			1104,6
ICA						73,64

* No se calculó el ICA de la turbidez debido a que se encuentra en diferentes unidades y no se puede hacer la transformación.

Para el caso de los bordes de la laguna, el ICA es de 73,64.

3.4. Análisis de Datos

Con los datos obtenidos tanto “in situ” como en el laboratorio de cada uno de los parámetros fisicoquímicos y del GPS de los puntos de muestreo, se generó un elenco de coordenadas que incluye las coordenadas GPS y los parámetros fisicoquímicos de cada muestra, insumo que se utilizó para la generación de todos los mapas resultantes de la investigación.

3.5. Cálculos geospaciales

3.5.1. Cálculo de la altura ortométrica de los puntos base

A continuación se procederá a calcular la altura ortométrica de los puntos base de las dos campañas:

Primera campaña (23/feb/2013)

Para el cálculo de la altura ortométrica se aplica la siguiente fórmula:

Ecuación 11.

Ecuación de la Altura Ortométrica

$$\textit{Altura ortométrica} = \textit{Altura elipsoidal} - \textit{Ondulación geoidal} \quad \text{Ec. (11)}$$

Se determina la ondulación geoidal en el Nima Calculator EGM96 disponible en Internet, sus resultados se encuentran en el capítulo de resultados.

La ondulación geoidal en este punto: 26,41 m.

Segunda campaña (17/may/2013)

Se procede a realizar el cálculo de la misma manera que en el caso anterior:

La ondulación geoidal en este punto: 26,41 m.

3.5.2. Cálculo de la época de referencia y semana GPS de las tres campañas realizadas

A continuación se presentan las semanas GPS y las épocas de referencia de las tres fechas correspondientes a las campañas realizadas en campo, como son: el 23/feb/2013, el 17/may/2013 y el 4/oct/2013.

Primera campaña (23/feb/2013)

Esta fecha corresponde a la semana GPS 1728.

Para el cálculo de la época de referencia, se divide el número de días transcurridos en el año para el total de días del año y a esto se le añade el año en curso:

Ecuación 12. Fórmula de la época de referencia

$$\text{Época de referencia} = \text{Año} + \frac{\text{Días transcurridos}}{\text{Días totales del año}} \quad \text{Ec. (12)}$$

$$\text{Época de referencia} = 2013 + \frac{54}{365}$$

$$\text{Época de referencia} = 2013.148$$

$$\text{Época de referencia} = 2013.2$$

Las coordenadas cartesianas de la Estación de Monitoreo Continuo (EMC) de Riobamba (RIOP) obtenidas del SIRGAS de esta campaña son las siguientes:

$$X = 1255144,9676 \text{ m.}$$

$$Y = -6253609,4339 \text{ m.}$$

$$Z = -182569,7741 \text{ m.}$$

Finalmente, se transforma las coordenadas obtenidas a geográficas y a UTM a través del Geocalc (Tabla 23):

Tabla 23.

Coordenadas geográficas y UTM de la EMC de RIOP (23/feb/2013)

Coordenadas Geográficas		Coordenadas UTM	
Latitud	1° 39' 2,142586'' S	Este (X)	761338,84 m.
Longitud	78°39'3,985372'' O	Norte (Y)	9817404,77 m.
Altura Elipsoidal	2817,169 m.		

Segunda campaña (17/may/2013)

La segunda campaña se realiza en la semana GPS 1740, y se calcula su época de la misma manera que en el caso anterior. Los resultados correspondientes se observan en el capítulo No. 4.

Tercera campaña (4/oct/2013)

La tercera campaña ocurre en la semana GPS 1765, los resultados de las coordenadas en cartesianas, geográficas y proyectadas se ilustran en el capítulo de resultados.

3.5.3. Cálculo de la escala de trabajo de los mapas

Las precisiones para determinar la escala de trabajo se observan en la Tabla No. 24:

Tabla 24.
Precisión horizontal de los puntos de muestreo

Punto de Muestreo	Precisión Este (m)	Precisión Norte (m)	Precisión Horizontal (m)
P1	0,312	0,229	0,387
P2	0,346	0,159	0,381
P3	0,574	0,633	0,854
P4	0,691	0,635	0,938
P5	0,519	0,432	0,675
P6	0,926	1,098	1,436
P7	0,700	0,714	1,000
P8	0,698	0,653	0,956
P9	0,400	0,350	0,532
C1	1,245	0,940	1,560
C2	1,453	1,048	1,792
Promedio			0,956

Nota: Los valores considerados pertenecen a las campañas del 23/feb/2013 y 17/may/2013.

La escala de trabajo se ilustra en la solución de la ecuación No. 13:

Ecuación 13.

Ecuación de la Precisión Horizontal

$$PH (mm) = 0,3mm * fe \quad \text{Ec. (13)}$$

Dónde:

PH (mm) = Es la representación de la precisión horizontal.

0,3 mm = Es la mínima unidad de mapeo, según los estándares cartográficos del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH), (Cantón Chambo., 2011).

fe = Es el factor de escala

Los resultados correspondientes se pueden observar en el capítulo 4.

3.5.4. Elaboración de los mapas de parámetros fisicoquímicos

A continuación en la Figura No. 81 se muestra el procedimiento para la elaboración de los mapas de parámetros fisicoquímicos, utilizando como ejemplo el parámetro conductividad.

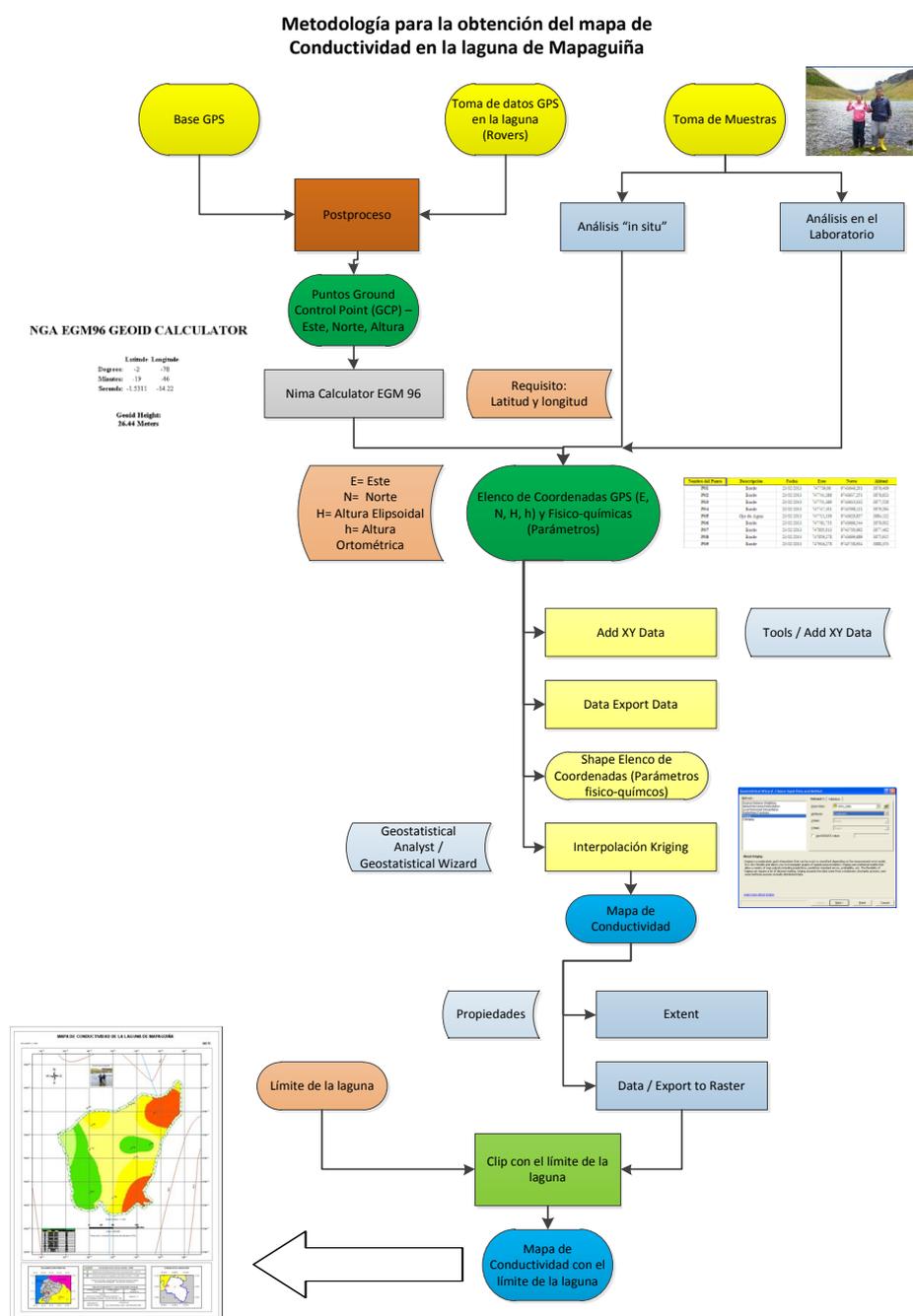


Figura 81. Procedimiento para la elaboración de los mapas de parámetros físico-químicos de la laguna de Mapaguiña (El Autor, 2014)

Una vez tomados los puntos de muestreo en las campañas realizadas el 23/feb/2013 y el 17/may/2013, se procedió a realizar los mapas de cada uno de los parámetros fisicoquímicos analizados tanto “in situ”, como en el laboratorio, como son: alcalinidad, color, conductividad, fosfatos, nitratos, nitritos, oxígeno disuelto, pH, sulfatos, temperatura del agua y turbidez.

Para realizar cada uno de estos mapas, se utilizaron los métodos de interpolación: IDW y Kriging, y se verificó que este último genera mejores resultados, ya que es el mejor estimador lineal imparcial.

Como ya se mencionó anteriormente, estos métodos, a diferencia de los determinísticos, además de buscar una superficie de predicción, dan un grado de certeza o exactitud a dichas predicciones.

Con respecto a las muestras de agua tomadas en la campaña del 23/feb/2013, no se pudo realizar la interpolación con el método del Kriging, debido a que únicamente se obtuvieron 9 puntos de muestreo, debido al mal tiempo, siendo necesarios al menos 10 para poder realizar la interpolación.

A continuación se presentan los puntos de muestreo de la primera campaña en la Figura No. 82



Figura 82. Puntos de muestreo de la primera campaña realizada el 23/feb/2013 (El Autor, 2014)

Para el caso de la segunda campaña, se pudieron tomar 12 puntos de muestreo en campo a nivel superficial, con lo cual se pudo realizar la interpolación con el Kriging. En cuanto a los niveles de profundidad intermedia y alta, tampoco se puede aplicar el Kriging, debido a que únicamente se dispone de 6 puntos de muestreo, los cuales fueron tomados en el centro de la laguna; por lo cual, en estos mapas no se generará la interpolación, sino únicamente en los mapas a nivel superficial.

A continuación se explica el procedimiento realizado para la interpolación de los mapas de parámetros fisicoquímicos a nivel superficial. (Ver Figura 83)

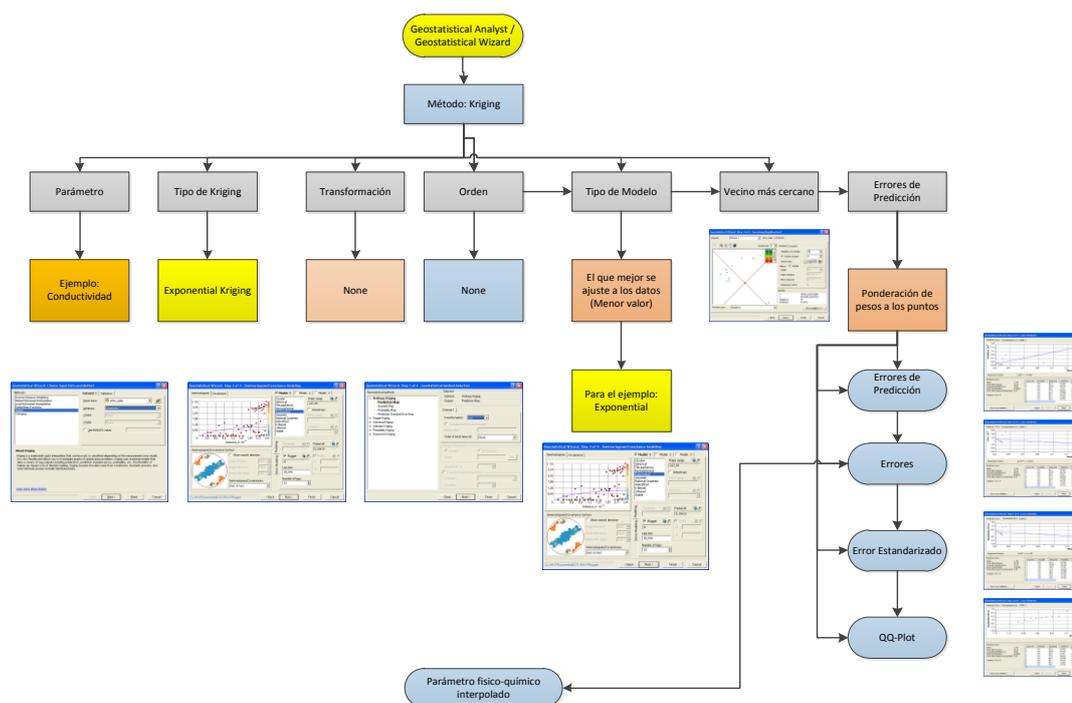


Figura 83. Diagrama de flujo de la interpolación realizada (El Autor, 2014)

Se desarrollará esta metodología tomando como ejemplo el parámetro físico-químico de la “conductividad”, y para el resto de variables analizadas en el estudio se realizará el mismo procedimiento, cuyos resultados se observarán en el capítulo 4.

A continuación se detalla el procedimiento:

1. Se realizó el método del Kriging, para realizar el análisis de la conductividad, como se puede observar en la Figura No. 84

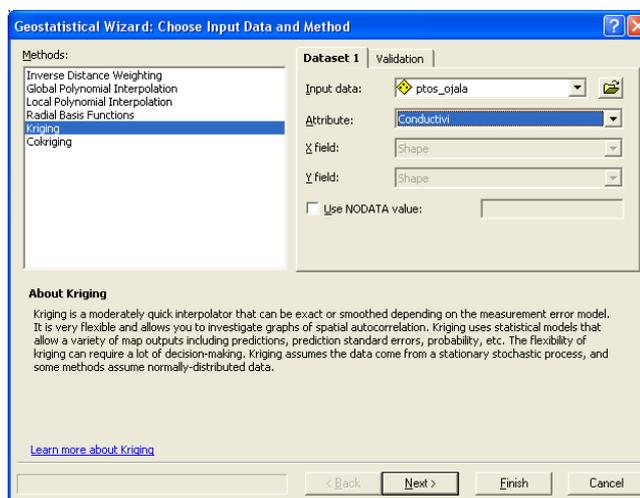


Figura 84. Interpolación con Kriging para la conductividad (Software: ArcGIS)

2. Posteriormente, se analiza el tipo de transformación, que en este caso es logarítmica para que exista una distribución normal y un análisis de tendencia, en el cual se selecciona la opción “None” cuando no existe una tendencia (Ver Figura 85).

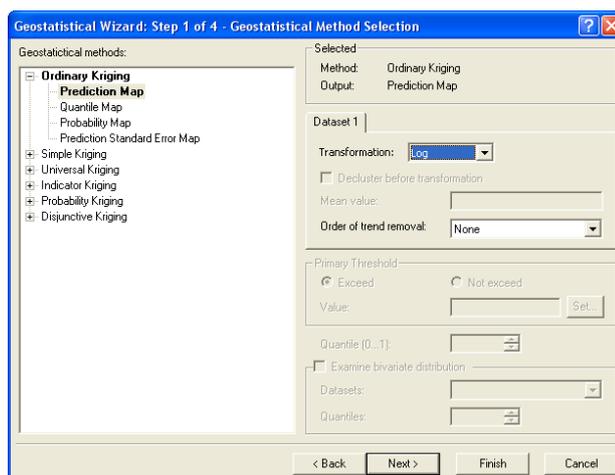


Figura 85. Transformación y análisis de tendencia de la conductividad (Software: ArcGIS)

3. Después, se analiza todos los elementos del semivariograma, como son el efecto pepita, la meseta, y el tipo de modelo a utilizar, que en este caso el que mejor se ajusta es el modelo exponencial (Ver Figura 86)

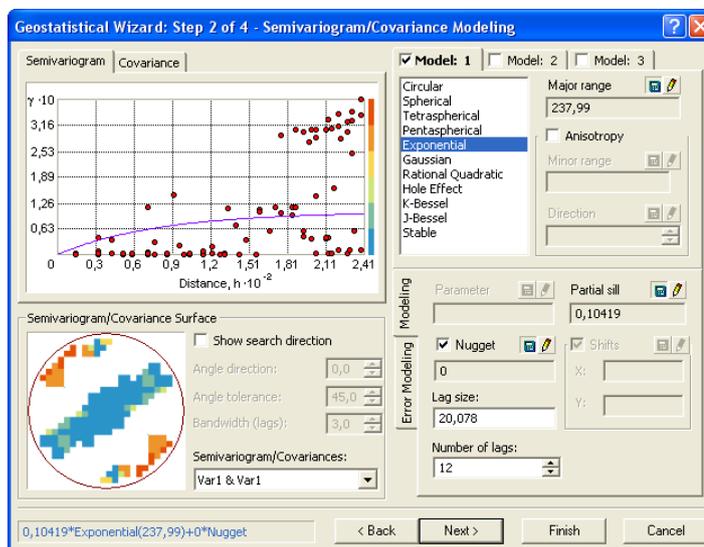


Figura 86. Análisis del semivariograma de la conductividad (Software: ArcGIS)

4. Posteriormente, se analiza la vecindad de los puntos de muestreo. Los puntos que estén más cercanos tendrán una mayor ponderación que los que estén alejados. (Ver Figura 87)

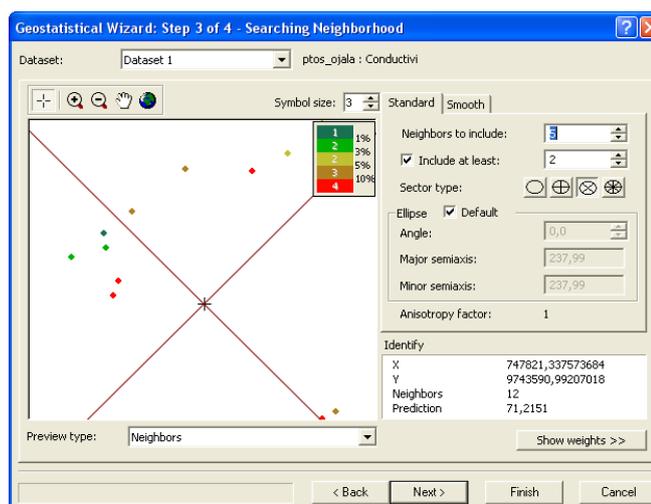


Figura 87. Vecindad de los puntos de muestreo de conductividad (Software: ArcGIS)

5. Finalmente, se realiza la validación cruzada para determinar los errores de predicción, como se puede ver a continuación:

a) Error Predicho

Como se puede observar en la Figura 88, la mayoría de puntos se encuentran muy cercanos a la línea de regresión lineal, y tan solo tres están dispersos o alejados de ella.

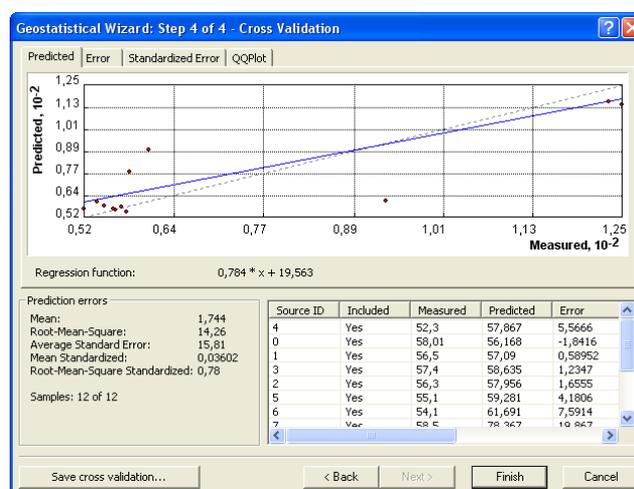


Figura 88. Error predicho de los puntos de muestreo de conductividad (Software: ArcGIS)

b) Error

Se puede observar en la Figura 89, que únicamente dos puntos se encuentran alejados de la línea de regresión lineal, por lo que el error de los puntos es bajo.

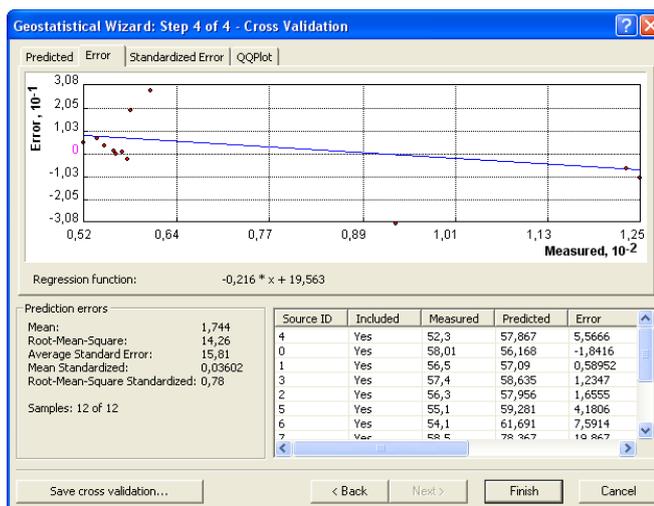


Figura 89. Error de los puntos de muestreo de conductividad (Software: ArcGIS)

c) Error Estandarizado

Al igual que en el caso anterior, únicamente dos puntos se encuentran dispersos, mientras que los demás, son puntos continuos. (Ver Figura 90).

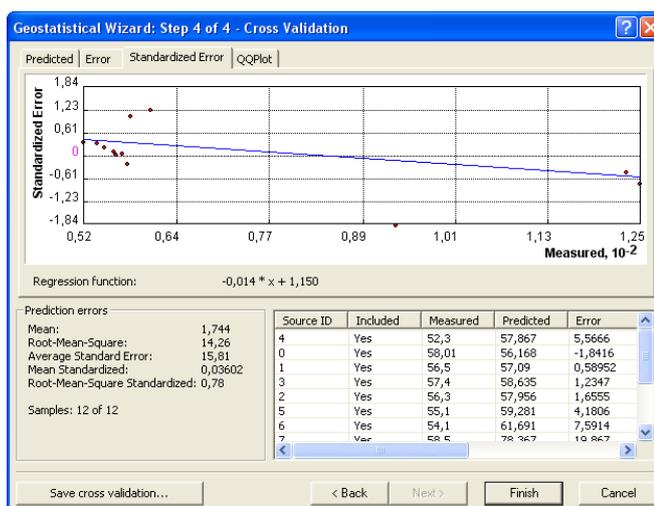


Figura 90. Error estandarizado del muestreo de conductividad (Software: ArcGIS)

d) QQ-Plot

A pesar de que no se observa que los puntos tengan una distribución normal (ver Figura 91), ya que no están muy pegados a la recta, la distancia de separación entre los mismos no es tan significativa, debido a que tienden a acercarse a la misma.

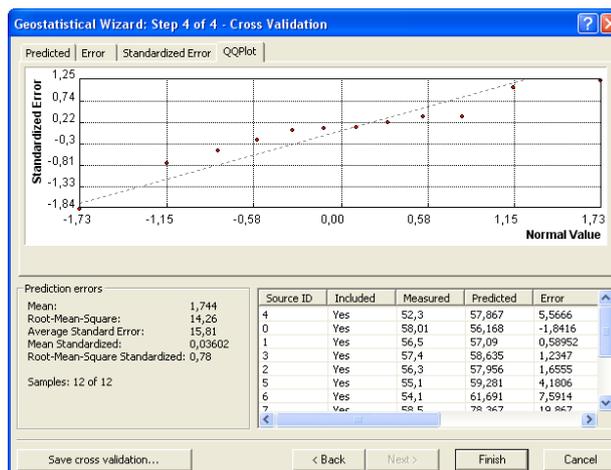


Figura 91. Distribución de cuantiles QQ-Plot de los muestreos de conductividad (Software: ArcGIS)

- Finalmente, antes de generar la interpolación, se observa en la Figura 92 una ventana que muestra una lista de todos los parámetros analizados por el programa, como por ejemplo: el tipo de Kriging, la transformación realizada, el número de vecinos a incluir, el semieje mayor y menor, el número de intervalos, el tipo de modelo, su valor de rango, meseta parcial y si posee o no anisotropía.

Para generar la interpolación, dar click en el botón “OK”

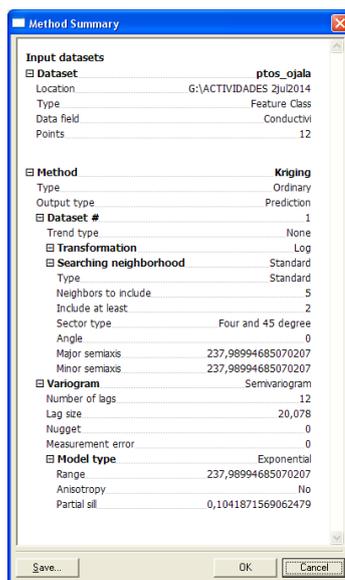


Figura 92. Listado de parámetros analizados en la interpolación con Kriging (Software: ArcGIS)

- Una vez realizada la interpolación, se elaboró el modelo con los puntos de muestreo tomados en la segunda campaña (Ver Figura 93), quedando un hueco en la zona nororiental de la laguna, donde no se pudo tomar más puntos de muestreo, por el mal tiempo.

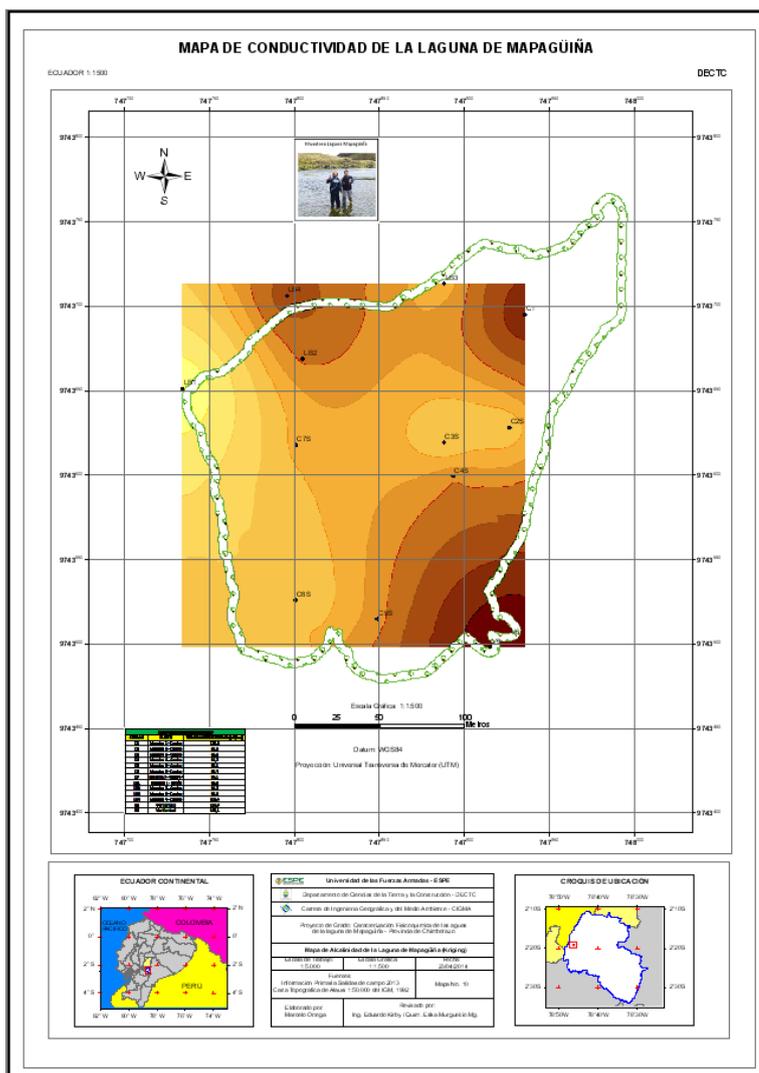


Figura 93. Modelo de conductividad sin realizar la extensión (El Autor, 2014)

- Al modelo generado de la imagen anterior, se le realizó una extensión hacia toda la laguna utilizando el shape del área de estudio. (se debe tomar en cuenta que este perímetro puede variar en función de la cantidad de precipitaciones generadas en la zona). En ese sentido se implementó la pestaña “Extent”, ubicada en las propiedades del modelo generado. (Ver Figura 94).

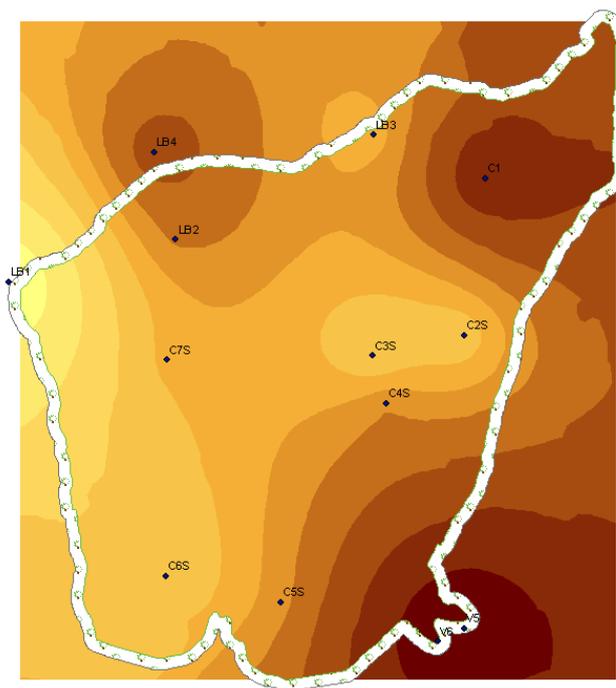


Figura 94. Modelo de conductividad extendido al tamaño de la laguna (El Autor, 2014)

9. Se convierte los raster a puntos, con la herramienta “Raster to Point”, luego de lo cual se genera una malla de puntos, con una tabla que indica sus respectivos valores de conductividad (Figura 95)

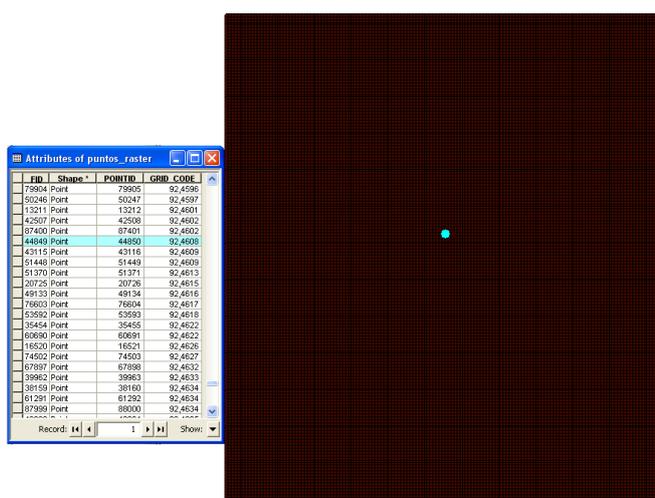


Figura 95. Malla de puntos con sus respectivos valores de conductividad (El Autor, 2014)

10. Para comprobar si los datos interpolados extendidos fueron los mismos que sin extender, se procede a crear unos puntos de evaluación (Puntos randómicos) en el interior de la laguna, con la herramienta “Create Random Points” (Figura 96).

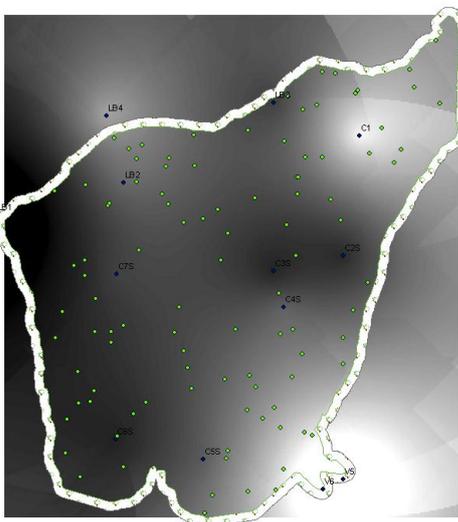


Figura 96. Puntos randómicos en el interior de la laguna de Mapaguña (El Autor, 2014)

11. Luego a los puntos randómicos generados, se añade la tabla de puntos generada anteriormente, utilizando la opción “Join Data” tal como se puede observar en la Figura 97.

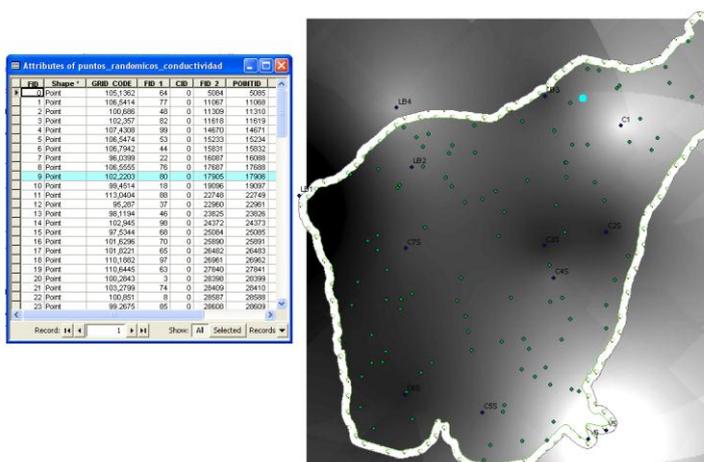


Figura 97. Puntos randómicos con su valor de conductividad (El Autor, 2014)

- Una vez realizada la extensión, se exporta a Raster cada uno de los parámetros, utilizando la opción “Data / Export to Raster”, luego al modelo generado se le hace un corte con el borde de la laguna generado en campo, mediante la herramienta “Clip”, y finalmente, se genera la interpolación de conductividad a nivel superficial de la laguna (Figura 98)

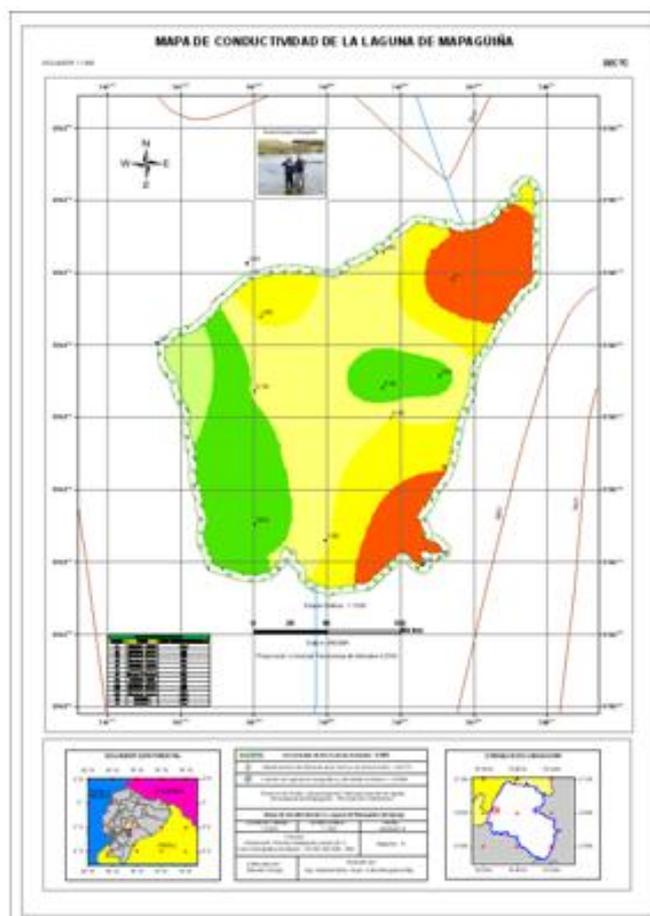


Figura 98. Interpolación de la conductividad a nivel superficial (El Autor, 2014)

En los anexos 37 – 48 se presentan los mapas de cada uno de los parámetros físico-químicos a nivel superficial.

3.5.5. Obtención de alturas de cada uno de los puntos de muestreo superficiales, de profundidad media y alta profundidad.

Las alturas obtenidas con GPS Mobile Mapper en cada uno de los puntos de muestreo en las diferentes campañas, corresponden a sus alturas elipsoidales y se necesita las alturas ortométricas con su profundidad. Por tanto, a continuación se detalla el procedimiento seguido:

- a) Transformar las coordenadas de los puntos muestreados a nivel superficial de UTM a geográficas, mediante el programa Geocalc, como se observa en la Figura 99.
- b) Con el Nima Calculator – EGM96, se determinó la ondulación geoidal de cada uno de los puntos de muestreo.
- c) Se procede a restar a la altura elipsoidal de cada uno de los puntos de muestreo su respectiva ondulación geoidal, para de esta manera obtener la altura ortométrica.
- d) En cuanto a los puntos de muestreo que se encuentran en el centro de la laguna con diferente profundidad, a su valor de altura ortométrica, se le disminuye su valor de profundidad, la cual fue obtenida con la ayuda del muestreador de agua vertical.

Como ejemplo ilustrativo se consideró el punto de muestreo C1; que a continuación se observa:

* $\text{Altura Elipsoidal} - \text{Ondulación Geoidal} = \text{Altura Ortométrica} - \text{Profundidad} =$
Altura Final

$$3849,757 - 26,44 \text{ m.} = 3823,317 \text{ m.}$$

* Después de calcular la altura ortométrica se procede a disminuir la profundidad de la laguna en ese punto:

$$3823,317 \text{ m.} - 1,32 \text{ m.} = 3821,997 \text{ m.}$$

Los resultados de cada punto de muestreo se presentarán con detalle en el próximo capítulo.

3.5.6. Elaboración del modelo de profundidad de la laguna de Mapaguña

En la Figura No. 99 se observa el diagrama de flujo del modelo de profundidad de la laguna de Mapaguña.

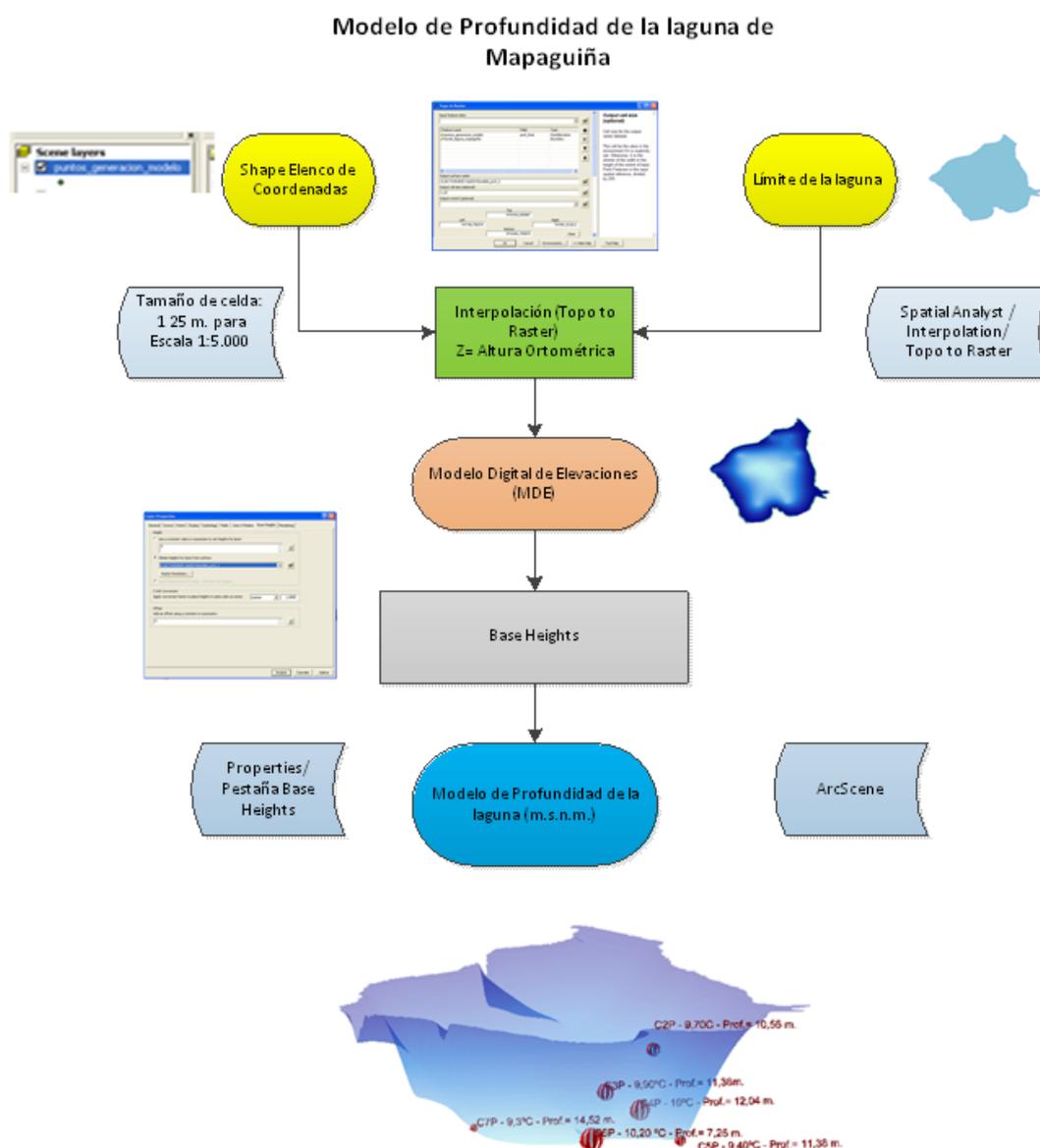


Figura 99. Diagrama de flujo del modelo de profundidad y conductividad de la laguna de Mapaguña (El Autor, 2014)

Con las muestras de agua tomadas en la segunda campaña realizada el 17/may/2013, se procedió a elaborar el modelo de profundidad de la laguna de Mapaguña, a partir de la herramienta de interpolación “Topo to Raster”.

Entre los parámetros considerados en el proceso “Topo to Raster” se tiene la opción: “Point Elevation”, en la cual se debe escoger la variable de la altura ortométrica considerando la profundidad de cada punto como Z, y el “Boundary”, el cual es el límite de la interpolación o el perímetro de la laguna, como se observa en la Figura 100.

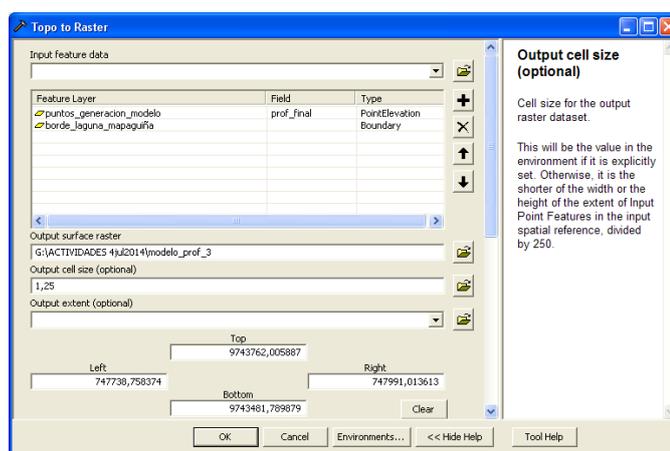


Figura 100. Método de Interpolación Topo to Raster (El Autor, 2014)

El resultado del modelo generado se lo puede observar en el capítulo de resultados.

3.5.7. Inclusión de muestras para visualización en 3D dentro del Modelado de profundidad

Antes de desarrollar el procedimiento detallado, en la Figura 101 se ilustra, a manera general, el proceso seguido a través del diagrama de flujo para la visualización en 3D, de las muestras de conductividad, en el modelo de profundidad de la laguna.

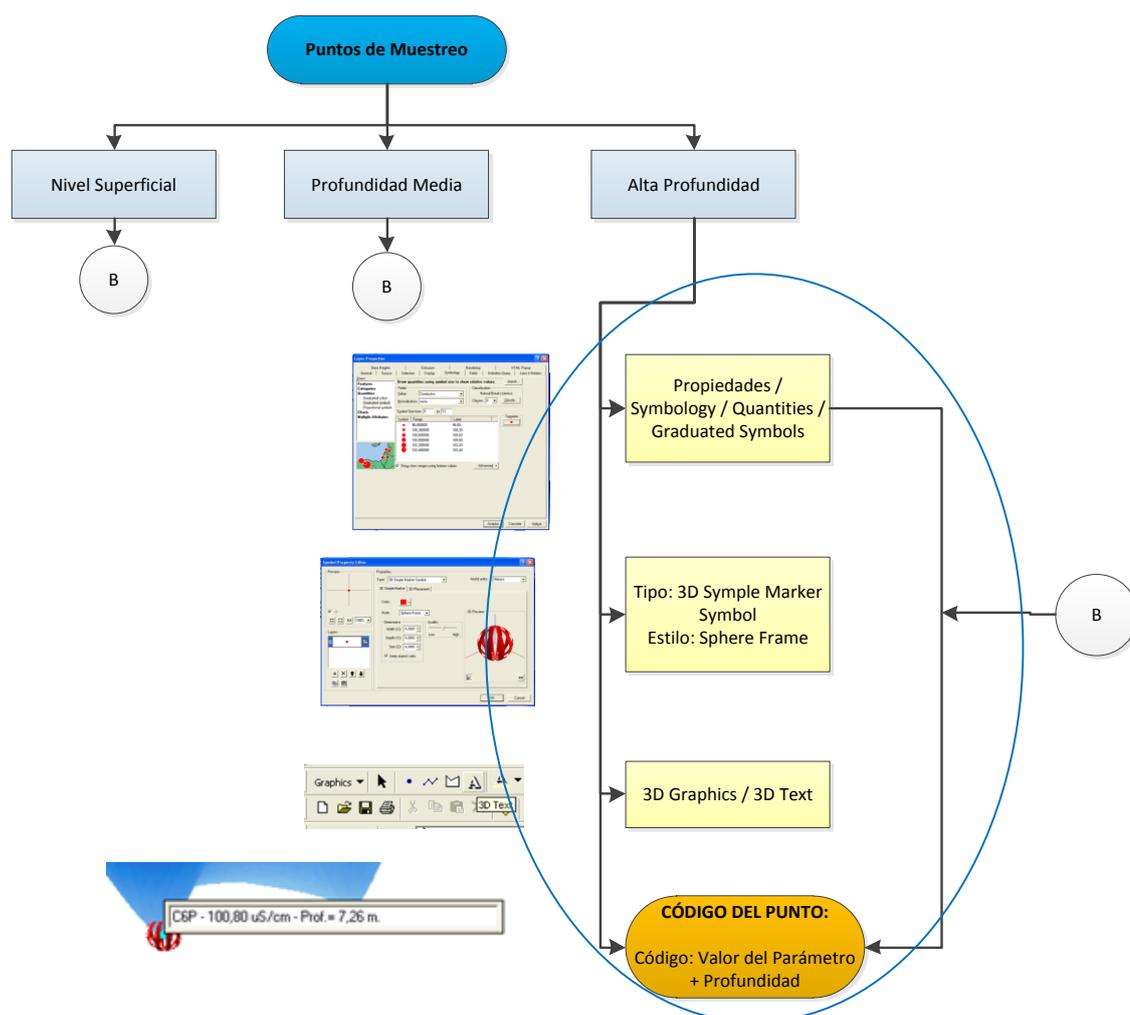


Figura 101. Procedimiento para la inclusión de muestras 3D dentro del modelo de profundidad (El Autor, 2014)

- Se colocan los puntos de muestreo de cada una de las capas: a nivel superficial, a profundidad media y a alta profundidad. En este ejemplo se trabajará con la de alta profundidad.
- Después se da click derecho en la pestaña de Symbology, se escoge la opción “Quantities”, luego la opción “Graduated Symbols”, y en el valor del campo (Field Value) se escoge el parámetro a analizar, como en este caso la conductividad. Se utilizará tantas clases como puntos de muestreo tenga el shape (en el que se esté trabajando). En este caso, serán seis clases, ya que son seis puntos de muestreo, como se puede observar en la Figura No. 102

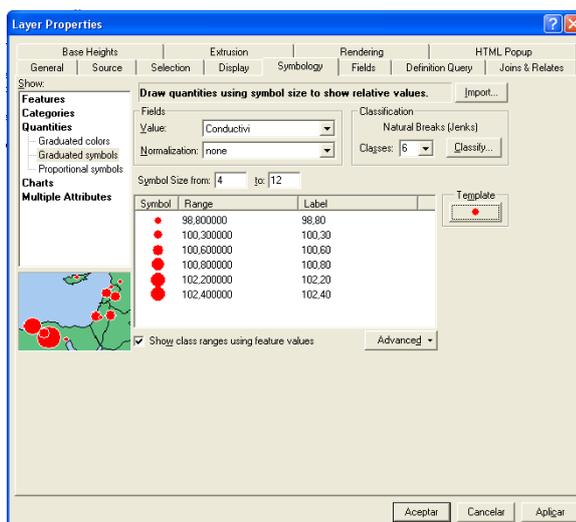


Figura 102. Graduación de simbología para muestras de conductividad (Alta profundidad) (El Autor, 2014)

- Después se escoge el diseño y el tamaño para los puntos de muestreo, en donde el tamaño es mayor mientras sea mayor el valor del parámetro.
- En Propiedades, al dar click derecho en el círculo rojo se observa que en la imagen anterior, en “Tipo” se puede escoger, por ejemplo, la opción: “3D Simple Marker Symbol”, y en estilo se puede seleccionar: “Sphere Frame”. (Figura 103)

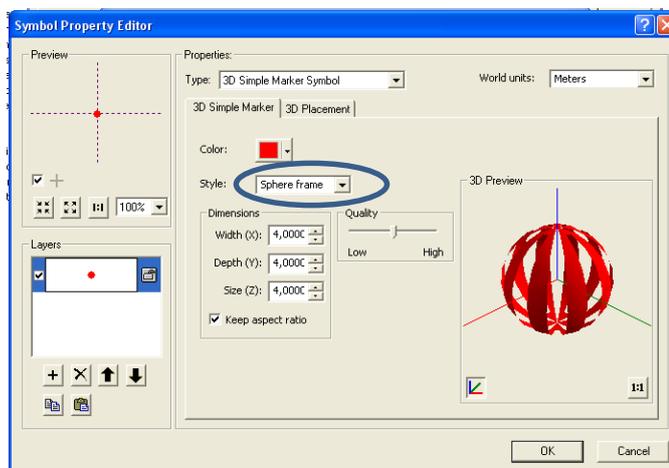


Figura 103. Diseño de los puntos de muestreo de conductividad a nivel superficial (El Autor, 2014)

Después se va a la opción “3D Graphics / 3D Text”, como se puede observar en la Figura No. 104

Luego se coloca el código de cada uno de los puntos de muestreo, su valor del parámetro, en este caso la conductividad y su valor de altura, a través de la opción: “3D Graphics / 3D Text”.



Figura 104. Colocación de texto en el ArcScene (El Autor, 2014).

Para observar a los puntos de muestreo con su altitud en 3D se procede a dar click en “Propiedades”, después escoger la pestaña “Base Heights” y luego seleccionar el campo en donde se encuentran las alturas de cada uno de los puntos de muestreo. (Figura 105).

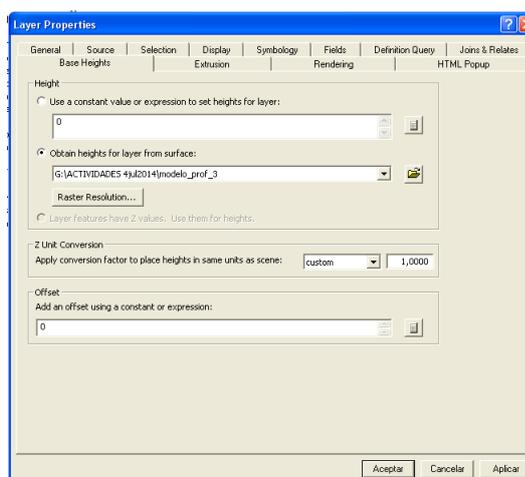


Figura 105. Altitudes ortométricas de los puntos a alta profundidad (El Autor, 2014)

Finalmente, se colocan los códigos de cada uno de los puntos de muestreo, como se puede ver a continuación en el ejemplo ilustrado en la Figura No. 106.

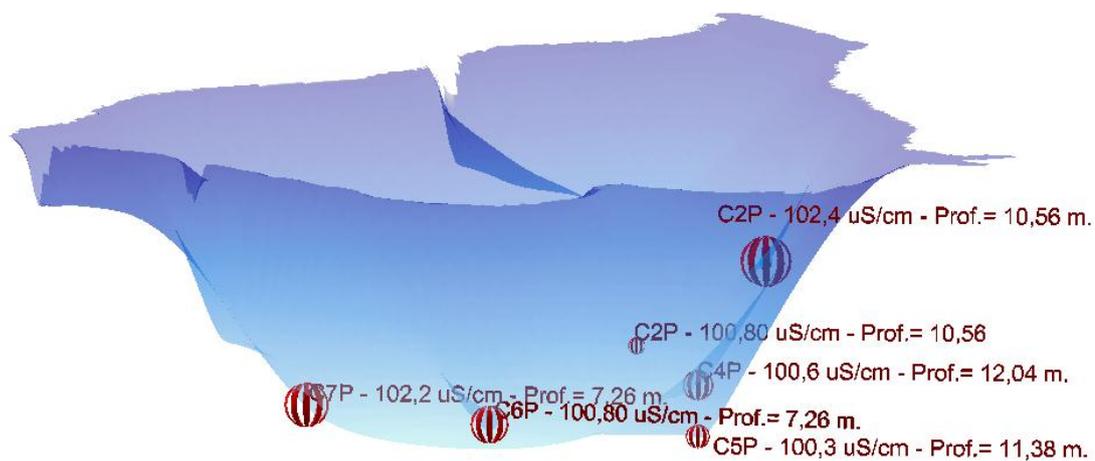


Figura 106. Código de un punto de muestreo de conductividad de la laguna de Mapaguiña a alta profundidad (El Autor, 2014).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Líneas Base

4.1.1 Coordenadas de la EMC de RIOP (Base Inicial)

En la Tabla No. 25 & 26 se presentan las coordenadas UTM, cartesianas (X, Y, Z) y geográficas (latitud y longitud) de la Estación de Monitoreo Continuo de la Base de Riobamba (RIOP), a la cual fue enlazado el punto en Mapaguiña

Tabla 25.
Coordenadas UTM y Cartesianas de la EMC Base de RIOP

Salida	Fecha	Semana GPS	Día GPS	Coordenadas Cartesianas			Coordenadas UTM					
				X (m)	Y (m)	Z (m)	E	N	h(m) *	N (G) (m) *	H (m) *	Época
1	23/feb/2013	1728	54	1255144,9676	-6253609,4339	-182569,7741	761338,84	9817404,77	2817,169	27,32	2789,849	2013,148
2	17/may/2013	1740	137	1255144,9673	-6253609,4300	-182569,7764	761338,84	9817404,76	2817,165	27,32	2789,845	2013,375

Nota:*H= Altura Ortométrica; *h= Altura Elipsoidal; N (G)= Ondulación Geoidal

Tabla 26.
Coordenadas Geográficas de la EMC Base de RIOP

Coordenadas Geográficas								
Salida	Latitud				Longitud			
	G	M	S	O	G	M	S	O
1	1	39	2,142586	S	78	39	3,985372	O
2	1	39	2,142665	S	78	39	3,985356	O
3	1	39	2,142665	S	78	39	3,985356	O

4.1.2 Coordenadas de la Base de Mapaguiña

En la parte inferior, en las Tablas No. 27 & 28 se indican las coordenadas UTM, cartesianas y geográficas de la base de la placa colocada cerca de la laguna de Mapaguiña.

Tabla 27.**Coordenadas UTM y Cartesianas de la Base Mapaguiña**

Salida	Fecha	Coordenadas Cartesianas			Coordenadas UTM			h(m) *	N (G) (m) *	H (m) *	Época
		X (m)	Y (m)	Z (m)	E	N					
1	23/feb/2013	1241594,3389	-6254794,5554	-256331,9758	747719,208	9743662,949	3878,989	26,41	3852,579	2013,148	
2	17/may/2013	1241602,2701	-6254789,2617	-256335,4924	747724,373	9743660,743	3878,222	26,41	3851,812	2013,38	

Nota:*H= Altura Ortométrica; *h= Altura Elipsoidal; N (G)= Ondulación Geoidal

Tabla 28.**Coordenadas Geográficas de la Base Mapaguiña**

Salida	Coordenadas Geográficas						Precisión	
	Latitud			Longitud			PH (m)	PV (m)
	G	M	S	G	M	S		
1	2	19	2,59258	78	46	21,22788	0,007	0,027
2	2	19	2,66409	78	46	21,06064	0,004	0,020

4.1.3 Precisión de las líneas base

A continuación en la tabla No. 29 se presentan las precisiones en las líneas base entre la Estación de Monitoreo Continuo (EMC) de Alausí (ALEC) y la base de Mapaguiña en la primera y la segunda campaña:

Tabla 29.
Precisión de la línea base de Alausí a Mapaguiña

Campañas	Línea Base	PH (m.)	PV (m.)	Tipo de Solución
23/feb/2013	ALEC – BASE1	0,007	0,027	Fija
17/may/2013	ALEC – BASE2	0,004	0,020	Fija

Nota: PH= Precisión Horizontal; PV= Precisión Vertical

4.2 Vías de acceso a la laguna de Mapaguiña

4.2.1 Distancia desde Mapaguiña a los sitios de abastecimiento

A continuación en la tabla 30 se observan las distancias de los centros poblados y abastecimientos cercanos e importantes a la laguna de Mapaguiña:

Tabla 30.

Distancia desde Mapaguiña a los sitios de abastecimiento

Distancia / km	Alausí			Guasuntos			Achupallas				
	EMC RIOP (Euclidiana) (km)	EMC Alausí (Euclidiana) (km)	Euclidiana (km)	Verdadera (km)	Diferencia (km)	Euclidiana (km)	Verdadera (km)	Diferencia (km)	Euclidiana (km)	Verdadera (km)	Diferencia (km)
Laguna de Mapaguiña	74,208	15,225	15,1	32,6	17,5	9,78	17,7	7,9	3,83	4,54	0,71

4.2.2 Distancia de las vías de acceso a la laguna de Mapaguiña

En la Tabla No. 31 se presentan las distancias euclidianas y verdaderas entre los poblados aledaños a la laguna de Mapaguiña, como son: Alausí, Guasuntos y Achupallas.

Tabla 31.**Distancia entre los poblados cercanos a la laguna de Mapaguiña**

Lugares	Distancia Euclidiana (km)	Distancia Verdadera (km)	Tiempo Verdadero (h:m:s)
Alausí – Guasuntos	5,61	14,87	0:19:37
Guasuntos – Achupallas	6,71	14,36	0:20:34
Achupallas – Parqueadero	3,1	4	0:19:47
Parqueadero – Laguna	0,8636	0,93	0:35:56

4.3 Resultados de la primera campaña.

En primera instancia se presentan en la tabla No. 32 las coordenadas de la base GNSS colocada el 23/feb/2013 en una placa de aluminio empotrada en el piso sobre una roca.

Esta placa se colocó picando la roca con martillo de geólogo y posteriormente se puso una mezcla de cemento para que la placa quede asegurada.

Tabla 32.

Detalles del Punto Base tomado con GPS Doble Frecuencia 5800 en la Primera Campaña

ID Punto	Hora de inicio	Hora final	Duración	Método de Antena	Altura de la antena	Modo Topográfico	Tipo de Receptor
base-map23feb-b	10:49	13:53	3:04:30	Base del soporte de la antena	1,321 m.	Estático	5800 II

Posteriormente, se tomaron los datos con el GPS (Mobile Mapper) en los límites y a 2 metros del borde de la laguna, cuyas coordenadas se presentan en la tabla No. 33

Tabla 33.

Coordenadas UTM de los puntos de muestreo de los bordes de la laguna de Mapaguña en la primera campaña (23/feb/2013)

Pto	Hora	Duración	Distancia base (m)	Este	Norte	Altitud (m.s.n.m.)	Satélites	PDOP	EH (m)	EV (m)
P01	10:51:04	0:08:13	10,7	747739,060	9743649,201	3876,409	8	1,9	0,312	0,229
P02	11:17:58	0:12:17	19,8	747741,266	9743637,251	3876,623	8	2,1	0,346	0,159
P03	11:48:19	0:05:28	48,4	747751,369	9743610,032	3877,528	7	2,4	0,574	0,633
P04	12:17:51	0:04:37	70,2	747747,101	9743598,121	3879,294	7	2,7	0,691	0,635
P05	12:23:48	0:04:59	28,0	747713,339	9743629,857	3884,132	7	2,8	0,519	0,432
P06	12:39:59	0:00:35	35,5	747761,753	9743666,544	3879,002	7	2,6	0,926	1,098
P07	12:55:06	0:01:49	90,0	747805,013	9743700,992	3877,462	7	2,4	0,700	0,714
P08	13:13:15	0:05:50	138,5	747859,278	9743699,689	3875,915	8	2,0	0,698	0,653
P09	13:36:57	0:05:18	207,1	747916,278	9743738,934	3880,353	8	2,0	0,400	0,350

Nota: **EH:** Error horizontal; **EV:** Error vertical

Se observa en la tabla, que mientras más tiempo se toma el punto de muestreo y este se encuentra más cerca de la base, la precisión es mejor. Por ejemplo, se observa que el

punto 2 fue tomado durante 12 minutos y 17 segundos, alcanzó la mejor precisión, siendo esta en horizontal de 34,6 cm y en vertical de 15,9 cm, a pesar de estar a una distancia de 19,8 m; mientras que el punto 1, el más cercano al punto base, que se encuentra a 10,7 m. de esta, alcanzó una precisión de 31,2 cm en horizontal y de 22,9 cm en vertical.

Analizando la calidad de la geometría satelital de los resultados ilustrados en el Gráfico 2, se puede observar que el promedio de PDOP de los puntos es de 2,32, indicando esto que la calidad de la geometría de los satélites GPS es buena, ya que es menor que 5.

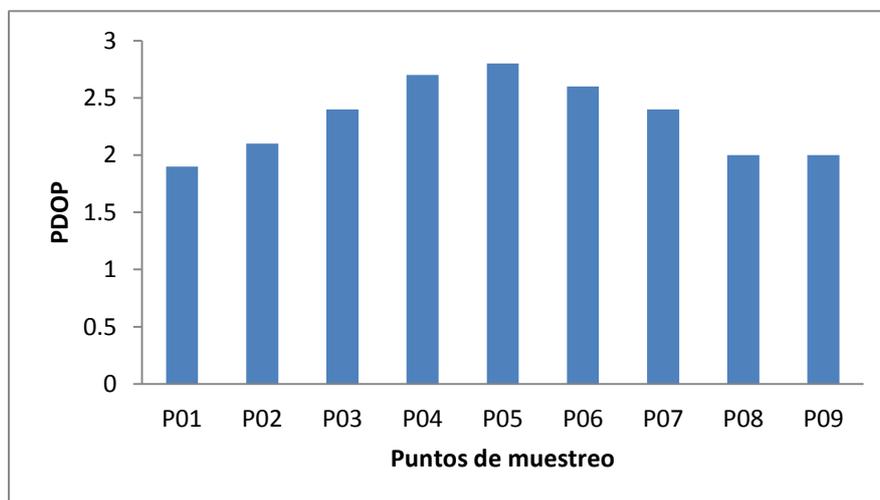


Gráfico 2. Valor de PDOP de los puntos de muestreo de la primera campaña (El Autor, 2014)

A continuación en la Tabla No. 34 se presentan las coordenadas geográficas de cada punto de muestreo, obtenidas mediante el Geocalc y su respectiva ondulación geoidal utilizando el Nima Calculator EGM96, la cual servirá para posteriormente calcular la altura ortométrica:

Tabla 34.

Coordenadas geográficas de los puntos de los bordes de la laguna de Mapaguña de la primera campaña (23/feb/2013)

Descripción	Latitud				Longitud				Altura Elipsoidal (m.s.n.m.)	Ondulación Geoidal	Altura Ortométrica	
	G	M	S	O	G	M	S	O				
P01	Borde	2	19	3,039	S	78	46	20,5849	O	3876,409	26,41	3849,999
P02	Borde	2	19	3,4278	S	78	46	20,5129	O	3876,623	26,41	3850,213
P03	Borde	2	19	4,3131	S	78	46	20,1846	O	3877,528	26,41	3851,118
P04	Borde	2	19	5,031	S	78	46	20,0063	O	3879,294	26,41	3852,884
P05	Ojo de Agua	2	19	3,6698	S	78	46	21,4161	O	3884,132	26,41	3857,722
P06	Borde	2	19	2,4734	S	78	46	19,8516	O	3879,002	26,42	3852,582
P07	Borde	2	19	1,3501	S	78	46	18,4537	O	3877,462	26,42	3851,042
P08	Borde	2	19	1,3929	S	78	46	16,6938	O	3875,915	26,43	3849,485
P09	Borde	2	19	0,1095	S	78	46	14,8558	O	3880,353	26,44	3853,913

Como se puede observar en la presente tabla, la altura ortométrica promedio de los puntos de muestreo es de 3904,94311 m. Además las ondulaciones geoidales son similares en todos los puntos de muestreo, teniendo una variación de 3 cm.

Análisis de parámetros fisicoquímicos:

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos tomados en los bordes de la laguna se presentan en la tabla No. 35, donde constan los análisis “in situ”. Se puede apreciar con respecto a la temperatura que varía en tres grados desde el P01 al P02, esto es debido

a que las tomas tuvieron un distanciamiento de unas tres horas, y el clima cambió, aumentando la temperatura en 3 grados, sin embargo a lo largo de los muestreos permaneció constante.

La tabla No. 35 presenta el promedio de los parámetros y en función de este se realizará la discusión. El pH de la laguna está en 8,33 lo cual indica que es medianamente alcalina, pero esto no influye negativamente en la calidad de agua, sin embargo está en concordancia con la alcalinidad con un valor de 18 mg CaCO₃/L a los (HCO₃⁻), lo cual según (Kevern , 1996) representa una alcalinidad baja. Con respecto a la conductividad está en 56,58 µS/cm, con un bajo contenido iónico según (Roldán & Ramírez, 2008), esto puede ser debido a la escasa cantidad de sales minerales que posee el agua.

Tabla 35.

Parámetros Físicoquímicos de la Primera Campaña (23/feb/2013)

No.	Lugar	T (°C) Ambiente	T (°C) Agua	pH	Conductividad (µS/cm)	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L) a (HCO ₃ ⁻)
P01	Borde	16	13,9	8,08	58,01	17
P02	Borde	19	18,7	8,74	56,50	19
P03	Borde	19	17,0	8,32	56,30	18
P04	Borde	19	19,6	8,32	57,40	22
P05	Ojo de Agua	19	15,3	8,01	52,30	15
P06	Borde	19	20,8	8,76	55,10	18
P07	Borde	19	19,8	8,73	54,10	15
P08	Borde	19	18,2	7,09	58,50	19
P09	Borde	19	15,6	8,96	61,00	19
Media		18,67	17,66	8,33	56,58	18,00

4.4 Resultados de la segunda campaña

4.4.1 Resultados en los bordes

Las coordenadas de los puntos tomados en los bordes de la laguna con el GPS Mobile Mapper se pueden observar en la Tabla No. 36

Tabla 36.

Coordenadas de los bordes de la laguna de Mapaguiña de la segunda campaña (17/may/2013)

Punto	Descripción	Este (m)	Norte (m)	Altura Elipsoidal (m)	Latitud				Longitud				Ondulación Geoidal	Altura Ortométrica (m.s.n.m.)
					G	M	S	O	G	M	S	O		
LB1	Borde	747734,100	9743651,300	3876,000	2	19	2,9709	S	78	46	20,7455	O	26,41	3849,590
LB2	Borde	747804,700	9743669,200	3872,000	2	19	2,3847	S	78	46	18,4622	O	26,42	3845,580
LB3	Borde	747888,200	9743713,800	3876,000	2	19	0,9290	S	78	46	15,7629	O	26,43	3849,570
LB4	Borde	747795,400	9743706,500	3877,000	2	19	1,1713	S	78	46	18,7650	O	26,43	3850,570

La altura ortométrica promedio de los bordes de la laguna es de 3848,828 m., y para el caso de estos puntos de muestreo la variación de la ondulación geoidal es de 2 cm.

Análisis de parámetros fisicoquímicos:

Los datos promedios de la tabla No. 37 indican que el pH de la laguna registra un valor de 7,82 el cual es ligeramente alcalina, la temperatura del agua está en 18,15°C, indicando una temperatura ligeramente alta, tomando en cuenta que es una zona de páramo, y que el clima puede variar de un momento a otro, lo cual pudo deberse a que el muestreo se realizó en época seca.

La alcalinidad presenta un valor de 3,375 mg CaCO₃/L y según rangos de alcalinidad de (Kevern , 1996) significa que tiene un nivel bajo, debido a que es menor a 75 mg CaCO₃/L, lo que indica que tiene poca capacidad de amortiguación, es susceptible a cambios rápidos en el pH a causa de la adición de ácidos o bases.

La conductividad está en 91,06 µS/cm, por lo cual tiene un contenido iónico intermedio según (Roldán & Ramírez, 2008), y este valor indica que se tienen diversidades intermedias de especies en este ecosistema acuático.

El oxígeno disuelto indica un valor de 6,9 mg/L, y cumple con la norma del TULAS, libro VI, anexo I, tabla 3, que para el agua fría dulce, no debe ser menor a 6 mg/L, con lo que su presencia indica que no existe contaminación, ya que este es esencial para mantener la vida en los cuerpos de agua (Arce & Leiva, 2009).

Los nitratos se encuentran en un rango de 0,2 a 0,4 mg/L, por lo que según (Cedex, 2006), el agua no está contaminada con nitratos, ya que es menor a 25 mg/L, lo cual muestra que en esta zona la eutrofización de la laguna es baja, debido a que los nutrientes, como en este caso los nitratos se presentan en bajas cantidades, esto también manifiesta que existen bajas actividades agrícolas en los alrededores de la laguna. Además de cumplir con el límite máximo permisible para el criterio de calidad de aguas de uso pecuario del TULAS, libro VI, anexo 1, tabla 8, que es de 10 mg/L. Los nitritos están en 0,008 mg/L y según el TULAS, libro VI, anexo I, tabla 8, criterios de calidad para aguas de uso pecuario, indica que están dentro del valor máximo permisible, siendo este de 1 mg/L, esto se da porque es difícil encontrar nitritos en cantidades apreciables en condiciones de baja oxigenación. (Barrenechea., 2008). En cuanto a los fosfatos, estos presentan un valor de 0,97 mg/L, y según (Otero, 2011) estarían poco contaminadas, al ser menores a 1 mg/L, lo que indica que existe una eutrofización baja en las aguas, con respecto a los fosfatos, por lo cual también existe baja cantidad de sedimentos (Barrenechea., 2008).

Los sulfatos están en 5,75 mg/L, lo que los ubica dentro del rango de entre 2 y 250 mg/L de sulfatos según (Menorca, 2014), y esto manifiesta que las aguas de la laguna son pobres en yesos y no poseen contaminación con aguas residuales industriales. (Ambientum, 2014).

Tabla 37.**Datos de los parámetros fisicoquímicos de la segunda campaña de los bordes (17/may/2013)**

Código	pH	Temp. (°C)	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L) como (HCO ₃ ⁻)	Conductividad (µS/cm)	Sólidos Suspendidos (mg/L)	Oxígeno Disuelto (O ₂ mg/L)	Nitratos (NO ₃ ⁻) (mg/L)	Nitritos (NO ₂ ⁻) (mg/L)	Fosfatos (PO ₄ ³⁻) (mg/L)	Sulfatos (SO ₄ ²⁻) (mg/L)	Color (PtCo)	Turbidez (UTN)
LB 1	8,36	18,1	3,50	65,6	14	6,8	0,2	0,007	0,11	5	54	21
LB 2	8,65	18,5	2,00	99,2	35	6,8	ND ¹	0,010	0,98	7	50	58
LB 3	6,63	17,9	1,50	93,0	64	6,1	0,3	0,009	0,86	7	79	90
LB 4	7,64	18,1	6,50	106,4	15	8,0	0,4	0,005	1,94	4	40	23
Media	7,82	18,15	3,375	91,06	32	6,925	0,3	0,008	0,9725	5,75	55,75	48

¹ND= No detectable

4.4.2 Resultados de la toma de muestras en las vertientes

A continuación en la Tabla No. 38 se muestran las coordenadas UTM de los puntos tomados de las vertientes con el GPS Mobile Mapper.

Tabla 38.**Coordenadas UTM de las vertientes de la laguna de Mapaguña (17/may/2013)**

Punto	Descripción	Este (m)	Norte (m)	Altura Elipsoidal (m)	Latitud			Longitud			Ondulación Geoidal	Altura Ortométrica (m.s.n.m.)
					G	M	S	G	M	S		
V1	Vertiente	747743,000	9743400,600	3887,000	2	19	11,1295	78	46	28,4448	26,38	3860,620
V2	Vertiente	747677,900	9743258,700	3918,000	2	19	15,7510	78	46	22,5438	26,40	3891,600
V3	Vertiente	747692,700	9743221,800	3910,000	2	19	16,9511	78	46	22,0630	26,40	3883,600
V4	Vertiente	747713,000	9743197,800	3904,000	2	19	17,7312	78	46	21,4050	26,40	3877,600
V5	Vertiente	747926,800	9743503,500	3878,000	2	19	7,7712	78	46	14,5033	26,43	3851,570
V6	Vertiente	747915,600	9743498,000	3878,000	2	19	7,9508	78	46	14,8654	26,43	3851,570

La altura ortométrica promedio de los puntos de muestreo en las vertientes es de 3869,427 m. y la diferencia entre sus ondulaciones geoidales es de 5 cm.

Análisis de parámetros fisicoquímicos:

De la tabla No. 39 los datos promedios indican que, el pH de la laguna está en 6,79, siendo esta ligeramente ácida, mientras que la temperatura se encuentra en 19,02°C, ya que al tomar las muestras éstas son calentadas rápidamente por el sol porque son pequeños riachuelos.

En cuanto a la alcalinidad, esta presenta un valor de 8,58 mg CaCO₃/L y según (Kevern , 1996) esta es baja, ya que es menor a 75 mg CaCO₃/L, por lo cual puede experimentar mayores variaciones en su pH, esto como consecuencia a las variaciones en la concentración de CO₂, debidas a los fenómenos de fotosíntesis y respiración. Para el caso de la conductividad, se encuentra en 104,6 µS/cm, siendo de un contenido iónico intermedio según (Roldán & Ramírez, 2008), lo que manifiesta que la zona tiene un contenido intermedio de sales disueltas en ella, perteneciendo a la categoría de aguas muy poco salobres, en lo que se refiere a las aguas naturales (Marcó, 2003).

El oxígeno disuelto está en 7,27 mg/L, lo que indica la existencia de condiciones aerobias en la zona (Juárez, Franco, & Ascencio, 2009) y cumple con la norma del TULAS, libro VI, anexo 1, tabla 3, que para el agua fría dulce debe ser de al menos 6 mg/L.

Los nitratos se encuentran en un rango de 0,2 a 0,4 mg/L, y cumplen con el límite máximo permisible del TULAS, libro VI, anexo I, tabla 8, que es de 10 mg/L, y según (Cedex, 2006), no está contaminada con este parámetro, ya que es menor a 25 mg/L, y lo cual indica que la zona tiene una baja escurrentía.

En cuanto a los nitritos, se presentan en un rango de 0,007 a 0,036 mg/L, y se lo encuentra en bajas cantidades, debido a que es 10 veces más potente que el nitrato, y también cumple con los criterios de calidad para aguas de uso pecuario del TULAS, libro VI, anexo I, tabla 8, cuyo límite máximo permisible es de 1 mg/L.

Los fosfatos se encuentran en 0,38 mg/L, y según (Otero, 2011) la laguna está poco contaminada con fosfatos, debido a que están en un rango menor a 1 mg/L, esto indica que en esta zona no se acumulan mayormente sedimentos (Barrenechea., 2008).

En cuanto a los sulfatos, presentan un valor de 2,83 mg/L, con lo cual están dentro del rango de aguas dulces, que es de 2 a 250 mg/L, según (Menorca, 2014), esto puede representar la frecuencia de lluvia en la zona, debido a que los sulfatos son los principales constituyentes disueltos de la lluvia (Lenntech., 2012). El color registra un valor de 36,17 unidades de Platino Cobalto, y esto indica la presencia de iones metálicos como hierro y manganeso y esto se debe a que el color no puede superar las 20 unidades de platino cobalto en las aguas de uso doméstico (Bolaños *et al.*, 2011), lo que lo ubica dentro del rango del TULAS, libro VI, anexo I, tabla 1, que es de 100 unidades

En el caso de la turbidez, se encuentra en 11,17 UTN, perteneciendo a la categoría de aguas turbias, ya que según Otero (2011), su valor es mayor a 5 UTN, y esto indica un exceso de materia en suspensión.

Los nitratos se encuentran en un rango de 0,2 a 0,4 mg/L, y cumplen con el límite máximo permisible del TULAS, libro VI, anexo I, tabla 8, que es de 10 mg/L, y según (Cedex, 2006), no está contaminada con este parámetro, ya que es menor a 25 mg/L, y lo cual indica que la zona tiene una baja escurrentía.

En cuanto a los nitritos, se presentan en un rango de 0,007 a 0,036 mg/L, y se lo encuentra en bajas cantidades, debido a que es 10 veces más potente que el nitrato, y también cumple con los criterios de calidad para aguas de uso pecuario del TULAS, libro VI, anexo I, tabla 8, cuyo límite máximo permisible es de 1 mg/L.

Los fosfatos se encuentran en 0,38 mg/L, y según (Otero, 2011) la laguna está poco contaminada con fosfatos, debido a que están en un rango menor a 1 mg/L, esto indica que en esta zona no se acumulan mayormente sedimentos (Barrenechea., 2008).

En cuanto a los sulfatos, presentan un valor de 2,83 mg/L, con lo cual están dentro del rango de aguas dulces, que es de 2 a 250 mg/L, según (Menorca, 2014), esto puede representar la frecuencia de lluvia en la zona, debido a que los sulfatos son los principales constituyentes disueltos de

la lluvia (Lenntech., 2012). El color registra un valor de 36,17 unidades de Platino Cobalto, y esto indica la presencia de iones metálicos como hierro y manganeso y esto se debe a que el color no puede superar las 20 unidades de platino cobalto en las aguas de uso doméstico (Bolaños, 2011), lo que lo ubica dentro del rango del TULAS, libro VI, anexo I, tabla 1, que es de 100 unidades

En el caso de la turbidez, se encuentra en 11,17 UTN, perteneciendo a la categoría de aguas turbias, ya que según (Otero, 2011), su valor es mayor a 5 UTN, y esto indica un exceso de materia en suspensión.

Tabla 39.

Datos de los parámetros fisicoquímicos de la segunda campaña de las vertientes (17/may/2013)

Código	pH	Temperatura (°C)	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L) a (HCO ₃ ⁻)	Conductividad (µS/cm)	Sólidos Suspendidos (mg/L)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Color (PtCo)	Turbidez (UTN)
V1	7,05	18,6	8,5	72,1	2	7,0	0,2	0,036	0,09	4	47	5
V2	7,37	18,5	7,5	97,6	4	6,3	0,3	0,009	0,23	6	24	5
V3	7,62	19,7	7,5	102,7	1	8,1	0,4	0,007	0,66	2	52	5
V4	6,20	17,6	11,0	107,2	2	8,2	0,4	0,007	0,37	2	14	3
V5	6,35	19,9	9,0	124,9	1	6,3	0,1	0,007	0,75	2	36	18
V6	6,17	19,8	8,0	123,1	2	7,7	0,3	0,007	0,18	1	44	31
Media	6,79	19,02	8,58	104,6	2	7,27	0,28	0,012	0,38	2,83	36,17	11,17

4.4.3 Resultados de la toma de muestras en el río Chúquira

En la Tabla No. 40 se muestran las coordenadas de los puntos de muestreo tomados en el río Chúquira:

Tabla 40.

Coordenadas UTM del río Chúquira de la laguna de Mapagüña de la segunda campaña (17/may/2013)

Punto	Descripción	Este (m)	Norte (m)	Altura Elipsoidal (m)	Latitud			Longitud			Ondulación Geoidal	Altura Ortométrica (m.s.n.m.)		
					G	M	S	O	G	M			S	O
RP1	Vertiente	747824,400	9743251,100	3879,000	2	19	15,9908	S	78	46	17,8035	O	26,41	3852,590
RP2	Vertiente	747822,500	9743230,800	3880,000	2	19	16,6516	S	78	46	17,8640	O	26,41	3853,590
RP3	Vertiente	747826,200	9743219,800	3880,000	2	19	17,0094	S	78	46	17,7437	O	26,41	3853,590
RP4	Vertiente	747831,700	9743210,500	3877,000	2	19	17,3118	S	78	46	17,5653	O	26,41	3850,590
RP5	Vertiente	747833,600	9743197,600	3875,000	2	19	17,7315	S	78	46	17,5031	O	26,41	3848,590
RP6	Vertiente	747837,300	9743186,600	3876,000	2	19	18,0893	S	78	46	17,3829	O	26,41	3849,590
RP7	Vertiente	747835,400	9743175,500	3878,000	2	19	18,4506	S	78	46	17,4438	O	26,41	3851,590

Análisis de parámetros fisicoquímicos:

De la tabla No. 41 los datos promedios indican que, el pH de la laguna está en 7,49, siendo ligeramente alcalina, y para el caso de la alcalinidad, se encuentra en 6,71 mg CaCO₃/L, teniendo un promedio bajo, al ser menor a 75 mgCaCO₃/L, según (Kevern , 1996), siendo el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, bajo en esta zona. (Otero, 2011).

En cuanto a la conductividad, está en 106,64 µS/cm, teniendo un contenido iónico intermedio, lo que asimismo indica un desarrollo intermedio del metabolismo en esta zona del ecosistema. (Roldán & Ramírez, 2008).

Para el caso del oxígeno disuelto, presenta un valor de 7,7 mg/L, que según el TULAS, libro VI, anexo I, tabla 3, criterios de calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en las aguas dulces, se encuentra dentro del rango, ya que es mayor a 6 mg/L, lo cual muestra una buena actividad fotosintética en la zona (Horne & Goldman, 1994).

Los nitratos están en un rango de 0,1 a 0,4 mg/L, cumpliendo así con el límite máximo permisible para el criterio de calidad de aguas de uso pecuario del TULAS, libro VI, anexo 1, tabla 8, que es de 10 mg/L, lo cual muestra que este parámetro ayuda poco en el desarrollo de animales y plantas acuáticas (Barrenechea., 2008).

En lo que se refiere a los nitritos, estos presentan un valor de 0,006 mg/L, teniendo una alta oxigenación al encontrarse en bajas cantidades, y siendo menores al valor máximo permisible de los criterios de calidad para aguas de uso pecuario del TULAS, libro VI, anexo I, tabla 8, que es de 1 mg/L. Para el caso de los fosfatos, estos registran un valor de 0,143 mg/L, existiendo así una baja eutrofización en la zona, y según (Otero, 2011), siendo aguas poco contaminadas por este parámetro, al ser menores a 1 mg/L.

Los sulfatos están en 4,14 mg/L, y se encuentran dentro del rango para aguas dulces, que está entre 2 y 250 mg/L de sulfatos, según (Menorca, 2014), por lo que es bueno que se encuentre dentro de este rango, y mientras más bajo sea, mejor, debido a que los sulfatos son procedentes del ácido sulfúrico fuerte (H₂SO₄), el cual al disolverse en agua

produce gran desprendimiento de calor que puede llegar a hacer hervir la disolución (Buriel, Lucena, & Arribas, 1983).

Para el caso del color, este presenta un valor de 35,71 unidades de Platino Cobalto, con lo que según (Roldán & Ramírez, 2008), es baja la acción de la luz sobre los materiales particulados suspendidos. En cuanto a la turbidez, esta se encuentra en 9,86 UTN, lo cual la ubica en el rango de aguas turbias según (Otero, 2011), porque su valor es mayor a 5 UTN, lo que indica que el agua es ligeramente clara, y que existen sólidos en suspensión en pequeñas cantidades, al ser menor a 10 UTN, debido a que aguas muy turbias llegan a tener hasta 1500 UTN (Gonzales, 2011).

Tabla 41.

Datos de los Parámetros Físicoquímicos de la Segunda Campaña del Río Chúquira que desemboca en la Laguna de Mapaguiña (17/may/2013)

No.	pH	Temperatura (°C)	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L a (HCO ₃ ⁻)	Conductividad (µS/cm)	Sólidos Suspendidos (mg/L)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Color (PtCo)	Turbidez(UTN)
M1	7,48	17,4	7,5	96,8	5	8,6	ND ¹	0,006	0,13	7	35	10
M2	7,29	18,9	7,0	107,2	2	7,8	0,4	0,005	ND ¹	2	25	14
M3	7,45	19,4	6,5	109,5	1	7,5	0,1	0,007	0,08	2	35	13
M4	7,63	18,7	5,5	145,1	7	7,6	0,2	0,005	0,09	8	32	15
M5	7,58	18,9	6,5	93,5	3	7,4	ND ¹	0,004	0,02	2	61	9
M6	7,62	17,8	6,5	102,1	3	7,5	ND ¹	0,007	0,28	5	36	3
M7	7,43	18,4	7,5	92,3	3	7,5	0,1	0,005	0,26	3	26	5
Media	7,49	18,5	6,71	106,64	3,43	7,7	0,2	0,006	0,143	4,14	35,71	9,86

¹ ND=No detectable

4.4.4. Resultados de la toma de muestras en el centro de la laguna

En la Tabla No. 42 que se presenta a continuación, se muestran las coordenadas de los puntos de muestreo y sus profundidades, tomados en el centro de la laguna de Mapaguña con el GPS Mobile Mapper.

Tabla 42.

Coordenadas de los puntos del centro de la laguna de Mapaguña de la segunda campaña (17/may/2013)

Punto	Descripción	Este (m)	Norte (m)	h (m)	EH (m.)	EV (m.)	PB (m)	PM (m)	PA (m)	Latitud			Longitud			N (G)	H		
										G	M	S	O	G	M			S	O
C1	Centro	747935,714	9743695,223	3897,043	1,245	0,940	1,32	--	--	2	19	1,5311	S	78	46	14,2247	O	26,44	3870,603
C2	Centro	747926,510	9743628,361	3897,325	1,453	1,048	1,32	6,60	10,56	2	19	3,7076	S	78	46	14,5191	O	26,43	3870,895
C3	Centro	747888,000	9743619,700	3882,000	--	--	1,32	5,28	11,38	2	19	3,9915	S	78	46	15,7646	O	26,43	3855,570
C4	Centro	747893,500	9743599,500	3876,000	--	--	1,32	5,28	12,04	2	19	4,6486	S	78	46	15,5856	O	26,43	3849,570
C5	Centro	747848,900	9743514,700	3875,000	--	--	1,32	5,28	11,38	2	19	7,4107	S	78	46	17,0243	O	26,42	3848,580
C6	Centro	747800,700	9743525,900	3876,000	--	--	1,32	1,98	7,26	2	19	7,0487	S	78	46	18,5843	O	26,42	3849,580
C7	Centro	747800,900	9743618,000	3877,000	--	--	1,32	6,60	14,52	2	19	4,0512	S	78	46	18,5825	O	26,42	3850,580

Nota: h= Altura Elipsoidal; PB= Profundidad Baja; PM= Profundidad Media; PA= Profundidad Alta; N (G)= Ondulación Geoidal; H= Altura Ortométrica

El promedio de error en horizontal es de 1,349 m. y en vertical es de 0,994 m.

A continuación en la tabla No. 43, se observan las profundidades de los puntos muestreados, con sus respectivas alturas aproximadas de la resta de la altura de la laguna y su profundidad.

Tabla 43.
Profundidad de los puntos de muestreo del centro de la laguna de Mapaguiña

Nombre del Punto	Descripción	H	Profundidad (m.)	Altura Final (m.s.n.m.)
C1	Profundidad Baja	3870,603	1,32	3869,283
C2S	Profundidad Baja	3870,895	1,32	3869,575
C2M	Profundidad Media	3870,895	6,6	3864,295
C2P	Profundidad Alta	3870,895	10,56	3860,335
C3S	Profundidad Baja	3855,570	1,32	3854,250
C3M	Profundidad Media	3855,570	5,28	3850,290
C3P	Profundidad Alta	3855,570	11,38	3844,190
C4S	Profundidad Baja	3849,570	1,32	3848,250
C4M	Profundidad Media	3849,570	5,28	3844,290
C4P	Profundidad Alta	3849,570	12,04	3837,530
C5S	Profundidad Baja	3848,580	1,32	3847,260
C5M	Profundidad Media	3848,580	5,28	3843,300
C5P	Profundidad Alta	3848,580	11,38	3837,200
C6S	Profundidad Baja	3849,580	1,32	3848,260
C6M	Profundidad Media	3849,580	1,98	3847,600
C6P	Profundidad Alta	3849,580	7,26	3842,320
C7S	Profundidad Baja	3850,580	1,32	3849,260
C7M	Profundidad Media	3850,580	6,6	3843,980
C7P	Profundidad Alta	3850,580	14,52	3836,060

Nota: H= Altura Ortométrica (m.s.n.m.)

Análisis de parámetros fisicoquímicos:

Los parámetros que se analizaron en esta campaña son: pH, conductividad, alcalinidad, temperatura, oxígeno disuelto, nitratos, fosfatos, nitritos, sulfatos y turbidez y se los va a relacionar con la profundidad de la laguna. (Tabla 44).

De la tabla No. 44 los datos promedios indican que:

El pH registra un valor de 7,85, siendo escasamente alcalina. La temperatura está en 11,4°C, esto debido a que en la zona los rayos del sol ingresan en bajas cantidades.

En cuanto a la alcalinidad, presenta un valor de 13,6 mg CaCO₃/L, siendo esta baja, según (Kevern , 1996), ya que es menor a 75 mgCaCO₃/L, lo cual manifiesta que la productividad en esta zona de la laguna es baja (Massol. A. , 1994).

Para el caso de la conductividad, esta indica un valor de 98,28 µS/cm, lo cual según (Roldán & Ramírez, 2008), la ubica en la categoría de contenido iónico intermedio, debido a que es mayor a 50 µS/cm, y esto indica que existen compuestos orgánicos en medianas cantidades, debido a que a mayor conductividad, mayor cantidad de compuestos orgánicos.

En lo que tiene que ver con el oxígeno disuelto, se encuentra en 7,42 mg/L, y esto indica que las actividades físicas, químicas y bioquímicas en la laguna son aceptables (APHA, 1992), y de esta manera cumple con la norma del TULAS, libro VI, anexo I, tabla 3, que para el agua fría dulce debe ser de al menos 6 mg/L. En cuanto a los nitratos, se presentan en un rango de 0,3 a 1,8 mg/L, lo que indica que el proceso de meteorización en la laguna es bajo (Pacheco, 2003) y según (Cedex, 2006), pertenecen a la categoría de aguas no contaminadas con este parámetro, al ser menores a 25 mg/L, además cumplen con el criterio de calidad de aguas de uso pecuario del TULAS, libro VI, anexo I, tabla 8, cuyo límite máximo permisible es de 10 mg/L.

En lo que se refiere a los nitritos, están en un rango de 0,003 mg/L a 0,034 mg/L, y se lo encuentra en bajas cantidades debido a que se oxidan fácilmente y se convierten en nitratos durante la cloración (Barrenechea., 2008) y cumplen con el límite máximo permisible de los criterios de calidad para aguas de uso pecuario del TULAS, libro VI, anexo I, tabla 8, que es de 1 mg/L. Para el caso de los fosfatos, estos registran un valor de 0,14 mg/L, lo cual para (Otero, 2011) indica que el agua es poco contaminada por este parámetro al ser menor a 1 mg/L, por lo cual el crecimiento de las plantas no se encuentra limitado, debido a que los fosfatos no se encuentran en grandes cantidades. (Barrenechea., 2008).

Los sulfatos presentan un valor de 5,68 mg/L, lo cual los ubica dentro del rango de sulfatos para aguas dulces que según Menorca, (2014), están entre 2 y 250 mg/L, lo que muestra que son terrenos pobres en yesos, generalmente los sulfatos son abundantes en aguas naturales. (Severiche & González , 2012).

El color indica un valor de 42,42 unidades de Platino Cobalto, lo cual según (Roldán & Ramírez, 2008), explica una baja cantidad de sólidos totales en el centro de la laguna.

En lo que tiene que ver con la turbidez, esta registra un valor de 39,47 UTN, lo que para (Otero, 2011), significa que las aguas del centro de la laguna son turbias, ya que esta es mayor a 5 UTN, esto indica que existe gran intensidad de luz dispersa y también gran cantidad de materia sólida suspendida en el agua. Además, mientras mayor sea la turbidez, más se impactan los ecosistemas acuáticos, debido a que se afecta la fotosíntesis, ya que se limita el paso de la luz solar, la respiración y la reproducción de la vida acuática (Gonzales, 2011).

Tabla 44.

Datos de los parámetros fisicoquímicos de la segunda campaña del centro de la laguna de Mapaguña (17/may/2013)

Código	Prof. (m)	pH	Temp. (°C)	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L) a (HCO ₃ ⁻)	Conductividad (µS/cm)	Sólidos Suspendidos (mg/L)	Oxígeno Disuelto (O.D.) (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Color (PtCo)	Turbidez (UTN)
C1	1,32	7,50	12,2	12,6	115,3	125	7,48	0,9	0,034	1,56	8	61	132
C2S	1,32	7,98	12,3	13,4	89,0	2	7,8	0,5	0,006	0,70	8	28	6
C2M	6,60	7,88	11,5	12,6	101,8	30	7,6	0,7	0,007	0,64	4	58	49
C2P	10,56	7,57	9,7	12,4	102,4	82	7,08	1,0	0,018	0,47	11	59	107
C3S	1,32	7,73	12,8	16,0	88,0	2	7,8	0,3	0,003	1,09	5	39	3
C3M	5,28	7,70	11,5	12,4	97,8	18	7,6	0,4	0,006	0,53	5	41	33
C3P	11,38	7,57	9,9	12,0	98,8	33	7,08	0,7	0,006	0,13	5	46	56
C4S	1,32	8,04	13,2	14,8	98,2	3	7,4	0,3	0,004	0,68	4	30	5
C4M	5,28	7,79	11,7	13,4	99,8	20	7,28	0,4	0,005	0,20	6	44	21
C4P	12,04	7,70	10,0	12,6	100,6	45	7,2	0,5	0,006	0,18	6	50	65
C5S	1,32	8,21	12,5	14,8	97,1	1	7,4	0,4	0,009	0,23	4	24	3
C5M	5,28	8,06	11,8	12,8	99,2	30	7,2	0,8	0,011	0,06	7	41	44
C5P	11,38	8,00	9,4	12,6	100,3	33	7,2	0,8	0,012	0,06	8	57	50
C6S	1,32	8,23	13,3	14,0	87,4	2	7,6	0,6	0,007	0,40	3	23	4
C6M	1,98	8,14	11,8	13,6	96,6	6	7,52	1,1	0,008	0,23	4	40	10
C6P	7,26	8,07	10,2	13,0	100,8	24	7,4	1,2	0,009	ND ¹	6	43	40
C7S	1,32	7,96	12,2	16,0	93,1	6	7,6	0,6	0,009	0,69	3	37	22
C7M	6,60	7,85	11,0	15,2	98,9	23	7,52	0,8	0,010	0,68	4	40	34
C7P	14,52	7,25	9,3	14,8	102,2	27	7,2	1,8	0,013	0,64	7	45	66
Media		7,85	11,4	13,6	98,28	27	7,42	0,7	0,009	0,51	5,68	42,42	39,47

¹ ND=No detectable

NOTA: El blanco de reactivo de nitratos es de 1,2 mg/l y de fosfatos es de 0,38

4.4.5. Resultados del índice de calidad del agua (ICA)

Se obtuvo el promedio del ICA para las muestras tomadas en los bordes, las vertientes, el centro de la laguna y el río Chúquira, el cual alimenta a la misma. (Tabla 45)

Tabla 45.
ICA particular de los bordes, las vertientes, el río Chúquira y el centro

Parámetro / I Parámetro	Bordes	Vertientes	Río Chúquira	Centro	Promedio
pH	84,87	100	100	83,17	92,01
Color	37,56	42,68	42,84	40,72	40,95
Turbidez	--*	--*	--*	--*	--*
Sólidos Suspendidos	73,51	205,05	167,95	78,28	131,2
Conductividad	97,68	92,68	92,01	94,9	94,32
Alcalinidad	83,74	70,4	73,69	64,62	73,11
Nitratos	100	100	100	100	100
Fosfatos Totales	34,66	53,4	83,71	46,64	54,6
Oxígeno Disuelto	72,05	78,4	82,17	67,91	75,13
ICA	73,64	86,82	89,78	72,63	

Una vez obtenidos estos resultados, se determina el promedio del ICA de la laguna, el cual es de 80,72.

Como se puede observar en la Tabla 45, el valor ICA más alto se produce en el río Chúquira, siendo de 89,78, mientras que el valor más bajo se produce en el centro de la misma, reportándose 72,63. (Gráfico 3)

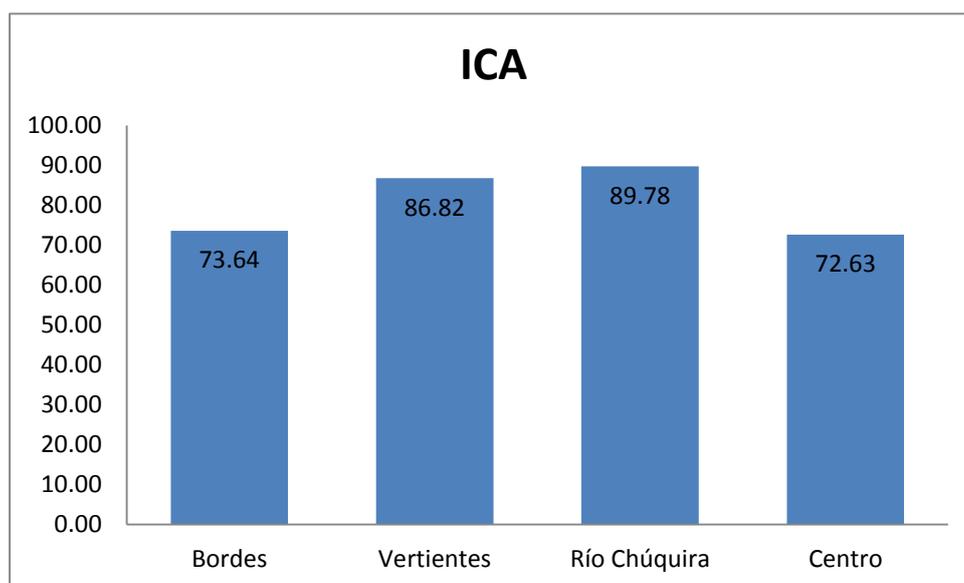


Gráfico 3. Valores ICA obtenidos en la Segunda Campaña

El promedio obtenido, que fue de 80,72 puntos, indica que el agua de la laguna corresponde a la categoría “Buena”, según la (Fundación de Sanidad Nacional de Estados Unidos, 2009), y en cuanto a su relación con la vida acuática, sostiene una alta biodiversidad de esta y se presentan períodos donde algún indicador muestra peligros para el ecosistema, mientras que para (Semarnap, 1999), pertenece a la categoría de “Aceptable”, la cual se encuentra en un rango de 70 a 84 puntos, por este motivo se deben continuar realizando muestreos posteriores, para realizar un mayor seguimiento, sobre todo a los parámetros que se encuentran más bajos, como son el color y los fosfatos totales, que se encuentran en 40,95 y 54,60 respectivamente.

Además el índice de calidad del agua puede influir en diferentes tipos de usos de esta, como son: el abastecimiento público, la recreación, la pesca, la vida acuática, la industria, la agricultura y la navegación. (Fundación de Sanidad Nacional de Estados Unidos, 2009).

4.5 Resultados de la tercera campaña

4.5.1 Determinación del perímetro y superficie de la laguna

En el programa ArcGIS se determinó que el área aproximada de la laguna es de 40.801,812 m² y un perímetro aproximado de 963,404 m.

4.5.2. Identificación de la vegetación aledaña a la laguna

En el presente estudio se realizó un muestreo de la vegetación en la campaña realizada en campo (4/oct/2013), con el objetivo de complementar en la Caracterización Físicoquímica de la laguna de Mapaguiña, ya que todos los ecosistemas agua, aire y suelo se encuentran relacionados y un cambio en uno de estos afecta a todo el entorno. La identificación del material recogido en el presente proyecto, ha sido realizada en el Herbario de la Facultad de Ciencias Naturales de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, por el Lic. Álvaro Pérez. Se presentan las principales características de cada especie tomada, su distribución taxonómica y geográfica, su predominancia en el área de estudio y una o varias muestras de cada una de las especies analizadas.

4.5.2.1.Brugmansia sanguínea

El floripondio (*Brugmansia* sp.) es una planta nativa de los Andes y habita normalmente en los jardines y huertos de las casas y su distribución geográfica está íntimamente ligada a los asentamientos humanos. El género *Brugmansia* consta de 15 especies distribuidas desde Colombia hasta Bolivia, 7 de estas se encuentran en Ecuador y 5 son propias o nativas de la zona andina, como son: *Brugmansia* arbórea, *B. aurea*, *B. candida*, *B. sanguínea* y *B. versicolor*. El floripondio también es conocido como guanto y se identifica los colores de la siguiente manera: *Brugmansia candida* y *B. arbórea* poseen

flores blancas; *B. aurea* posee flores amarillas; *B. sanguínea* posee flores rojo oscuro y amarillo en la base. Posee hojas herbáceas grandes y flores tubulares colgantes muy vistosas y fragantes; sus frutos son bayas de color verde, ovoides e igualmente grandes. (Palacios, 2010). Pertenece al reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Solanales, familia Solanaceae, tribu Datureae y género Brugmansia, especie Brugmansia sanguínea. También se la conoce como trompetero rojo y es una especie botánica de planta medicinal, que se cultiva en Ecuador, en zonas de elevada altitud (3000 m.). Se debe tener precaución debido a que todas las partes de la planta son tóxicas si se ingieren (EcuRed., 2014). Las semillas son utilizadas como alimento de animales (De la Torre, 2008). Se lo encuentra en áreas abiertas, terrenos agrícolas y en la orilla de los ríos y no es común en bosques naturales. Brugmansia no tiene una distribución natural conocida, sino solo aquella asociada a los asentamientos humanos. (Minga, 2000), como se puede observar en la Figura 107.



Fig. 107. Floripondio (*Brugmansia sanguínea*)

4.5.2.2. Azorella pedunculata

Son hierbas terrestres dispuestas en almohadillas muy compactas y grandes de hasta 2m. de diámetro. Las hojas están amontonadas al final de las ramas, miden hasta 1 cm de largo y son muy duras y brillantes. Tiene hasta 20 flores, las flores son diminutas, miden 3 mm de largo. Se encuentran en un rango altitudinal de entre 2000 y 4500 m. En la Fig. 108 se puede observar su distribución en el país. (Aguilar., 2001).

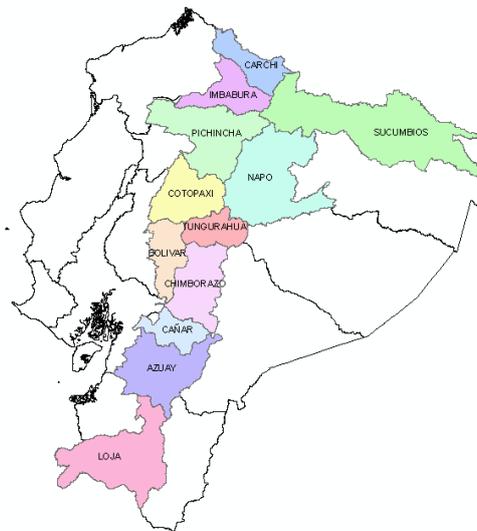


Figura 108. Distribución geográfica de tunpusu en Ecuador (Aguilar., 2001).

En el estudio de (Factos, 2012), del GIZ, la familia con mayor frecuencia relativa fue *Azorella pedunculata*, especie formadora de almohadilla. Este estudio se realizó en el páramo herbáceo de pajonal y almohadillas, en la localidad de Termas de Jamanco. Pertenece al reino Plantae, división Tracheophyta, clase Magnoliopsida, orden Apiales, familia Umbelliferae, subfamilia Azorelloideae, género *Azorella* y especie *Azorella pedunculata* (Factos, 2012). Su nombre común es tunpusu. Es una hierba terrestre, que se utiliza para elaborar arreglos del pesebre en época navideña. (Ver Figura 109).



Figura 109. Tunpusu (*Azorella pedunculata*)

4.5.2.3. *Chuquiraga jussieui*

La *Chuquiraga* es una especie vulnerable, debido a que tiene alto riesgo de extinción en estado silvestre. Es nativa del Ecuador y crece entre 3000 y 4000 m.s.n.m. Tiene como composición química: alcaloides, triterpenos, esteroides, saponinas, flavonoides, taninos, aminoácidos y resinas. (Naranjo, 2012). También se la conoce como flor del caminante y flor de los Andes, y con el pasar del tiempo se ha visto amenazada por la mala utilización de los suelos y por la reforestación con especies que erosionan la tierra, lo cual reduce sus especímenes en su hábitat nativo. Además es un ejemplar propio de los páramos que se ha visto afectada por un desplazamiento de biomasa en las montañas debido al cambio climático. Los efectos de la reforestación con árboles de pino fueron estudiados en Colombia, donde las especies características de páramo desaparecieron en las zonas con una mayor cobertura de pino, pero los rápidos cambios en la pérdida de hábitat pueden conducir a la extinción de especímenes de los páramos andinos, como en el caso de *Chuquiraga jussieui*. Pertenece al reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Asterales, familia Asteraceae, género *Chuquiraga*, especie *Chuquiraga jussieui*. (Universidad Nacional de Colombia, 2014). Es un subarbusto, y su flor se utiliza en la medicina para tratar resfriados y el dolor de cabeza. (De la Torre, 2008) Ver Figura 110 a & b.



Figura 110. a. *Chuquiraga* con flor **b.** *Chuquiraga* sin flor

4.5.2.4. *Achyrocline alata*

Es un arbusto de 90 cm de alto. Sus hojas son simples y alternas, de 4 a 7 cm de alto y de 3,5 a 4,5 cm de ancho. Sus flores son pequeñas, midiendo de 2 a 3 mm de longitud. Se desarrolla cerca de las zonas de cultivos y laderas rocosas, desde 2800 a 3900 m de altitud. (Navarro, 2012). Se la utiliza en la medicina para tratar afecciones indeterminadas (De la Torre, 2008). Pertenece al reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Asterales, familia Asteraceae, género *Achyrocline*, especie *Achyrocline alata*. (Zhofre, 2012). (Ver Figura 111 a & b).



Figura 111. a & b. Lechuguilla (*Achyrocline alata*)

4.5.2.5. *Baccharis latifolia*

Es un arbusto que puede alcanzar entre 2 y 3 m. de alto, cubierto con pelos diminutos. La raíz es fibrosa y tiene un tallo flexible en forma de cilindro. La Figura 112 muestra su distribución geográfica en el país.

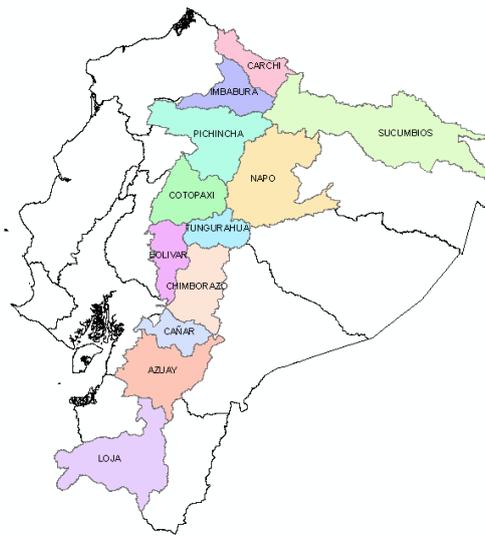


Figura 112. Distribución geográfica de chilca en Ecuador (Aguilar., 2001)

Pertenece al reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Asterales, familia Asteraceae, género Baccharis, especie *Baccharis latifolia*. (Universidad Nacional de Colombia, 2014). Esta planta es utilizada con fines ambientales, debido a que es regeneradora de sitios quemados (De la Torre, 2008). (Ver Figura 113).



Figura 113. Chilca (*Baccharis latifolia*)

4.5.2.6. *Lachemilla orbiculata*

Son hierbas rastreras que forman alfombras a nivel del suelo. Las hojas están dispuestas en una roseta en la base, tienen forma redondeada y miden alrededor de los 3

cm. Tienen bordes con lóbulos de 9 a 11 y dentados y una inflorescencia de 3 cm de largo con flores de hasta 5 mm. El mapa de la Figura 114 muestra su distribución geográfica en el país.

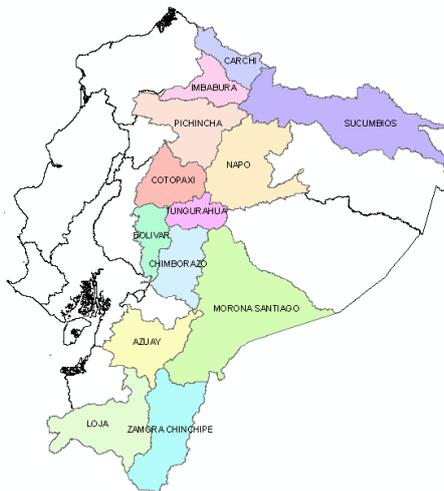


Figura 114. Distribución geográfica de orejuelo en Ecuador (Aguilar., 2001)

Pertenece al reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Rosales, familia Rosaceae, género *Lachemilla*, especie *Lachemilla orbiculata*. (Universidad Nacional de Colombia, 2014). Se la utiliza como alimento de vertebrados, sus hojas sirven de forraje del ganado vacuno, ovino, caprino y cuyes; y también con fines ambientales, siendo una especie que evita la erosión de los suelos. (De la Torre, 2008). (Ver Figura 115).



Figura 115. Lechuguilla (*Lachemilla orbiculata*)

4.5.2.7. *Polylepis reticulata*

Los bosques de *Polylepis* representan la vegetación natural de una gran parte de los Andes centrales. Este género tiene aproximadamente 28 especies que ocupan una gran variedad de hábitats. Son utilizadas por los habitantes locales, pero se encuentran en peligro de extinción. Además se caracteriza por una polinización anemófila y por frutos secos, pero el Ecuador no tiene amplias zonas áridas en los altos Andes. (Kessler, 2006). Es un elemento endémico y vital de los Andes sudamericanos que crece en las zonas altas andinas desde Venezuela hasta Argentina central y debido a su localización, está sujeto a amplias fluctuaciones de temperatura máximas del día y las heladas nocturnas, lo cual representa estrés para las plantas. (Calderón & Lozada, 2010). Son arbustos o árboles que miden hasta 12 m de alto, los troncos son retorcidos y tienen la corteza de color café-anaranjado, que se desprende en láminas delgadas como papel y las flores miden alrededor de 5 mm y son de color verdoso. Estos bosques cubrían áreas más extensas en el pasado, pero debido al impacto de las quemadas y el pastoreo en la actualidad se encuentran reducidas. (Missouri Botanical Garden, 2014). La función fundamental que cumplen es la captación de agua de los páramos. De las ocho especies existentes en Ecuador, solo tres son endémicas (*P. pauta*, *P. reticulata*, *P. lanuginosa*). Pero en la última década el hábitat ha sido muy fragmentado debido al crecimiento de las poblaciones humanas, el avance de la frontera agrícola y la construcción de carreteras, siendo necesaria la reforestación en varias áreas de la serranía ecuatoriana con especies endémicas o pertenecientes a su distribución. Las especies de *Polylepis* han sido utilizadas para proyectos de reforestación, especialmente *P. incana*. (Guerrero & Segovia, 2006). Pertenece al reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Rosales, familia Rosaceae, género *Polylepis*, especie *Polylepis reticulata*, y se distribuye en el Ecuador en las provincias de: Azuay, Cañar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, Loja, Pichincha y Tungurahua, en un rango de altitud de entre 2750 y 4300 m.s.n.m. en la Cordillera Occidental y Oriental (Calderón & Lozada, 2010). (Ver Figura 116).



Figura 116. Árbol de Papel (*Polylepis reticulata*)

4.5.2.8. Carduus L.

Es una hierba robusta, simple o ramificada de 60 cm a 1,5 m de altura. Sus hojas son alargadas, el borde es irregular y tiene espinas. Las flores del centro son de color rojizo-púrpura o rosa, y las de la periferia son verdes con espinas. (Zolla & Argueta, 2009). Su fruto es un aquenio plumoso de 4 a 5 mm. Se lo encuentra en forma abundante en empastadas, orillas de caminos y sitios eriazos y se adapta a sitios de baja fertilidad, áreas de cultivo, suelos basálticos, naturalmente fértiles o con un pH relativamente alto (mayor a 6,5). (Quiroz, 2009). Pertenece al reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Asterales, familia Asteraceae, género Carduus, especie Carduus acanthoides L. Es utilizada para tratar resfríos y espasmos. (De la Torre, 2008). (Ver Figura 117).



Figura 117. Corsonera (*Carduus L.*)

4.5.2.9. *Calceolaria rosmarinifolia*

Son subarbustos de hasta 1 m de alto, cubiertos de pelos amarillentos y pegajosos. Las hojas son opuestas, lanceoladas, miden hasta 12 cm de largo, de color verde brillante en la superficie superior y verde amarillento y densamente lanosa en la inferior. Las flores son irregulares, con forma globosa, de hasta 15 mm de largo, de color amarillo brillante. Su distribución es endémica del Ecuador y se encuentra en el páramo de pajonal (Missouri Botanical Garden, 2014). Pertenece al reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Scrophulariales, familia Scrophulariaceae, género *Calceolaria*, especie *Calceolaria rosmarinifolia*. (Universidad Politécnica de Madrid., 2014). Es utilizada en la medicina como desinflamatorio (Calderón & Lozada, 2010). Las Figura 118 a & b muestran dos ejemplares de esta especie.



Figura 118 a & b. Zapatito (*Calceolaria rosmarinifolia*)

4.5.2.10. *Arcytophyllum thymifolium*

Son árboles, arbustos o rara vez hierbas, que poseen hojas pequeñas y una flor solitaria. Este género consta de 15 especies distribuidas en las montañas de Costa Rica y Panamá, en los Andes desde Venezuela hasta Bolivia y el Ecuador es el país con mayor diversidad, con 10 especies distribuidas entre 2500 y 4000 m. Tres forman almohadillas y siete son arbustivas, y entre estas últimas se encuentra *A. thymifolium* (Guffante, 2013). Pertenece al reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Rubiales,

familia Rubiaceae, género *Arcytophyllum*, especie *Arcytophyllum thymifolium*. (Universidad Nacional de Colombia, 2014). Se la utiliza como forrajera y como alimento de aves. (De la Torre, 2008). (Ver Figura 119).



Figura 119. Alkusupi (*Arcytophyllum thymifolium*)

4.5.2.11. Gynoxys laurifolia

Se la encuentra en el Bosque Protector “La Chorrera” (Ministerio del Ambiente., 2013). Este género es de muy difícil taxonomía, las diferentes especies solo pueden ser reconocidas por especialistas y el número exacto de especies en el Ecuador no es conocido debido a que no existe una moderna revisión de este género. (Brandbyge, 1992). Crece en las partes altas de los Andes y en el Ecuador se lo observa en la ceja andina y en el subpáramo hasta 4400 msnm y sobre una diversidad de suelos. Es utilizado para obtener leña y carbón de buena calidad, debido a que las ramas gruesas sirven como postes y vigas para chozas; mientras que las delgadas para cercas. (Ordoñez, 2001). Pertenece al reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Asterales, familia Asteraceae, género *Gynoxys*, especie *Gynoxys laurifolia*. (Universidad Nacional de Colombia, 2014). Además tiene uso apícola y el tallo es maderable. (De la Torre, 2008). (Ver Figura 120).



Figura 120. Galán (*Gynoxys laurifolia*)

4.5.2.12. *Bartsia melampyroides*

El género consiste en 50 especies, que tienen una distribución extremadamente disjunta, con especies distribuidas en Europa (1 sp.), el nororiente africano (2 sp.), la región mediterránea (1 sp.), y los páramos andinos (45 sp.). Unos estudios filogenéticos moleculares demostraron que el género es polifilético con cuatro linajes que corresponden a las cuatro distribuciones geográficas (Uribe, 2008). Presenta como características morfológicas hierbas anuales o perennes o subarbustos pubescentes y glandulosos. Sus hojas son opuestas, sésiles, dentadas o crenadas, sus flores tienen racimos espiciformes bracterados y su cáliz es tubular, campanado y lobulado. (Marticorena & Kalin, 1984). Pertenece al reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Scrophulariales, familia Scrophulariaceae, género *Bartsia*, especie *Bartsia melampyroides* (Universidad Nacional de Colombia, 2014). Es una hierba terrestre que se utiliza en medicina en la infusión, para tratar la artritis. (De la Torre, 2008). Ver Figura 121 a & b.



Figura 121 a & b. Pedorrea (*Bartsia melampyroides*)

4.5.2.13. **Rorippa bonariensis**

El género *Rorippa* son plantas herbáceas perennes o anuales, que tienen pelos simples. Son hojas superiores muy divididas y los pétalos son amarillos o blancos. El fruto es alargado y con más de dos semillas en cada lóculo. (Blasco & Zumeta, 2013). Pertenece al reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Brassicales, familia Brassicaceae, género *Rorippa*, especie *Rorippa bonariensis* (Administración de Parques Nacionales., 2014). En el campo medicinal se la utiliza con leche para tratar la tuberculosis. (De la Torre, 2008). Ver Figura 122.



Figura 122. Berro negro (*Rorippa bonariensis*)

4.5.2.14. **Liabum igniarium**

El género *Liabum* comprende 27 especies que se distribuyen en dos áreas disyuntivas: una insular del mar Caribe y otra continental. El área insular incluye las islas de Cuba (en su parte oriental), Santo Domingo y Jamaica. En el continente está su mayor diversidad específica, y se distribuye en los siguientes países: México, América Central, Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Brasil, Bolivia y el noroeste de Argentina (Gutierrez, 2004). Pertenece al reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Asterales, familia Asteraceae, género *Liabum*, especie *Liabum igniarium* (Universidad Nacional de Colombia, 2014). Es un subarbusto que se utiliza como alimento de

vertebrados; sus hojas se usan como forraje de cuyes y tiene uso apícola. (De la Torre, 2008). Ver Figura 123.



Figura 123. Sauco blanco (*Liabum igniarium*)

4.5.2.15. Bomarea multiflora

La familia Alstroemeriaceae se distribuye en América Central y en América del Sur y el género *Bomarea* tiene una distribución principalmente tropical y corresponde a hierbas que presentan hojas simples, alternas, láminas lineares a lanceoladas e inflorescencias terminales. Las flores son muy llamativas y sus colores varían desde el rojo al rosado o cremoso (Trivelli, 2009). Pertenece al reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Liliopsida, orden Liliales, familia Alstroemeriaceae, género *Bomarea*, especie *Bomarea multiflora* (Universidad Nacional de Colombia, 2014). Es una hierba terrestre o bejunco que sirve de alimento a los roedores y como uso apícola, las abejas visitan las flores (De la Torre, 2008). La Figura 124 presenta una muestra de esta especie.



Figura 124. Achiotillo (*Bomarea multiflora*)

4.5.2.16. **Hypochaeris sonchoides**

El género *Hypochaeris* L. está representado en el mundo por alrededor de 50 especies, de las cuales más o menos 40 viven en América del sur y las restantes en Eurasia, en la región mediterránea. En Sudamérica presenta grandes dificultades taxonómicas, ya sea por el gran número de especies nativas como por el alto grado de variabilidad morfológica que presenta. Tiene la capacidad de crecer en diferentes hábitats, ya que tiene una enorme variabilidad morfológica, sobre todo en la forma y tamaño de las hojas. (Baeza, Grau, Vosyka, Stuessy, & Weiss, 2000). Pertenece al reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Asterales, familia Asteraceae, género Hypochaeris, especie *Hypochaeris sonchoides* (Universidad Nacional de Colombia, 2014). Es una hierba terrestre que en la medicina se utiliza la raíz como un purgante, que alivia las afecciones del hígado y de los riñones. (De la Torre, 2008). (Ver Figura 125).



Figura 125. Achicoria (*Hypochaeris sonchoides*)

4.5.2.17. **Eupatorium L.**

El género *Eupatorium* representa el 10% de la familia Asteraceae y posee cerca de 2000 especies presentes en las regiones neotropicales. Se distribuye geográficamente en el centro de Europa, el este de Asia y toda América. Las plantas de este género son hierbas perennes, arbustos o arbolitos bajos, hojas opuestas o en ocasiones alternadas, sus flores son pocas o numerosas, todas hermafroditas, blancas, rosadas, moradas o azulosas, ramas largas y sin pelos. (Álvarez, 2010). Pertenece al reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Asterales, familia Asteraceae, género *Eupatorium*, especie *Eupatorium L.* (Administración de Parques Nacionales., 2014). Es una hierba terrestre, arbusto o arbolito, que se utiliza como especie regeneradora de sitios quemados. (De la Torre, 2008). Ver Figura 126.



Figura 126. Botoncillo (*Eupatorium L.*)

4.5.2.18. **Senna mollisima**

Pertenece al reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Fabales, familia Fabaceae, género *Senna*, especie *Senna mollisima* (Administración de Parques Nacionales., 2014). Es una flor de abejón, que se la utiliza como alimento de animales y su madera sirve para elaborar cabos, estacas e instrumentos musicales y para la construcción de las viviendas (De la Torre, 2008). (Ver Figura 127).



Figura 127. Arbusto (*Senna mollissima*)

4.6 Resultados de los mapas generados

4.6.1 Diferencia de conductividad en los píxeles antes y después de realizar la extensión de la interpolación

En la Figura 128 se observa la diferencia en los píxeles luego de realizar la extensión del raster de interpolación generado, con la finalidad de cubrir el área de toda la laguna.

FID	Shape *	GRID_CODE	GRID_COD_1	diferencia
0	Point	96,0399	96,0498	-0,0099
9	Point	102,2203	102,3281	-0,1078
10	Point	99,4514	99,635	-0,1836
11	Point	113,0404	113,7786	-0,7382
12	Point	95,287	95,2922	-0,0052
13	Point	98,1194	98,1477	-0,0283
14	Point	102,945	102,8898	0,0552
15	Point	97,5344	97,6693	-0,1349
16	Point	101,6296	101,6047	0,0249
17	Point	101,6221	101,7731	0,049
19	Point	110,6445	110,481	0,1635
20	Point	100,2843	100,3229	-0,0386
21	Point	103,2799	103,3796	-0,0999
22	Point	100,851	100,8926	-0,0416
23	Point	99,2675	99,2159	0,0516
24	Point	108,9036	108,1555	0,7481
26	Point	99,1677	99,1112	0,0565
25	Point	97,3858	97,3673	0,0185
27	Point	97,7335	97,6914	0,0421
28	Point	97,7335	97,818	-0,0845
29	Point	99,2294	99,2438	-0,0144
30	Point	93,0886	92,9265	0,1621
31	Point	85,6066	85,4286	0,178
32	Point	95,9942	96,0342	-0,04
33	Point	97,5297	97,5563	-0,0266

Figura 128. Diferencia de conductividad en los píxeles antes y después de realizar la extensión (El Autor, 2014)

4.6.2 Resultados de la escala de trabajo

Como se observó en la metodología, la escala de trabajo para la elaboración de los mapas es de 1:5.000.

4.6.3 Resultado del modelo de profundidad de la laguna de Mapaguiña

En la Figura 129. se presenta el modelo de profundidad de la laguna de Mapaguiña generado en el programa ArcScene con la herramienta “Topo to Raster” y mostrado en 3D.

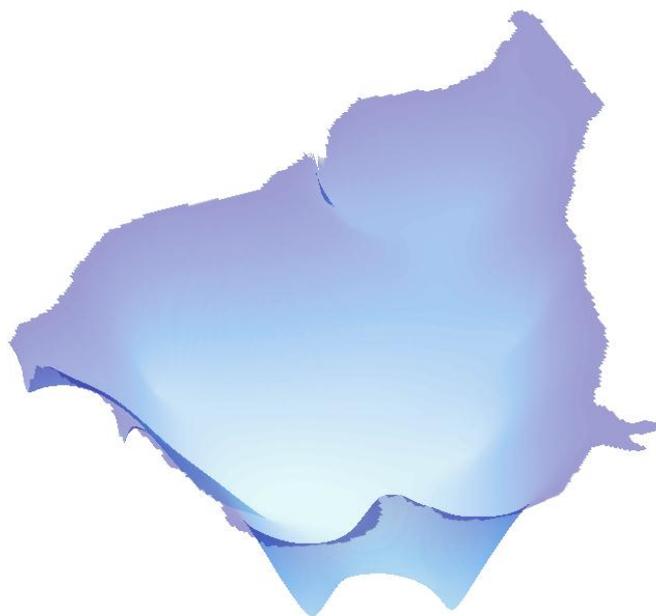


Figura 129. Modelo de profundidad de la laguna de Mapaguiña (El Autor, 2014)

En los anexos 37 – 72 se presentan los modelos con los puntos de cada uno de los parámetros físicoquímicos muestreados en la laguna de Mapaguiña en 3D y los respectivos datos de cada uno.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El punto base de la laguna de Mapaguiña fue arrastrado a la Estación de Monitoreo Continuo (EMC) de Alausí (ALEC), la cual se encuentra a 15,225 km., distancia que es cercana comparada con la Estación de Monitoreo Continuo (EMC) de Riobamba (RIOP), que se encuentra a 74,208 km; debido a que al tener una línea base corta, puede estar encendida por menor tiempo, y se puede utilizar un equipo de menor precisión.
- Se arrastró el punto de la Estación de Monitoreo Continuo (EMC) de Alausí a la base colocada en Mapaguiña para disminuir la distancia de la línea base, y no se tomaron los puntos de las muestras de agua directamente con el GPS Trimble 5800 L2, debido al riesgo que existía de que el equipo se caiga en el agua, por lo cual los puntos de muestreo tomados en el centro de la laguna se lo realizó con el GPS Mobile Mapper, debido a que estos tienen GPS Diferencial, pueden ser postprocesadas en gabinete y posteriormente proporcionar coordenadas con precisiones de ± 1 m.
- Se emplearon en el presente estudio las Estaciones de Monitoreo Continuo (EMC) de Riobamba (RIOP) y la de Alausí (ALEC)
- El método geoestadístico Krigging es el mejor estimador lineal imparcial y genera mejores probabilidades en la medida que los datos estén lo más cercanos y continuos posibles.
- La precisión promedio obtenida de los puntos de muestreo en horizontal fue de 71,5 cm y en vertical de 62,6 cm.
- La precisión de la línea base entre la Estación de Monitoreo Continuo (EMC) de Alausí (ALEC) y el punto base en Mapaguiña del 23/feb/2013 luego del postproceso en el Trimble Business Center (TBC) fue de 0,7 cm en horizontal y de 2,7 cm en vertical, siendo así una solución fija, mientras que la precisión de la línea base entre ALEC y la nueva base de Mapaguiña del 17/may/2013 fue de 0,4 cm en horizontal y de 2,0 cm en vertical.

- En las ortofotos del área de estudio proporcionadas por el SIG Tierras se pudo observar que la laguna se está secando y evaporando, debido a que se observa una disminución en su nivel de agua, y existen zonas de color verde intenso en donde se observa saturación de agua y gran cantidad de vegetación.
- En los ecosistemas acuáticos de las zonas templadas se forma la termoclina estacional en el período de sequía, que se basa en la formación de un gradiente o descenso acusado de temperatura entre los 10 y 150 m de profundidad, mientras que en el período de lluvia se produce una mezcla de la columna de agua, desaparece la termoclina estacional y se permite la resuspensión de materiales del fondo, así como la oxigenación de las aguas más profundas.
- El parámetro que tiene mayor incidencia en el valor ICA es el oxígeno disuelto, debido a que tiene una importancia de 5 puntos.
- Los datos de conductividad se encuentran entre 80 y 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo cual indica que la laguna es medianamente ionizada.
- Las profundidades de la laguna son heterogéneas en el sector de la salida de agua de la laguna comienza con una profundidad de 30 cm, aumentando progresivamente hasta llegar a 14,52 m de profundidad en la parte central norte de la laguna.
- Es de vital importancia determinar el índice de calidad de agua, el cual en el caso de esta laguna es de 80,72 puntos, este valor indica el grado de contaminación del agua para sus diferentes usos, como son: abastecimiento público, recreación general, pesca, vida acuática, agricultura y navegación, y para este caso corresponde a la categoría “Buena”.
- El parámetro que disminuye en mayor proporción el valor del ICA de cada punto de muestreo es el fosfato, el cual indica que existe una eutrofización baja en la laguna, mientras que el que se encuentra en mayor proporción es el de nitratos, lo cual podría indicar un pequeño avance en la zona agrícola, esto debido al crecimiento poblacional.
- El índice de calidad del agua (ICA) de los bordes pertenece a la categoría “Buena” según (Castillo & Rodríguez, 2008), ya que sostiene una alta biodiversidad con la vida acuática.

- El índice de calidad del agua (ICA) de las vertientes aledañas a la laguna corresponde a la categoría “Excelente” de (Castillo & Rodríguez, 2008), debido a que no presenta peligros para el ecosistema, ni para la vida acuática.
- En cuanto al índice de calidad del agua (ICA) del río Chúquira, este también se incluye en nivel “Excelente” de (Castillo & Rodríguez, 2008), porque no se encuentra contaminada.
- En lo que respecta al centro de la laguna, este se enmarca en la categoría “Buena”, según (Castillo & Rodríguez, 2008), con lo cual podrían existir cambios en la composición del ecosistema.
- Después de haber realizado el respectivo análisis de las muestras tomadas en la laguna y de determinar el índice de calidad de agua (ICA), se llegó a la conclusión de que el ICA de la zona es de buena calidad para el consumo humano.
- Hay que tomar en cuenta que el valor del ICA para evaluar la calidad del agua es un valor insuficiente, debido a que un solo número no mostrará otros problemas importantes sobre la calidad del agua, por lo tanto se lo utiliza para tener una idea general del estado de la laguna.
- La chuquiragua es una especie vulnerable, porque tiene alto riesgo de extinción en estado silvestre, y es nativa del Ecuador, por la mala utilización de los suelos y por la reforestación con especies que erosionan la tierra.
- La principal función del *Polylepis* es la captación de agua de los páramos, lo cual es importante para generar estrategias de conservación para estos ecosistemas.
- Los bosques de *Polylepis* cubrían áreas muy extensas, pero debido a las quemas y el pastoreo, se encuentran reducidas, y esto afecta a la capacidad de captura de agua del páramo por lo cual es importante replantearse estrategias de conservación de estos ecosistemas, para que puedan centrarse a proteger la cobertura vegetal y la concentración de biomasa para que los páramos cumplan su función de reguladores hídricos de una manera eficiente.
- El *Polylepis* es importante, debido a que se utiliza para proyectos de reforestación, y sirve para mantener niveles de infiltración adecuados.
- La achicoria presenta un alto grado de variabilidad morfológica, sobre todo en la forma y tamaño de las hojas, ya que crece en diferentes hábitats, estas especies son consideradas como indicadoras de un bajo estado de salud de los páramos.

- En el páramo, el género *Gynoxys* (Asteraceae), es considerado como indicador de un buen estado de salud del páramo.
- La chilca se utiliza como regeneradora de sitios quemados, además sirve como forraje de animales y para hacer leña, es usada en las curas de los chamanes y como barrera rompe viento.
- Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Achupallas, en lo que tiene que ver con servicios básicos, la comunidad tiene disponibilidad de agua para el consumo humano, pero la recibe por agua entubada, cuenta con servicio de energía eléctrica pero no cuenta con servicios de alcantarillado ni de recolección de basura, situaciones que se debería solicitar a las autoridades, debido a que esto significa un progreso para toda la comunidad.

5.2 Recomendaciones

- Encender el equipo Trimble GPS L2 5800, el cual es la base de la laguna de Mapaguña antes de realizar la toma de las muestras de agua con los respectivos puntos de muestreo, los cuales son móviles o rovers, ya que es necesario que los puntos móviles estén sincronizados a una base de referencia (placa) para poder realizar el respectivo postproceso en gabinete.
- En lo que se refiere a la manipulación del GPS, es importante no iniciar una observación sin sincronizar todos los satélites, debido a que se estaría introduciendo ruido.
- De preferencia realizar las tomas de los puntos de muestreo en horas de la mañana, debido a que en la tarde existe neblina en la zona, siendo mejor antes de las 11 de la mañana o después de las 3 de la tarde para que la actividad ionosférica sea menor.
- Tomar las debidas precauciones con la toma de puntos en campo debido a que las montañas pueden causar el error de pérdida de ciclos y la laguna, por ser una superficie reflectora podría generar errores de multipath.
- En la zona de estudio existe una baja cantidad de satélites, debido a que se encuentra en una zona con dos elevaciones, por lo cual se trabaja con una máscara de elevación

de mínimo 15°, porque debajo de este ángulo, la señal recibida de los satélites está muy influenciada por la refracción atmosférica.

- De ser posible, trabajar con líneas base cortas, para poder tomar puntos en un menor tiempo y con equipos de menor precisión, ya que estos tienen un menor costo y también un menor riesgo.
- Verificar que las baterías de los equipos estén completamente cargadas previo a realizar la toma de datos en campo.
- Para arrastrar puntos es preferible trabajar con líneas base que sean menores a 30 km. para así tener una mejor precisión.
- De preferencia, en estudios posteriores realizar muestreos de agua en la zona nororiental de la laguna, debido a que un área de la misma no pudo ser muestreada por el mal tiempo y se realizó una extensión en el ArcGIS.
- El acceso a la zona de estudio es muy complejo, debido a que para acceder a la laguna de Mapaguiña únicamente existen vías de tercer orden desde la comunidad de Achupallas.
- Es importante continuar realizando monitoreos del índice de calidad del agua de la laguna, debido a que esta pertenece al ecosistema de páramo, por lo cual es la principal fuente de agua para la comunidad.
- Previa una salida de campo es importante realizar una lista de chequeo, para de esta manera tener todos los materiales necesarios en campo.
- Para tomar muestras de agua en campo, se debe llevar por lo menos 3 frascos de polietileno, para que se puedan determinar todos los parámetros necesarios.
- Es vital hacer un estudio de la vegetación de la zona, debido a que actualmente se está reforestando pinos, lo cual puede alterar su ecosistema.
- Se debe tener precaución con el floripondio, debido a que todas las partes de esta planta son tóxicas, si se ingieren, y su intoxicación es muy peligrosa, ya que ocasiona vómitos, arritmias cardíacas, taquicardia severa, fibrilación, insuficiencia respiratoria, colapso vascular, convulsiones y en casos fatales coma y muerte.
- No se debería reforestar con pino, debido a que por este motivo en Colombia las especies características de páramo desaparecieron en las zonas con una mayor cobertura de pino y los rápidos cambios en la pérdida de hábitat pueden conducir a la extinción de especímenes de los páramos andinos, como en el caso de *Chuquiraga*

jussieui, la cual se ha visto amenazada por la mala utilización de los suelos y por la reforestación con especies que erosionan las tierras donde esta habita, causando la reducción y pérdida de ejemplares en los bosques de páramo.

- Es necesario realizar posteriores estudios acerca de la frecuencia de la achicoria (*Hipochaeris sonchoides*), y por lo tanto determinar el estado de salud de la zona de estudio de acuerdo a la cobertura vegetal.
- Se debería impulsar actividades ecoturísticas en la zona, lo cual sería una fuente de ingresos para la población, pero siempre tomando en cuenta el respeto que se debe tener a la naturaleza.
- Es de suma importancia concienciar a la población sobre la importancia del manejo adecuado de residuos sólidos en los alrededores de la zona, debido a que esto puede causar a futuro problemas de contaminación de agua y suelo y el deterioro en general de los ecosistemas.
- Las autoridades deberían tomar acciones debido a que la comunidad de Mapaguña no cuenta con servicio de alcantarillado, ni de recolección de basura, y tampoco se tiene acceso a programas de vivienda, así como asignar recursos para la implementación de los servicios básicos que necesita la comunidad, como son agua potable, alcantarillado y recolección de basura, para su buen vivir.
- Se debe fomentar a que se continúen realizando investigaciones en esta zona, para que posteriormente se pueda realizar un Plan de Manejo Ambiental con la finalidad de preservar y conservar la biodiversidad del lugar.
- Los agricultores en la Provincia de Chimborazo no deberían usar indiscriminadamente fertilizantes y pesticidas en el suelo, debido a que esto afecta el suelo, y por lo tanto a todo el ecosistema.
- Sería importante para futuros estudios realizar la detección del uso actual del suelo, debido a que se puede observar las actividades que se realizan en cada zona, como por ejemplo: agricultura, pastos, zonas urbanas, cuerpos de agua, entre otros, debido a que esto da la base para realizar prácticas de manejo sustentables y mejorar así la calidad del suelo.
- La zona de estudio es atractiva para turistas e investigadores, es apta para realizar estudios de flora y fauna y se debe impulsar el turismo debido a que es un área muy atractiva pero poco conocida.

- La laguna de Mapaguiña a pesar de ser un lugar atractivo, no es muy conocido, por lo cual es importante dar a conocer y promocionar el mismo.
- Si no se concientiza a la población, la laguna en un futuro puede verse afectada y contaminarse debido al crecimiento poblacional de la zona de estudio.
- El paisaje de la zona es una de las fortalezas de la laguna de Mapaguiña, por lo cual es importante la conservación de sus recursos naturales para que así más personas puedan continuar admirando este lugar.
- Se recomienda realizar estudios sobre las algas de la laguna, la geología y su diversidad de vegetación, como los pajonales, ya que la zona de estudio es atractiva tanto para turistas como para investigadores.

BIBLIOGRAFÍA

- Administración de Parques Nacionales. (2014). *Sistema de Información de Biodiversidad*. Obtenido de <http://www.sib.gov.ar/>
- Ager ingenieros, irc S.L. (2003). *Los Sistemas de Información Geográfica – Características y Aplicaciones generales* . Obtenido de <http://www.ager.es/productos/gis/sig.pdf>
- Aguilar., Z. (2001). *Guía de Plantas Útiles de los Páramos de Zuleta, Ecuador – Programa de Apoyo a la Gestión Descentralizada de los Recursos Naturales en las Tres Provincias del Norte del Ecuador – PRODERNA – Convenio ALA/2001/003-235*.
- Aguinaga, S. (1996). *Manual de Procedimientos Analíticos para Aguas y Efluentes. Honduras: Universidad de Oviedo, Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, Dirección Nacional de Medio Ambiente*. Obtenido de http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/docs/pdfs/manual_dinama.pdf
- Ahumada-Sempoal, M., & Ruiz-García, N. (2009). *Características fisicoquímicas de la Laguna Pastoría. Oaxaca, México: Ciencia y Mar*. Obtenido de http://www.umar.mx/revistas/36/laguna_pastoria.pdf
- Almirón, E. (2005). *El Agua como elemento vital en el Desarrollo del Hombre. Observatorio de Políticas Públicas de Derechos Humanos en el Mercosur* .
- Álvarez, F. (Junio de 2010). “*Tratamiento ácido de derivados del género Eupatorium*” – *Facultad de Químico Farmacobiología – Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo* . Obtenido de <http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/jspui/bitstream/123456789/4908/1/TRATAMIENTOACIDODEDERIVADOSDELGE>
- Ambientum. (2014). *Aguas – El portal profesional del Medio Ambiente*. Obtenido de http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/Determinacion_de_sulfatos.asp
- Ambientum, .. (2010). *Aplicaciones medioambientales de los SIG*. Obtenido de <http://www.ambientum.com/revista/2010/febrero/aplicaciones-medioambientales-SIG.asp>
- Ambientum. (2002). *Nitrógeno en el agua* . Obtenido de http://www.ambientum.com/revista/2002_05/NTRGNO1.htm

- Amores, M. (2013). *REGME – Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador – Formulario Informativo Estación de Monitoreo Continuo RIOBAMBA – RIOP*. Obtenido de http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?wpfb_dl=12
- APHA. (1992). *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association. Washington D.C.: 18th Edition.
- Arbelo, M. (n.d.). “*Tutorial de Teledetección*” – *Introducción a la Teledetección Páginas: 1,2*. Obtenido de <http://marbelo.webs.ull.es/rs1.pdf>
- Arbito, G. (2012). *Sistema de Posicionamiento Global GPS*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/gerardoarbitto/00-gps>
- Arce, M., & Leiva, M. (2009). *Determinación de la Calidad de Agua de los ríos de la ciudad de Loja y diseño de líneas generales de acción para su recuperación y manejo*. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja. Pg 4 y 5, 22 y 23. Obtenido de <http://cepra.utpl.edu.ec/handle/123456789/474>
- Arcos, M. (2010). *Influencia de la cobertura vegetal en la capacidad de infiltración de agua en suelos de páramo Quito, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito*. Obtenido de <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1070/1/99554.pdf>
- Arias, A. (2007). *Definición de Prioridades de Manejo del Recurso Hídrico por Microcuencas en la Provincia de Chimborazo*. Sangolquí. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2259/1/T-ESPE-018601.pdf>
- ArquiRED . (2010). *Diseño Arquitectónico Sustentable – Proyectos de Planeación Urbana “GRAND PARIS”* . Obtenido de <http://noticias.arquired.com.mx/shwArt.ared?idArt=73>
- Ávila, A., Cruz, M., Girón, P., & Salcedo, C. (2009). *Indices de Calidad del Agua de la laguna de Zupitlan, Municipio de Acatlan.*. Obtenido de http://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icbi/LI_GeoAmbien/Eduardo_Cruz/2.pdf
- Baeza, C., Grau, J., Vosityka, E., Stuessy, T., & Weiss, H. (2000). *Recuentos cromosómicos en especies de Hypochaeris L. (ASTERACEAE) de Chile*. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-66432000000100010.
- Barona, W. (2009). *Diseño de una Planta para la producción de agua apta para el consumo humano en la planta de producción de Familia Sancela S.A. – Escuela Superior Politécnica de Chimborazo – Facultad de Ciencias – Escuela de Ingeniería Química*. Obtenido de <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/244/1/96T00111.pdf>

- Barrenechea . (2004). *La calidad del agua– Universidad de Manizales – Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente*. Obtenido de <http://cedum.umanizales.edu.co/mds/modulo5/unidad2/pdf/complemento%201%20tema1.pdf>
- Barrenechea. (2008). *Capítulo I – Aspectos Físicoquímicos de la calidad del agua*. Obtenido de <http://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/109/2/CDAM0000012-2.pdf>
- Barrios. (2008). *Guía de Orientación en Saneamiento Básico para Alcaldías de Municipios Rurales y Pequeñas Comunidades*. Obtenido de <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsac/guialcalde/2sas/2-2sas.htm>
- Bastidas, K., & Terán, C. (2011). *Levantamiento de la línea base ambiental de la microcuenca del Río Saucay, Cantón Alausí Provincia de Chimborazo, para la propuesta de un plan de manejo utilizando herramientas SIG. Sangolquí*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/4531> (T-ESPE-032673.pdf)
- Bellostas, A. (2011). *Calidad del agua y su higienización: efectos sobre la sanidad y productividad*. Obtenido de <http://www.engormix.com/MA-avicultura/sanidad/articulos/calidad-agua-higienizacion-efectos-t3403/165-p0.htm>
- Blasco, & Zumeta. (2013). *Flora de la Ribera baja del Ebro. Familia Cruciferae*. Obtenido de www.riberabaja.es/dotAsset/24625.pdf
- Bohn, Perillo, & Piccolo. (2004). *Calidad y Aprovechamiento del Agua de la Laguna Unamuno. Buenos Aires, Argentina*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40704010>
- Bolaños, A. (2011). *Universidad Autónoma de Tamaulipas – Educación Asistida por computadora – Tutorial de Análisis de Agua - Recuperado de:*
- Bolívar, C. (2011). *Servicio Nacional de Aprendizaje Sena – Centro Agropecuario Agroempresarial y Minero de Bolívar – Manual de Procedimiento de Toma de Muestra de Agua*. Obtenido de <http://tecnologosencontrolambientalsenacicuc.blogspot.com/p/manual-de-procedimiento-de-toma-de.html>
- Bravo, E. (2011). *“Proyecto: Base de Datos Geográfica – Cartografía en el Instituto Geográfico Militar del Ecuador con software libre Página: 4*. Obtenido de www.geoportaligm.gob.ec/portal/?wpfb_dl=31

- Buriel, F., Lucena, F., & Arribas, S. (1983). *Química Analítica Cualitativa*. Madrid: Ed. Paraninfo., Pg. 896.
- Business Intelligence Solutions. (n.d.). “*Spatial Interpolation: A Brief Introduction*” *Traducido al español* . Obtenido de <http://www.bisolutions.us/A-Brief-Introduction-to-Spatial-Interpolation.php>
- Calderón , M., & Lozada, V. (2010). *Determinación de Biomasa y contenido de Carbono en Plantaciones Forestales de Polylepis incana y Polylepis reticulata* . Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2060/1/CD-2872.pdf>
- Cantón Chambo. (2011). *Proyecto: “Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a nivel nacional, escala 1:25000” – Datos Básicos de Infraestructura – Memoria Técnica – Ministerio de Defensa Nacional, Instituto Espacial Ecuatoriano y SENPLADES*. Obtenido de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA3/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/CHIMBORAZO/CAMBO/IEE/MEMORIAS_TECNICAS/mt_chambo_cartografia_base.pdf
- Carmona , A., & Monsalve , J. (2008). *Sistemas de información geográfica* . Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos/gis/gis.shtml>
- Castillo, A., & Rodríguez, A. (2008). *Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. Costa Rica: Revista de Biología Tropical*. Pg. 1906. Obtenido de http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_artte
- Castillo., M. (1992). *Morfometría de Lagos. Una aplicación a los lagos del Pirineo. Barcelona: Universidad de Barcelona*. Obtenido de <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/1428/TEISISMDCB.pdf?sequence=1>
- CEAS. (2004). *Centro de Estudios y Acción Social - Agua para beber los pobres*. Obtenido de <http://www.chevara.watl.de/d/ceas/>
- Cedex. (2006). *Indicadores de sostenibilidad ambiental – Ministerio de Fomento, España*. Obtenido de <http://www.geologosdelmundo.org/mm/file/Laura-tesis%20sin%20anexos%202011%281%29.pdf>
- Centro Virtual de Aprendizaje . (2012). *Distribuciones de frecuencia – Variables discretas y continuas* . Obtenido de http://www.cca.org.mx/cca/cursos/estadistica/html/m7/var_discretas_continuas.htm
- Cherre., C. A. (2010). *Aguas Oceánicas y Continentales. Piura*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos81/aguas-oceanicas-continentales/aguas-oceanicas-continentales2.shtml>

- Chirinos, A., Guarenas, A., & Sánchez, M. (2009). *Calidad de Agua-Recolección de las muestras. Coro-Falcón: Laboratorio de Análisis de Agua. Departamento de Química. Instituto Universitario de Tecnologías Alonso Gamero*. Obtenido de <http://www.monografias.com/>
- CIDTA. . (2012). *Unidad 7 – Control de calidad en la toma de muestras – Toma de muestras* . Obtenido de http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/curso/uni_07/u7c3s1.htm
- Cisneros, D. (2013). *REGME – Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador – Formulario Informativo Estación de Monitoreo Continuo ALAUSÍ – ALEC* . Obtenido de http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?wpfb_dl=24
- CONAF. (2007). *Cuencas Hidrográficas. Ministerio de Agricultura. Universidad de Chile*. Obtenido de http://educacionambiental.conaf.cl/?seccion_id=53adf4d238e32d91004077ca3cc0318d&unidad=7
- Conejeros, E. (2004). *Sistema de Posicionamiento Global en la Aeronautica Civil – Universidad de Santiago de Chile – Facultad de Ingeniería – Departamento de Ingeniería Geográfica Páginas: 22, 23, 24, 25, 32, 33*. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/6337582/9/COMPONENTES-DE-LA-SENAL-GPS>
- Conicyt. (2010). *El Ciclo del Agua. Gobierno de Chile: Ministerio de Educación*. Obtenido de <http://www.explora.cl/otros/agua/ciclo2.html>
- Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca. (2008). *Cuenca Hidrográfica. Chira Piura*. Obtenido de <http://www.ana.gob.pe:8088/la-cuenca/caracterizacion.aspx>
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *República del Ecuador. (2008). Constitución de la República del Ecuador. Registro Oficial No. 449, 20 de octubre de 2008*. Obtenido de http://www.asambleanacional.gob.ec/documentos/constitucion_de_bolsillo.pdf
- Consuelo , L. (2010). *Calidad del Agua Superficial en Colombia – Estudio Nacional del Agua – IDEAM. Pg. 234* . Obtenido de https://www.siac.gov.co/documentos/DOC_Portal/DOC_Agua/20120928_Cali_agua_sup_ENA_2010.pdf
- Correia , P. (2002). *Guía Práctica del GPS – Marcombo Boixareu Editores – Barcelona España Páginas: 4, 18, 20, 24, 33 y 34*. Obtenido de <http://books.google.com.ec/books?id=iTW7BBKScHsC&pg=PA33&lpg=PA33&dq=fuentes+de+error+%2B+Las+fuentes+de+error+que+afectan+a+la+precisi%C3%B3n+del+GPS+son+m%C3%BAltiples.+Algunas+son+de+origen+natural+y+otras+de+origen+t%C3%A9cnico+o+voluntario.&source=bl>

- Cortés, J. (2010). *“Geografía Aplicada: Modelos Geográficos – Definiciones Geográficas”*. Obtenido de http://geomodelos.blogspot.com/2010_06_01_archive.html
- Curicama, M. (2009-2014.). *Plan Estratégico de Gobierno – Segunda Minga por Chimborazo*. Obtenido de <http://www.chimborazo.gob.ec/chimborazo/images/stories/doc2014/lotaip/Plan%20de%20Gobierno%20SEGUNDA%20MINGA.pdf>
- De la Torre, L. (2008). *Usos medicinales de las plantas – Enciclopedia de las Plantas Útiles del Ecuador*. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/213520399/10455-Medicinal-1>
- Dorronsoro, C. (2013). *Isotropía / Anisotropía – Departamento de Edafología y Química Agrícola – Universidad de Granada, España – Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencias*. Obtenido de <http://edafologia.ugr.es/optmine/intro/isoanis.h>
- Echarri, L. (1998). *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente “Ciclo del Nitrógeno”*. Ed. Teideobservatorio de Políticas Públicas de Derechos Humanos en el Mercosur. Obtenido de <http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/04Ecosis/135CicN.htm>
- EcuRed. (2014). *Definición de Nitritos*. Obtenido de <http://www.ecured.cu/index.php/Nitritos>
- EcuRed. (2014). *Definición de Fosfato*. Obtenido de <http://www.ecured.cu/index.php/Fosfato>
- EcuRed, . (2014). *Definición de Escala (Cartografía)*. Obtenido de http://www.ecured.cu/index.php/Escala_%28cartograf%C3%ADa%29.
- EcuRed. (2014). *Definición de Nitritos*. Obtenido de <http://www.ecured.cu/index.php/Nitritos>
- EcuRed.. (2014). *Brugmansia sanguínea*. Obtenido de http://www.ecured.cu/index.php/Trompetero_rojo.
- ESRI. (2012). *Cómo funciona Kriging*. Recuperado el 29 de abril de 2014, de <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009z00000076000000>
- Factos, M. (2012). *“Caracterización Biofísica y Socioeconómica del Microcorredor Ecológico Antisana (REA) – Cayambe Coca (PNCC) y Sumaco (PNS) – GIZ Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH*. Obtenido de

http://sumaco.org/biblioteca/006_CCvQ_Caracterizacion_biofisica_socioeconomica_Antisana_Cayambe_Coca_Sumaco.pdf

- Fallas, J. (2007). *Modelos digitales de elevación: Teoría, métodos de interpolación y aplicaciones* Pg.3, 7, 8, 10, 13. Recuperado de: Ingresado el 29 de abril de 2014. Recuperado el 29 de abril de 2014, de http://www.mapealo.com/costaricageodigital/documentos/alfabetizacion/mde_teoría_2007.pdf
- Fallas., J. (2003). *Sistemas Integrados de Información Geográfica – Conceptos Básicos de Cartografía - Laboratorio de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica– Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre y Escuela de Ciencias Ambientales.* Obtenido de http://www.mapealo.com/Costaricageodigital/Documentos/alfabetizacion/intro_carto.pdf
- FAO . (2006). *Los sistemas de información geográfica y la telepercepción en la pesca – Capítulo 6 - Funcionamiento y usos de los Sistemas de Información Geográfica” – Departamento de Pesca.* Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/003/t0446s/t0446s07.htm>
- Fierro , & Jiménez. (2011). *Caracterización de la Microcuenca del Río Manzano, Cantón Alausí, Provincia de Chimborazo y Propuesta del Plan de Manejo, utilizando herramientas SIG.* Sangolquí, Ecuador. Pg 27, 33. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/4288>
- Figuroa, R. (1993). “*Sistemas de información geográfica: Algunas aplicaciones en planificación y gestión urbana*” – *Revista de Geografía Norte Grande*, Página: 26 . Obtenido de http://www.geo.puc.cl/html/revista/PDF/RGNG_N20/Art05.pdf
- Flores, M. (2006). *Disminución de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en vinazas mediante tratamiento biológico – Universidad Tecnológica de la Mixteca - Oaxaca.* Obtenido de http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/9962.pdf
- Fundación de Sanidad Nacional de Estados Unidos. (2009). *Índice de Calidad de Agua.*
- Furones, A. (2010). *Sistema y Marco de Referencia Terrestre – Sistemas de Coordenadas – Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría – Universidad Politécnica de Valencia.* Obtenido de <http://www.upv.es/unigeo/index/docencia/etsigt/astronomia/teoria/astronomia210.pdf>
- GAD Municipal del Cantón Alausí . (2011). *Trámites Ciudadanos.* Obtenido de <http://www.tramitesciudadanos.gob.ec/institucion.php?cd=152>

- Garcés. (2011). *Análisis Multitemporal de la Cobertura Vegetal y su relación con los Recursos Hídricos en las Microcuencas de los Ríos Saucay, Manzano y Juval mediante el cálculo de caudales, uso de Sensores Remotos y herramientas SIG*.
- García, D. (2008). *Sistema GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM) – Universidad Autónoma de Madrid – Escuela Politécnica Superior Páginas: i, 4, 5, 8*. Obtenido de <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20080125DavidGarcia.pdf>
- Geraldi, A. (2003). *“Hidrografía de la laguna Malaver”, Tesis de Licenciatura en Geografía. Bahía Blanca, Argentina: Departamento de Geografía. Universidad Nacional del Sur. Inédito*.
- Ghio, G. (2008). *Captura de datos, procesamiento y análisis: GPS – PDA en cartografía censal – “Sistema de Posicionamiento Global (GPS): Conceptos, Funcionamiento, Evolución y Aplicaciones”*. Obtenido de unstats.un.org/unsd/demographic/.../Session_13-SELPER.ppt
- Gonzales, C. (2011). *Monitoreo de la calidad del agua – La Turbidez*. Obtenido de <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-859/maguaturbidez.pdf>
- Gonzalvo, R. (2010). *Cuencas Hidrográficas. Escuelapedia. Información didáctica*. Obtenido de <http://www.escuelapedia.com/cuencas-hidrograficas/>
- Grupo de Trabajo en Páramos del Ecuador. (2004). *Páramos y Humedales*. Obtenido de http://www.ecociencia.org/archivos/paramo_GTP14-091128.pdf
- Guerrero, & Segovia. (2006).
- Guffante, I. (2013). *Screening de Actividad Antioxidante y Citotóxica en Artemia salina de: Arcytophyllum thymifolium, Salvia squalens, Justicia chlorostachya, Myrcianthes rhopaloides, Dalea mutissi – Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2559/1/56T00326.pdf>
- Gurtner, W. (2007). *The Receiver Independent Exchange Format – Astronomical Institute – University of Berne*. Obtenido de <http://www.geosysteming.com/guatemala/producto/110/rinex-the-receiver-independent-exchange-format/>
- Gutierrez, D. (2004). *Revisión sistemática y análisis cladístico del género Liabum Adans (Asteraceae: liabeae) – SEDICI Repositorio Institucional de la UNLP*. Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/4547>
- Hans. (1976). *Dureza*.

- Hansen, F. (n.d.). *Apuntes de Cartografía Páginas: 10*. . Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/INTERNET/Apuntes%20de%20cartograf%C3%ADa.pdf>
- Horne, & Goldman. (1994). *Limnology. New York, E.E.U.U.: Ed. McGraw-Hill*. Obtenido de <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p3-oxigeno.pdf>
- IGM . (2013). *Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador – REGME* . Obtenido de <http://www.geoportalligm.gob.ec/wordpress/>
- IGN - CNIG . (n.d.). *Sistemas de Información Geográfica – Instituto Geográfico Nacional – Centro Nacional de Información Geográfica & Ministerio de Fomento – Gobierno de España – Instituto Geográfico Nacional*. Obtenido de <http://www.ign.es/ign/layoutIn/actividadesSistemaInfoGeografica.do>
- IGN & UPM-LatinGeo (Spain) . (n.d.). *Conceptos Cartográficos - Página: 11*. . Obtenido de http://www.ign.es/ign/resources/cartografiaEnsenanza/conceptosCarto/descargas/Conceptos_Cartograficos_def.pdf.
- Ilustre Municipio de San Pedro de Alausí. (2007). Obtenido de http://www.municipiodealausi.gob.ec/ciudad/detalle.php?id_inf=6&id_sec=4
- INEC. (2010). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) – Censo de Población y Vivienda 2010 - Procedencia de agua para tomar en la Parroquia de Achupallas*. Obtenido de <http://redatam.inec.gob.ec/cgibin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CPV2010&MAIN=WebServerMain.inl>
- INEC. (2010). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos - Procedencia principal del agua recibida en Achupallas – Censo de Población y Vivienda 2010*. Obtenido de <http://redatam.inec.gob.ec/cgibin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CPV2010&MAIN=WebServerMain.inl>
- INEGI. (n.d.). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía - “Datos de Relieve - Modelos Digitales de Elevación (MDE) – Descripción”*. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/queesmde.aspx>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi . (2004). *Adopción del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA – SIRGAS como datum oficial de Colombia– Subdirección de Geografía y Cartografía – División de Geodesia – República de Colombia – Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE*. Obtenido de http://www2.igac.gov.co:8080/igac_web/UserFiles/File/MAGNAWEB_final/documentos/adopcion.pdf

- Instituto Tecnológico de Chihuahua. (n.d.). *Procesos Estocásticos*. Obtenido de http://www.itch.edu.mx/academic/industrial/sabaticorita/_private/07Procesos%20estocasticos.htm
- Instituto Tecnológico Geominero de España. (1998). *Guía Operativa para la recogida, almacenamiento y transporte de muestras de aguas subterráneas destinadas al análisis químico*. Obtenido de http://www.h2ogeo.upc.es/Protocolos/PROTOCOLS%20i%20GUIES/muestreo/Protocolo_general_IGME_UPC.pdf
- INTA. (2011). *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – Protocolo de Muestreo, Transporte y Conservación de Muestras de Agua con Fines Múltiples (consumo humano, abrevado animal y riego)*. Obtenido de http://inta.gob.ar/documentos/protocolo-de-muestreo-transporte-y-conservacion-de-muestras-de-agua-con-fines-multiples/at_multi_download/file/Protocolo_de_muestreo_de_aguas_inta.pdf
- Jijón, K. (2007). *Desarrollo Turístico Comunitario en la Zona de Ozogoche y Achupallas de la Provincia de Chimborazo y Propuesta de Proyecto Socio - Económico*. Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial - Carrera de Gestión Turística y Preservación Ambiental Pg. 27. Obtenido de http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/8494/1/33040_1.pdf
- Jiménez, A. (2006). *Sistemas y Análisis de Información Geográfica – Manual de autoaprendizaje con ArcGIS – Departamento de Geografía* Páginas: 834, 836. Universidad Autónoma de Madrid.: Edición RA-MA.
- Juárez, M., Franco, M., & Ascencio, V. (2009). *Manual de Prácticas de Laboratorio de Química Ambiental – I. Instituto Politécnico Nacional – Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología*.
- Junta de Andalucía. (2011). *Modelo Geodésico de Referencia y Altitudes – Comisión Interdepartamental Estadística y Cartográfica - Páginas: 7*. Obtenido de <http://www.ideandalucia.es/portal/delegate/content/90278d12-160d-4354-8012-03742be67c0e>
- Kessler, M. (2006). *Bosques de Polylepis – Botánica Económica de los Andes Centrales – Universidad Mayor de San Andrés – La Paz – 2006: 110-120*. Obtenido de <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:awNjFXKZa3IJ:www.researchgate.net/public>
- Kevern, R. (1996). *Lake classification systems, part 1. The Michigan Riparian February*. Obtenido de <http://www.geologosdelmundo.org/mm/file/Laura-tesis%20sin%20anexos%202011%281%29.pdf>

- Kruse, E., & Casanova, R. (1993). *Consecuencias de la acumulación de sedimentos en lagos artificiales de la Argentina*. Conferencias de Limnología. La Plata, Argentina: Ed. Andrés Boltovskoy y Hugo López. Instituto de Limnología "Dr. R.A. Ringuelet". Obtenido de <http://www.bfa.fcnym.unlp.edu.ar/id/3264> el 20 de abril de 2014
- La Prensa. (2013). *Parroquia Achupallas está de fiesta*. Obtenido de <http://www.laprensa.com.ec/interna.asp?id=863#.Unj661OKKXs>
- Laboratorio de Astronomía Geodesia y Cartografía modificado por el autor. (n.d.). *SISTEMAS GNSS: Funcionamiento, Posicionamiento y Precisión – Especialización sobre la Red Andaluza de Posicionamiento: servicios y productos RAP – Curso de Especialización en la Red Andaluza de Posicionamiento – Dpto. de Matemáticas- Facultad de Ciencias*. Obtenido de http://lagc.uca.es/web_lagc/docs/curso_rap/Presentacion_II.pdf
- Laboratorio de Astronomía Geodesia y Cartografía. (n.d.). *SISTEMAS GNSS: Funcionamiento, Posicionamiento y Precisión – Especialización sobre la Red Andaluza de Posicionamiento: servicios y productos RAP – Curso de Especialización en la Red Andaluza de Posicionamiento – Dpto. de Matemáticas- Facultad de Ciencias*. Obtenido de http://lagc.uca.es/web_lagc/docs/curso_rap/Presentacion_II.pdf
- Leal , R. (2013). *SISTEMAS GNSS: Funcionamiento, Posicionamiento y Precisión – Especialización sobre la Red Andaluza de Posicionamiento: servicios y productos RAP – Curso de Especialización en la Red Andaluza de Posicionamiento – Dpto. de Matemáticas. Facultad de Ciencias*. Obtenido de http://lagc.uca.es/web_lagc/docs/curso_rap/Presentacion_II.pdf
- Leica. (1999). *GPS Basics – Introducción al Sistema GPS (Sistema de Posicionamiento Global) – Versión 1,0 Español Páginas: 39* . Obtenido de ftp://ftp.cefetes.br/cursos/Geomatica/Pilon/GPS/GPSBasics_es.pdf
- Lenntech. (2012). *pH y Alcalinidad*. Obtenido de <http://www.lenntech.es/ph-y-alcalinidad.htm>
- Lenntech, .. (2012). *Fósforo - P*. Obtenido de <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/p.htm>
- Lenntech. . (2012). *Glosario del agua – DQO (Demanda Química de Oxígeno)*. . Obtenido de <http://www.lenntech.es/glosario-agua.htm>
- Lenntech.. (2012). *Sulfatos*. Obtenido de <http://www.lenntech.es/sulfatos.htm>

- Ley de Aguas. (2004). *República del Ecuador. - Ley de Aguas – Codificación 16. Registro Oficial No. 339, 20 de mayo de 2004.* Obtenido de <http://www.derecho-ambiental.org/Derecho/Legislacion/Ley-de-Aguas-Ecuador.html>
- Linárez, F. (2011). *Cuencas Hidrográficas. Venezuela: Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada.* Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/15960155/Cuencas-hidrograficas>
- López, W. (2012). *Hidrología. La Cuenca Hidrográfica. Definiciones.* Obtenido de <http://www.slideshare.net/wlopezaltarza/hidrologia-cuencas-hidrograficas>
- Lozano , J., Marcos, A., & Hart, K. (n.d.). *La escala de los mapas - Claseshistoria.com.* Obtenido de <http://www.claseshistoria.com/bilingue/1eso/earthplanet/representation-scale-esp.html>
- Manahan, S. (2007). *Introducción a la Química Ambiental . Ed. Reverté UNAM. .* Obtenido de <http://books.google.com.ec/books?id=5NR8DIk1n68C&pg=PA261&lpg=PA261&dq=El+agua+es+el+veh%C3%ADculo+principal+de+transporte+de+sedimentos,+aunque+el+viento+tambi%C>
- Marticorena, C., & Kalin, M. (1984). *El Género Bartsia L. (Scrophulariaceae) en Chile – ISSN 0016-5301 .* Obtenido de http://146.83.237.36/focus/people_focus1/pdf/Marticorena%20y%20arroyo%201984%20Gayana.pdf
- Martínez, J. (1999). *Estructuras de Datos y Aplicaciones en análisis de formas del terreno y en edafología, QUADERNS DMACS Núm. 25, Department de Medi Ambient i Ciencies del Sol, Universitat de Lleida Páginas: 3.* Obtenido de <http://web.udl.es/dept/mac/sedai/referenc/Quaderns/MDT.pdf>
- Martínez., H. (2005). *Parroquia Achupallas. Viajandox Ecuador.* Obtenido de <http://www.viajandox.com/chimborazo/achupallas-parroquia-alausi.htm>
- Martínez., O. (2006). *Determinación de la calidad fisicoquímica del agua del Canal de Chiquimulilla en la Reserva Natural de Usos Múltiples, Monterrico. Universidad de San Carlos de Guatemala – Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Páginas: 8.* Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2366.pdf. el 15 de abril de 2014.
- Martínez., R. (2013). *Creación de un Modelo Digital de Elevación (Procesos de Interpolación) con ARCGIS 10. Entre Mares – Observatorio Geográfico – Panamá – Sitio de Intercambio Profesional y Académico sobre el Desarrollo de la Geografía en Panamá.* Obtenido de <http://georem.blogspot.com/2013/08/creacion-de-un-modelo-digital-de.html>

- Massol A., M. (1994). *Nutrientes y Gases: Fósforo*. Obtenido de <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p3-fosforo.pdf>
- Massol, A. ,. (2010). *Curso Microbiología Sanitaria UPRN*. Obtenido de <http://www.geologosdelmundo.org/mm/file/Laura-tesis%20sin%20anexos%202011%281%29.pdf>
- Massol, A. (1994). *Nutrientes y Gases: Nitrógeno*. Obtenido de <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p3-nitrogeno.pdf>
- Massol, A. (1994). *Nutrientes y Gases: Oxígeno Disuelto*. <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p3-oxigeno.pdf>.
- Massol., A. (1994). *Parámetros fisicoquímicos: Alcalinidad*. Obtenido de <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-alcinidad.pdf>
- Massol., A. (1994). *Parámetros fisicoquímicos: pH*. Obtenido de <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-ph.pdf>
- Mejía, M. (2012). *Cartografía Automatizada – Facultad de Ingeniería Civil – Maestría en Ingeniería Vial – Pontificia Universidad Católica del Ecuador* . Obtenido de ftp://ftp.puce.edu.ec/Facultades/CienciasHumanas/Maestria_Ing_Vial/Geodesia%20y%20Cartog
- Mendoza, B. (2010). *Diagnóstico y Propuesta para la Conservación de la Microcuenca del Río Chibunga. UNACH. Pg. 6*. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/37820738/DIAGNOSTICO-Y-PROPUESTA-PARA-LA-CONSERVACION-DE-LA-MICROCUCENCA-DEL-RIO-CHIBUNGA>
- Menorca, B. (2014). *Parámetros de Calidad de las Aguas de Riego – Escuela de Bonsái de Antoni Payeras* . Obtenido de <http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulos-tecnicos/parametros-de-calidad-de-las-aguas-de-riego/>
- Minga, D. (2000). *Árboles y Arbustos del bosque de Mazán – Tomo II – E.T.A.P.A. – Cuenca – Ecuador* . Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/1988/1/thg388.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2013). *Bosque Protector “La Chorrera”* . Obtenido de <http://chmecuador.ambiente.gob.ec/userfiles/37/file/Bosques%20Protectores/BP%20LA%20CHORRERA-.pdf>
- Missouri Botanical Garden. (2014). *Polylepis reticulata*. Obtenido de <http://www.mobot.org/mobot/ParamoCajas/results.aspx?taxname=Polylepis%20reticulata>

- Molles, M. (2006). *Ecología: Conceptos y Aplicaciones*. Pg. 81-84. University of New Mexico: McGrawHill Interamericana.
- Monmonie, M. (2009). *Definición de Cartografía – Biblioteca Virtual Luis Ángel Arango*.
Obtenido de <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ayudadetareas/geografia/definicion-cartografia.htm>
- Montes, I. (2002). *Evaluación de la Calidad del Agua de la Microcuenca Quebrada Honda. Huaraz-Ancash: Universidad Nacional de Ancash “Santiago Antúnez de Mayolo”*. Pg. 61 “Turbidez”. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/36196325/Evaluacion-de-calidad->
- Montilva, L. (2007). *Cuencas Hidrográficas*. Obtenido de <http://montilvacienciasdelatierra.blogspot.com/2007/05/cuencas-hidrogrficas-venezolanas.html>
- Muñoz, F. (2013). *El Agua*. Obtenido de <http://www.aula21.net/nutricion/agua.htm>
- Naranjo, P. (2012). *Universidad Técnica de Ambato – F.C.S. – Escuela de Medicina – Cátedra: Medicina Natural y Tradicional*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/PalNaranjoGonzlez/chuquiragua>
- Navarro, M. (2012). *Plantas Curativas de Candarave – Puno – Servicio de Recopilación y Documentación de Medicina Tradicional Natural, Ancestral de Candarave, Utilización de Plantas Curativas y Rituales Curativos*.
- OAS. (n.d.). *Organization of American States - Capítulo 5 – Sistemas de información geográfica en el manejo de peligros naturales*. Obtenido de <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea65s/ch10.htm>
- Ordoñez, L. (2001). *Sitios de Recolección de Semillas Forestales Andinas del Ecuador – Proyecto de Investigación en Ecosistemas Tropicales – ECOPAR Quito – Ecuador*. Obtenido de <http://repository.unm.edu/bitstream/handle/1928/12916/Sitios%20de%20recoleccion%20de%20semillas.pdf?sequence=1>
- Ortiz, G. (2004). *Foro de Usuarios de Sistemas de Información Geográfica GIS – SIG y Teledetección*. Obtenido de http://foro.gabrielortiz.com/index.asp?Topic_ID=2273
- Ortiz., G. (2002). *¿Qué son los Sistemas de Información Geográfica. Tipos de SIG y modelos de datos. Un artículo introductorio para entender las bases de los SIG*. Obtenido de <http://www.gabrielortiz.com/index.asp?Info=012>
- Otero, L. (2011). *Temporalidad de Parámetros de Calidad en el Lago de Yojoa. Honduras: Universidad de Oviedo, Departamento de Geología*. Obtenido de

<http://www.geologosdelmundo.org/mm/file/Laura-tesis%20sin%20anexos%202011%281%29.pdf>

- Pacheco, J. (2003). *Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas - Pg. 47,48* . Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/467/46770204.pdf>
- Palacios, M. (2010). *El Floripondio o Wantuk en el paisaje cultural de Cuenca: Un enfoque desde la geografía de la percepción* . Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/1988/1/thg388.pdf>
- Peñafiel , J., & Zayas , J. (2004). *Fundamentos del Sistema GPS y Aplicaciones en la Topografía*. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/187717881/Fundamentos-Gps>
- Plan de Desarrollo del Cantón Alausí. (1999). *Municipio de Alausí. Administración 1996 – 2000 Pg 2 y 3*. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/77469055/1-Plan-de-Desarrollo-Canton-Alausi-1>
- Plan Nacional del Buen Vivir . (2009-2013). *Agua y Saneamiento*. Obtenido de <http://plan.senplades.gob.ec/agua-y-saneamiento>
- Plaza , & Jánez. (1984). *Gran Enciclopedia Ilustrada Círculo*. Pg. 778, 3272. Barcelona y , Valencia, 344.: Círculo de Lectores, S.A.
- Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. (n.d.). *Curtosis*. Obtenido de <http://www.ucv.cl/web/estadistica/curtosis.htm>
- Posada, G., Roldán, P., & Ramírez, R. (2000). *Caracterización físicoquímica y biológica de la calidad de aguas de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas. Antioquia, Colombia: Revista de Biología Tropical* .
- Profin. (2013).
- Quiroz, M. (2009). *Manual de Plantas Invasoras del Centro-Sur de Chile – Laboratorio de Invasiones Biológicas (LIB)* . Obtenido de http://www.lib.udec.cl/archivos_descargas_pdf/Manual_de_Plantas_Invasoras_d elCentro-Sur_de_Chile.pdf
- Quiroz., C. (2011). *Tecnologías de la información geográfica (TIG). Cartografía, Fotointerpretación, Teledetección y SIG*. Obtenido de <http://www.eusal.es/es/libro/titulos/ciencias-aplicadas-medicina-tecnologia/tecnologias-de-la-informacion-ge>
- Ramírez, M. (2010). *Especialista en Ordenamiento Territorial y Ambiente del CIES-COHEP*. Obtenido de <http://www.docstoc.com/docs/106007006/cies-Humedales>
- Rapallo, R. (n.d.). *Utilización de Sistemas de Información Geográfica para la Seguridad Alimentaria sostenible en zonas marginadas de Honduras, Nicaragua y*

Guatemala – Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Madrid.
Páginas: 45.

- REGME. (2013). *Estaciones*. Obtenido de http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?page_id=32
- Reolón., L. (2010). *Programa de Formación Iberoamericano en materia de aguas – Dirección Nacional de Medio Ambiente – DINAMA – Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente – Buenos Aires – Argentina*. Obtenido de • Reolón, L. (2010). Programa de Formación Iberoamericano en materia de aguas – Dirección Nacional de Medio Ambiente – DINAMA – Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente – Buenos Aires – Argentina Recuperado de: <http://www.pnuma.org>
- Rizzardo, J. (2012). *Cómo calcular el Índice de Calidad del Agua en una zona*. Obtenido de http://www.ehowenespanol.com/calcular-indice-calidad-del-agua-zona-como_241081/
- Rodier, J. (2011). *Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar – Ediciones Omega S.A.* Ediciones Omega S.A.
- Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de Limnología neotropical 2º Edición. Antioquia, Colombia: Universidad de Antioquia*. Obtenido de <http://books.google.com.ec/books?id=FA5Jr7pXF1UC&pg=PA155&lpg=PA155&dq=los+lagos+de+regiones+que+contienen+>
- Sánchez, A. (n.d.). *Toma de datos con GPS. Validación y Corrección Diferencia – Introducción a la Geodesia Conceptos Básicos – Laboratorio de Astronomía, Geodesia y Cartografía. Quito, Ecuador: Dpto. de Matemáticas. Facultad de Ciencias – Universidad de Cádiz*. Obtenido de http://lagc.uca.es/web_LAGC/docs/sevilla_2010/Introduccion_a_la_Geodesia.pdf
- Secretaría de Economía de los Estados Unidos Mexicanos. (2001). Obtenido de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-045-SCFI-2001.pdf>
- Semarnap. (1999). *Índice de Calidad de Agua*.
- Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile. (2005). *Instrucciones Hidrográficas N°9 – Especificaciones Técnicas para el empleo y aplicación del Sistema de Posicionamiento Global en Trabajos Geodésicos, Hidrográficos y Topográficos – 3º Edición Shoa Pub 3109 Páginas: 6*. Obtenido de <http://www.shoa.cl/servicios/descargas/pdf/pub3109.pdf>

- Severiche, C., & González, H. (2012). *Evaluación Analítica para la determinación de sulfatos en aguas por método turbidimétrico modificado*. Obtenido de <http://web.usbmed.edu.co/usbmed/fing/v3n2/v3n2a1.pdf>
- SIRGAS. (2005). *Proyecto SIRGAS Ecuador – Instituto Geográfico Militar – Reuniones Técnicas – SIRGAS – Caracas, 17 y 18 de noviembre de 2005. Páginas: 3, 7.* Obtenido de http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol09/08_Leiva_Ecuador.pdf
- Smith, R., & Smith, T. (2006). *Ecología. Pearson Addison Wesley*. Pg. 512, 514, 515, 517, 518.
- Solis, T. (2009). *Levantamiento DGPS en tiempo real vía GPRS para aplicación SIG – Universidad de Santiago de Chile – Facultad de Ingeniería – Departamento de Ingeniería Geográfica – Santiago - Chile Páginas: 10, 19, 20, 21, 22.* Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/20382218/Solis-Reyes-Tamara-Andrea>
- Spiro, T., & Stigliani, W. (2003). *Química Medioambiental*. Pg. 327, 328 y 335.
- TULAS. (2002). *República del Ecuador. - Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente “TULAS” – Libro VI – Anexo I: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Registro Oficial No. 7125, 16 de diciembre de 2002.* Obtenido de <http://www.recaiecuador.com/Biblioteca%20Ambiental%20Digital/TULAS.pdf/LIBRO%20VI%20Anexo%201.pdf>
- Tutoriales al Día . (2013). *La Cuenca Hidrográfica. Ingeniería Civil*. . Obtenido de <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/la-cuenca-hidrografica/>
- Universidad de Murcia modificado por el autor. (n.d.). *Capítulo 4 - El formato raster – Fundamentos Páginas: 71 y 73.* Obtenido de http://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario_4.pdf
- Universidad de Murcia. (n.d.). *Capítulo 4 - El formato raster – Fundamentos Páginas: 71 y 73*. Obtenido de http://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario_4.pdf
- Universidad Nacional de Colombia. (2014). *Sistema Nacional de Bibliotecas VRi – Vicerectoría de Investigación.* Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/33050/>
- Universidad Nacional de Colombia. (n.d.). *Ecología del Paisaje y Modelación de Ecosistemas – Estructura de un SIG – Componentes de un SIG.* Obtenido de <http://www.ciencias.unal.edu.co/unciencias/web/dependencia/?itpad=1423&niv=1&itact=1766&ti=false&itr>

- Universidad Politécnica de Madrid. (2014). *Botánica Forestal – Grado de Ingeniería Forestal – Escuela de Ingeniería Forestal y del Medio Ambiente*. . Obtenido de • Universidad Politécnica de Madrid. (2014). *SBotánica Forestal – Grado de Ingeniería Forestal – Escuela de Ingeniería Forestal y del Medio Ambiente*<http://www2.montes.upm.es/Dptos/DptoSilvopascicultura/Gu%C3%ADas%20asignaturas%202013-2014>
- Uribe, S. (2008). *Botánica Sistemática y Evolución*. Obtenido de <http://simonuribe.com/wp/espanol/>
- Vanicek, P. (2003). *Algunos aspectos sobre Alturas Ortométricas y Normales – Revista Cartográfica 76 - 77* Página: 80. . Obtenido de <http://www2.unb.ca/gge/Personnel/Vanicek/AlgunosAspectos.pdf>
- Villegas, A. (2012). *Interpolación Lineal – Universidad Autónoma de Centro América – Sede Regional Pacífico Norte – Nicoya – Guanacaste* Páginas: 2. Obtenido de <http://www.uaca.ac.cr/bv/ebooks/estadistica/20.pdf>
- Vitutor. (2012). *Desviación Típica*. Obtenido de http://www.vitutor.com/estadistica/descriptiva/a_16.html
- Vitutor. (2012). *Variable aleatoria*. Obtenido de www.vitutor.com/pro/3/a_1.html
- Vitutor.. (2012). *Histograma*. Obtenido de http://www.vitutor.com/estadistica/descriptiva/a_6.html
- Zhofre, A. (2012). *Principales Familias de Árboles, Arbustos y Hierbas del Sur del Ecuador – Universidad Nacional de Loja – Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables – Herbario y Jardín Botánico “Reinaldo Espinosa”*. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/165532584/Guia-Recursos-Floristicos-pdf>
- Zolla, C., & Argueta, A. (2009). *Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana*. Obtenido de <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/>
- Zúñiga, M. (2009). *Síntesis de Sorbentes Híbridos para la remoción selectiva de arsénico, con aplicación en la descontaminación de aguas superficiales*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/881>

GLOSARIO

1. **Agua Dulce.-** Agua con una salinidad igual o inferior a 0.5 UPS.
2. **Agua Subterránea.-** Es toda agua del subsuelo, que se encuentra en la zona de saturación (se sitúa debajo del nivel freático donde todos los espacios abiertos están llenos con agua, con una presión igual o mayor que la atmosférica).
3. **Aguas Superficiales.-** Toda aquella agua que fluye o almacena en la superficie del terreno.
4. **Ambiente.-** Comprende los alrededores en los cuales la organización opera, incluye el agua, aire, suelo, recursos naturales, flora, fauna, seres humanos, y su interrelación.
5. **Caracterización de un Agua Residual.-** Proceso destinado al conocimiento integral de las características estadísticamente confiables del agua residual, integrado por la toma de muestras, medición de caudal e identificación de los componentes físico, químico, biológico y microbiológico.
6. **Ciénaga/Pantano.-** Área periódicamente inundable con suelo rico en residuos de plantas. (IGM, 2007).
7. **Contaminante.-** Cualquier elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos, o combinación de ellos-, que causa un efecto adverso al aire, agua, suelo, recursos naturales, flora, fauna, seres humanos, a su interrelación o al ambiente en general.
8. **Cuerpo Receptor o Cuerpo de Agua.-** Es todo río, lago, laguna, aguas subterráneas, cauce, depósito de agua, corriente, zona marina, estuarios, que sea susceptible de recibir directa o indirectamente la descarga de aguas residuales.
9. **Curva Batimétrica.-** Una línea que conecta puntos de igual profundidad. (IGM, 2007)
10. **Espectrofotómetro.-** Instrumento registrador que mide la intensidad de las radiaciones luminosas de un espectro. (Larousse, 1988.)
11. **Isoterma.-** Es una línea imaginaria que une los puntos de igual temperatura en un lugar geográfico determinado.
12. **Laboratorio Acreditado.-** Persona jurídica, pública o privada, que realiza los análisis físicos, químicos, bioquímicos y/o microbiológicos en muestras de agua, suelo o aire y que se encuentra acreditada bajo la Norma Internacional ISO/IEC 17025 o la que determine el Organismo Oficial de Acreditación.

- 13. Lago/Laguna.-** Un cuerpo de agua, dulce o salada, más o menos extensa, rodeada por tierra.
- 14. Línea Base.-** Denota el estado de un sistema en un momento en particular, antes de un cambio posterior. Se define también como las condiciones en el momento de la investigación dentro de un área que puede estar influenciada por actividades industriales o humanas.
- 15. Manantial.-** Flujo natural de agua que brota de la superficie de la tierra. (IGM, 2007).
- 16. Parámetro, Componente o Característica.-** Variable o propiedad física, química, biológica, combinación de las anteriores, elemento o sustancia que sirve para caracterizar las descargas o emisiones hacia los recursos mencionados.
- 17. Plan de Manejo Ambiental.-** Documento que establece en detalle y en orden cronológico las acciones que se requieren para prevenir, mitigar, controlar, corregir y compensar los posibles impactos ambientales negativos, o acentuar los impactos positivos causados en el desarrollo de una acción propuesta. Por lo general, el plan de manejo ambiental consiste de varios sub-planes, dependiendo de las características de la actividad o proyecto propuesto.
- 18. Pozo u Obra de Captación.-** Cualquier obra, sistema, proceso, artefacto o combinación, construidos por el hombre con el fin principal o incidental de extraer agua subterránea.
- 19. Río / Torrente.-** Corriente natural de agua, más o menos continua, desemboca en el mar, en un lago o en otro río. Algunas veces sus aguas se pierden por infiltración. (IGM, 2007).
- 20. Puntos Geodésicos.-** Un punto físico sobre la superficie de la tierra que forma parte de la red geodésica básica del país. (IGM, 2007).
- 21. Terreno Inundable.-** Un área temporalmente cubierta por agua. (IGM, 2007).
- 22. UPS.-** Unidad práctica de salinidad y representa la cantidad de gramos de sales disueltas en un kilo de agua.
- 23. Valores de Línea Base.-** Parámetros o indicadores que representan cuantitativamente o cualitativamente las condiciones de línea base. (Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria / TULAS).

Fuente: (IGM, 2007).