



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO
AMBIENTE**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

AUTORES: ORTEGA CARLOS, SAAVEDRA MARITZA

**TEMA: PROPUESTA DE UN PLAN PARA EL
APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO EN LA
MICROCUENCA DEL RÍO POMACOCHO, CANTON ALAUSÍ,
PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

DIRECTOR: ING. FRANCISCO LEÓN

CODIRECTOR: ING. SANTIAGO RIVADENEIRA

SANGOLQUÍ, DICIEMBRE 2013

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO
AMBIENTE**

C E R T I F I C A D O

Nosotros: ING. FRANCISCO LEÓN E ING. SANTIAGO RIVADENEIRA

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado, “Propuesta de un Plan para el Aprovechamiento del Recurso Hídrico en la Microcuenca del Río Pomacocho, Cantón Alausí, Provincia de Chimborazo” fue realizado por Carlos Francisco Ortega Ordóñez y Maritza Alexandra Saavedra Proaño, ha sido revisado prolijamente y cumple con los requerimientos: teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, por lo que nos permitimos acreditarlo y autorizar su entrega al Sr. Ing. Wilson Jácome, en su calidad de Director de la Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente.

Sangolquí, 12 de Diciembre del 2013

ING. FRANCISCO LEÓN

DIRECTOR

ING. SANTIAGO RIVADENEIRA

CO DIRECTOR

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO
AMBIENTE**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Carlos Francisco Ortega Ordóñez

Maritza Alexandra Saavedra Proaño

Declaramos que:

El proyecto de grado titulado “Propuesta de un Plan para el Aprovechamiento del Recurso Hídrico en la Microcuenca del Río Pomacocho, Cantón Alausí, Provincia de Chimborazo”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

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

Sangolquí, 12 de Diciembre del 2013

Carlos Ortega O.

Maritza Saavedra P.

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO
AMBIENTE**

A U T O R I Z A C I Ó N

Carlos Francisco Ortega Ordóñez

Maritza Alexandra Saavedra Proaño

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, la publicación en la biblioteca virtual de la Institución del proyecto de grado titulado “Propuesta de un Plan para el Aprovechamiento del Recurso Hídrico en la Microcuenca del Río Pomacocho, Cantón Alausí, Provincia de Chimborazo” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría

Sangolquí, 12 de Diciembre del 2013

ING. FRANCISCO LEÓN

DIRECTOR

ING. SANTIAGO RIVADENEIRA

CO DIRECTOR

Dedicatoria

A mi Virgencita del Cisne y mi Divino Niño, por escucharme en mis dificultades, por llenarme de bendiciones, darme la serenidad, la paciencia y por enseñarme que todo se puede lograr con Fé a pesar de los obstáculos...

A mi mamita Paquita y mi papito Carlos, quiero dedicarles con mucho amor, a la distancia esto y agradecerles lo especiales que fueron conmigo espero que desde el cielo disfruten de este primer sueño conseguido gracias a ustedes...

A mis hermanos Carlos y Chochi que son como Padre y Madre en ausencia de ellos; por ser parte de mi vida y por estar conmigo en las buenas y en las malas; porque de sus aciertos y errores aprendo mucho y cada día me ayudan para crecer, ser mejor persona y mejor profesional.

A Marí, no pude haber tenido mejor compañera de tesis que tú, porque el reflejo de esta dedicación, es el reflejo de años de amistad, de consejos, de experiencias, y porque esto despertó el alma de investigadora que llevabas escondida, me siento muy feliz y orgulloso de ver lo que algún día anhele, hoy haberlo llegado a conseguir con el tiempo.

Francisco.

Dedicatoria

A mis padres y hermanos el cariño y amor hacia ustedes es indescriptible y a ustedes serán dedicados cada uno de mis triunfos

A mis hijos postizos, mis sobrinos, Alexander, Sebas, Daniel, Samy y Gabriel; quiero que cada uno de ustedes tenga presente que no existe obstáculo que no se lo pueda saltar; es posible que caigamos muchas veces y que esas caídas duelan una más que otra pero tengan presente que esas caídas nos hacen más fuertes. Jamás dejen que nadie les diga que no van a poder, porque todo se puede con ganas, dedicación, esfuerzo y confianza en uno mismo y en Dios. Les Quiero Mucho y su tía siempre va a estar para apoyarles y guiarles si es necesario.

A dos personitas que les quiero como que fueran mis sobrinos Denisse y Daniel Jaramillo este esfuerzo se los dedico y sé que van a llegar muy lejos al igual que a mis sobrinos solo les digo que se necesita ganas y dedicación.

A la familia de Francisco: Dra Ortega, Ing Ortega, Vero, Leo y Andrés; y como no mencionar a Doña Paquita, Don Ortega y Xavier; cada uno de ustedes son como mi familia les agradezco y les dedico este esfuerzo con mucho cariño aunque un poquito demoroso pero al fin concluido.

Y para terminar a mi compañero de tesis recalcándole que no vuelva a dejar ni pensar en dejar sus sueños porque sus sueños son importantes y el es capaz de cumplirlos; tú puedes y vamos siempre adelante.

Maritza.

Agradecimiento

A Diosito, a la Virgencita del Cisne, Divino Niño, por permitirme disfrutar de este sueño que es realidad y espero me sigan acompañando en mis próximos sueños.

A mis Papitos, Chochi, Carlos por sus cariños, cuidados, atenciones y por soportar mis rabietas. En especial a mi Ñaño, a quien admiro mucho y le estaré eternamente agradecido por lo que ha hecho por mí, lo que soy y lo que llegué hacer a futuro se lo debo y le dedico a él; gracias por confiar mucho y brindarme todo el apoyo incondicional para mis estudios. A Xavier, Denisse, Danielito y Vero, gracias por haberme abierto las puertas de su hogar en momentos de tristeza.

A Mari, por su infinito cariño, comprensión y amistad incondicional, por haber sido el apoyo sustancial para culminar con este objetivo; gracias por brindarme la oportunidad de volver a soñar y enseñarme que todo depende de mí, no lo desaprovecharé.

Al Ing. Francisco León, por su apoyo y consideración especial, mi gratitud enorme para usted y su distinguida familia. Al Ing. Santiago Rivadeneira por compartir con nosotros sus experiencias y consejos acertados a razón de sus años de experiencia.

A los Ingenieros P. Pérez, V. Medrano, O. Atiaga, M. Cruz, A. Tierra, M. Correoso, I. Medina, A. Andrade, W. Jácome, A. Robayo, gracias por sus enseñanzas...

A la Flia. Saavedra Proaño, por su paciencia, comprensión, por siempre estar ahí alentándonos para que acabemos pronto, mis mejores y mayores sentimientos de gratitud, estima y recuerdo. A la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH) por su apoyo para la ejecución de este proyecto.

A Fer y Gabo por su aprecio, cariño, atenciones y confianza, por sus consejos cuando estuve desenfocándome del objetivo, por tener las frases y palabras adecuadas para motivarme, alentarme y enrumbarme de nuevo.

A Xavier, Napito, Alfonsito, Sergio, que fueron parte de mi niñez, por sus atenciones y cuidados.

A mis cholitos Elen, Axen, Mausy que siempre están ahí, con quienes disfruto de sus juegos y ocurrencias, y recordarme que pequeñas cosas te pueden hacer muy feliz.

A Caminosca por darme la oportunidad de crecer año a año; al igual que todos mis amigos Caminosquenses que estuvieron pendientes, gracias por su preocupación y por su sincera amistad.

A mis panas del Colegio (Andrés, Santiago, Renato) y amigos de la U en especial a los compas que estuvimos en Cartagena y la Habana, con quienes me divertí mucho, compartimos en aulas, giras de estudio y fiestas; les deseo y augurio que cada día que pase cumplan sus sueños.

Francisco

Agradecimiento

Primeramente quiero agradecer a Dios, a la Virgencita y al Divino Niño Jesús que han estado conmigo en cada instante de mi vida, en aquellos momentos felices y los duros también, en los cuales no me dejaron desfallecer y me ha impulsado a luchar contra cada una de las adversidades demostrándome a mi misma que si uno tiene ganas no hay deficiencia que pueda desviarnos del objetivo.

A mis padres quienes con su apoyo incondicional han sabido guiarme y hacer de mi una mujer de bien sin su apoyo queridos papitos no hubiera logrado cumplir esta meta tan importante para mí les amo mucho y agradezco a Dios de haberme dado unos padres tan buenos como ustedes

A mis hermanos María Augusta, Paúl y Carlos; mejores hermanos no me pudo haber brindado la vida, unos hermanos que han estado siempre unidos dispuestos a celebrar los triunfos y animar en los fracasos, gracias mis hermanos son parte importante en mi vida.

A mi querido amigo y compañero de tesis Francisco, con quien he compartido momentos buenos y malos, una bonita relación la cual no admitía enojos ni resentimientos por tiempos prolongados porque extrañamente el uno necesitaba de la amistad del otro, contigo he aprendido tantas cosas útiles en la vida diaria y en la vida profesional, no tengo palabras para agradecerte todo las cosas buenas que has hecho por mí.

A la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH) por su auspicio y apoyo en la ejecución de este proyecto.

A mis amigos de la infancia, colegio y universidad; tantas locuras juntos, tantas lágrimas y risas, cada uno de ustedes tienen un lugar importante en mi corazón

Y como no mencionar a mis queridos profesores Ing. Francisco León, Ing. Mario Cruz aquellos que no solo fueron guías sino amigos durante toda mi vida universitaria, agradezco también a los Ingenieros. Pablo Pérez, Oliva Atiaga, Wilson Jácome, Crnl. Medrano y Dr. Tierra siempre los recordare como unos grandes maestros.

Y por último a mis perritos Police, Mausy y Axen, quienes no me pertenecen totalmente pero les quiero a cada uno como si fueran míos, ustedes me han dado tantas alegrías y me han mostrado el significado de fidelidad gracias mis Bichos.

Maritza.

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO I	1
PROPUESTA DE UN PLAN PARA EL APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO EN LA MICROCUENCA DEL RIO POMACOCHO, CANTON ALAUSI, PROVINCIA DE CHIMBORAZO.	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Justificación e Importancia	3
1.3. Alcance	5
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo General	6
1.4.2. Objetivos Específicos	7
1.5. Metas	8
CAPITULO II	9
MARCO TEÓRICO	9
2.1. Cuencas Hidrográficas.....	9
2.1.1. Definición	9
2.1.2. Partes de una Cuenca Hidrográfica	10
2.1.3. Elementos de una Cuenca Hidrográfica	11
2.1.4. Manejo de Cuencas Hidrográficas	14
2.1.5. Beneficios del Manejo de Cuencas Hidrográficas.....	17
2.2. Medición de Caudales	19
2.2.1. Método de Aforo	19
2.3. Cálculo de Caudales	20
2.3.1. Método de Isoyetas.....	20
2.3.2. Método Polígonos de Thiessen.....	22
2.4. Calidad de Agua	22
2.4.1. Parámetros para Determinar la Calidad de Agua	23
2.5. Modelo del Sistema Hidrológico.....	27
2.5.1. Modelo Hidrológico HEC - HMS.....	28
2.5.2. Modelo WEAP.....	30
2.6. Análisis de datos de la Precipitación.....	32
2.6.1. Interpretación de los Datos de Precipitación.....	33
2.6.2. Ajuste de Datos.....	33
2.6.3. Período Básico Normalizado de Observaciones.....	33
2.6.4. Curva de Doble Masa	35
2.6.5. Estimación de Datos Faltantes	37
2.6.5.1. Método de Interpolación Lineal.....	38
2.6.5.2. Método de Regresión.....	38
2.7. Sistema de Sensores Remoto	38
2.7.1. Tipos de Resolución en los Sensores Remotos.....	40
2.7.1.1. Resolución Espectral	40
2.7.1.2. Resolución Espacial o Geométrica	40
2.7.1.3. Resolución Temporal	40
2.7.1.4. Resolución Radiométrica	40
2.8. Satélite Landsat	41
2.9. Satélite Terra - Aster	43
2.10. Requisitos para el Análisis Multitemporal.....	45
2.10.1. Corrección Geométrica.	45

2.10.2. Corrección Radiométrica.....	46
2.10.3. Corrección Atmosférica.....	47
2.11. Clasificación de Imágenes	47
2.11.1. Clasificación No Supervisada.	48
2.11.1.1. Isodatas	49
2.11.1.2. K-Means.....	50
2.11.2. Clasificación Supervisada.....	51
2.11.2.1. Máxima Verosimilitud.....	51
2.11.2.2. Método del Paralelepípedo	53
2.12. Análisis Multitemporal	54
2.13. Geodatabase	55
2.13.1. Formas de los Elementos de una Geodatabase	56
2.13.2. Topología	57
2.13.3. Validación	58
2.13.3.1. Validación Topológica.....	58
2.13.3.2. Validación de Atributos	59
2.14. Actores Sociales	60
2.14.1. Características de los Actores Sociales.....	60
2.14.2. Identificación de Actores Clave.....	61
2.15. Biodiversidad	63
2.15.1. Diversidad Genética.....	64
2.15.2. Diversidad de las Especies.....	64
2.15.3. Diversidad Ecológica.....	65
CAPITULO III.....	66
CARACTERIZACION DEL RECURSO.....	66
3.1. Antecedentes Generales del Área de Estudio	66
3.1.1. Ubicación Geográfica.....	66
3.1.2. Descripción general del Área de Estudio.....	68
3.2. Parámetros morfométricos de la microcuenca en estudio	68
3.2.1. Superficie o Área (S).....	68
3.2.2. Perímetro (P)	68
3.2.3. Forma (F).....	69
3.2.4. Coeficiente de Compacidad (Kc)	69
3.2.5. Factor de forma (Rf).....	69
3.2.6. Pendiente (Im)	70
3.2.7. Densidad de drenaje (Dd).....	71
3.2.8. Orden de corrientes	71
3.2.9. Tiempo de concentración.....	72
3.3. Caracterización del Medio Físico	73
3.3.1. Topografía.....	73
3.3.2. Geología.	77
3.3.3. Hidrogeología.....	82
3.3.4. Suelos.....	84
3.4. Caracterización del Medio Biótico.....	89
3.4.1. Biodiversidad de la Microcuenca del Río Pomacocho	89
3.4.1.1. Páramo Herbáceo.....	91
3.4.1.2. Bosque Siempreverde Montano Alto de los Andes Orientales.....	92
3.4.1.3. Herbazal Lacustre Montano Alto.....	93
3.4.2. Flora.....	94
3.4.3. Fauna.....	95

3.4.3.1. Avifauna	96
3.4.3.2. Mamíferos	97
3.4.3.3. Hepertofauna	99
3.4.4. Zona Protegida y Áreas de Vegetación y Bosque Protector.	100
CAPITULO IV.....	103
ACTORES SOCIALES.....	103
4.1. Identificación de Actores Claves.	104
4.2. Roles de los Actores Sociales.....	107
4.3. Selección y Calificación de los Actores Sociales	109
4.3.1. Selección de actores sociales.....	109
4.3.2. Intereses.	109
4.3.3. Posible relación con el Proyecto	110
4.3.4. Problemas Percibidos para actuar en el Proyecto	110
4.3.5. Atribuciones ó Mandatos.....	110
4.3.6. Nivel de Prioridad para Solución del Problema.....	110
4.3.7. Observaciones y Recomendaciones.....	110
4.4. Calificación de actores sociales	115
4.4.1. Influencia.....	115
4.4.2. Posición frente al Proyecto.	115
4.4.3. Valor.....	116
4.5. Priorización de Actores Sociales.....	117
4.6. Plan de Acción para los Actores Sociales.....	118
4.6.1. Objetivo General.	118
4.6.2. Objetivos Específicos.....	118
4.6.3. Estrategias.	119
4.6.4. Marco de Acción.	119
4.6.5.Marco Operativo.	119
CAPITULO V.....	121
ANALISIS MULTITEMPORAL	121
5.1. Análisis de Cobertura Vegetal.....	121
5.1.1. Selección de Imágenes Satelitales.	121
5.1.2. Preprocesamiento de Imágenes Satelitales.....	124
5.1.2.1. Unión de Bandas.	125
5.1.2.2. Sinergismo.	126
5.1.2.3. Re proyección.	128
5.1.2.4. Corrección de Imágenes.....	129
5.1.3. Clasificación digital de Imágenes.....	140
5.1.3.1. Descripción de las coberturas existentes en la zona.	141
5.1.3.2. Metodología para la clasificación de las Imágenes Satelitales.	146
5.1.4. Detección de Cambios.	155
CAPITULO VI.....	163
ANALISIS DE INFORMACION HIDROMETEOROLOGICA	163
6.1. Información Hidrometeorológica	163
6.2. Análisis temporal de la información Hidrometeorológica	164
6.3. Análisis de variabilidad espacial	166
6.3.1. Relación entre Altura y Precipitación.	166
6.3.2. Relación entre Altura y Temperatura.	169
6.4. Análisis de la Curva de Doble Masa.	170
6.4.1. Curva de Doble Masa de Precipitación.....	170
6.4.2. Curva Doble Masa de Caudales	173

6.5. Relleno de datos faltantes.....	175
CAPITULO VII.....	179
CAUDALES.....	179
7.1. Modelación de Caudales	179
7.1.1. Modelo WEAP.....	179
7.1.1.1. Definición del Estudio	179
7.1.1.2. Alimentación de la Información en el Modelo Hidrológico.....	180
7.1.1.3. Método para la Simulación en la Microcuenca.....	188
7.1.1.4. Calibración del Modelo.....	206
7.1.1.5. Escenarios Futuros.	210
7.1.2. Modelo Hidrológico HEC – HMS.....	213
7.1.2.1. Número de Curva.....	214
7.1.2.2. Cobertura Vegetal.....	214
7.1.2.3. Grupo Hidrológico del suelo.....	214
7.1.2.4. Porcentaje de Impermeabilidad	216
7.1.2.5. Datos del Pluviógrafo.....	217
7.1.2.6. Tiempo de retorno.....	227
7.1.3. Cálculo de caudales por Isoyetas y polígonos de Thiessen.....	229
7.1.3.1. Caudales medios mensuales método de Thiessen e Isoyetas	233
7.1.3.2. Caudales por el método de aforo.....	235
7.2. Comparación entre métodos de cálculo de caudales.	237
CAPITULO VIII.....	238
ANALISIS DE CALIDAD DEL AGUA.	238
8.1. Índice de calidad de agua (ICA).....	238
8.2. Macroinvertebrados	248
CAPITULO IX.....	256
GEODATABASE.....	256
9.1. Topología.....	261
CAPITULO X.....	263
PROPUESTA DE PLAN DE APROVECHAMIENTO DE RECURSO HIDRICO EN LA MICROCUENCA DEL RIO POMACOCHO.	263
10.1. Formulación de Políticas y Líneas Estratégicas.....	263
10.2. Formulación de Programas para la Microcuenca.....	264
10.3. Definición de Programas.....	267
10.4. Caracterización de Proyectos con la Matriz del Marco Lógico.....	269
CAPITULO XI.....	271
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	271
11.1. Conclusiones	271
11.2. Recomendaciones.	273
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	276

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fecha de Lanzamiento y Desactivación de Landsat	41
Tabla 2. Resolución espectral y espacial de los satélites Landsat.	43
Tabla 3. Resolución Espacial y Espectral de las imágenes Aster.	44
Tabla 4. Funciones del Satélite Terra.....	45
Tabla 5. Tiempo recomendable en la detección de cambios.....	54
Tabla 6. Coordenadas UTM de Ubicación, Sistema WGS 84.	66
Tabla 7. Parámetros Morfométricos de la Microcuenca.	73
Tabla 8. Tipos de pendientes	75
Tabla 9. Rangos de pendientes.....	76
Tabla 10. Fotografías áreas usadas para el Mapa Geológico	79
Tabla 11. Permeabilidad de la Microcuenca.....	83
Tabla 12. Tipos de Suelos en la Microcuenca	87
Tabla 13. Formaciones Vegetales de la Microcuenca.....	91
Tabla 14. Zonas Protegidas y AVBPs en la Cuenca del Río Paute.....	100
Tabla 15. Matriz de Identificación de Actores Sociales.	106
Tabla 16. Matriz de Roles de los Actores Sociales.....	108
Tabla 17. Matriz de Selección de Actores Sociales.....	112
Tabla 18. Matriz de Valoración de Actores Sociales.	116
Tabla 19. Imágenes a usar para el análisis multitemporal.....	122
Tabla 20. Características de la imagen Landsat 5 TM, metadatos.....	122
Tabla 21. Características de la imagen Landsat 7 ETM+, metadatos	123
Tabla 22. Características de la imagen Terra Aster, metadatos.....	124
Tabla 23. Leyenda temática de cobertura vegetal a escala 1:50000.....	141
Tabla 24. Uso para cada banda de una imagen Landsat TM.....	147
Tabla 25. Cobertura Vegetal del año 1987.....	153
Tabla 26. Cobertura Vegetal del año 2001	154
Tabla 27. Cobertura Vegetal del año 2007	154
Tabla 28. Reclasificación de las imágenes.....	155
Tabla 29. Áreas con Cambios de cobertura vegetal de 1987-2001	157
Tabla 30. Áreas sin cambio de cobertura vegetal 1987-2001	158
Tabla 31. Detección Cambios 1987-2001	158
Tabla 32. Áreas con Cambios de cobertura vegetal de 2001-2007.....	159
Tabla 33. Áreas sin cambio de cobertura vegetal 2001-2007	160
Tabla 34. Detección Cambios 2001-2007	160
Tabla 35. Áreas con Cambios de cobertura vegetal de 1987-2007.....	161
Tabla 36. Áreas sin cambio de cobertura vegetal 1987-2007	162
Tabla 37. Detección Cambios 1987-2007	162
Tabla 38. Estaciones Hidrológicas y Meteorológicas.	163
Tabla 39. Períodos de tiempo con información meteorológica.	165
Tabla 40. Períodos de tiempo con información hidrológica	165
Tabla 41. Análisis Altura vs Precipitación.....	166
Tabla 42. Variación estacional de precipitaciones mensuales	167
Tabla 43. Resultados del análisis de doble masa.....	173
Tabla 44. Resultados del análisis de doble masa para caudales	174
Tabla 45. Estaciones meteorológicas y cuenca a la que pertenece	175
Tabla 46. Estaciones hidrológicas y cuenca a la que pertenece	176

Tabla 47. Temporalidad rellenada de las estaciones hidrológicas	177
Tabla 48. Temporalidad rellenada de estaciones meteorológicas.....	178
Tabla 49. Área de cada banda de elevación	181
Tabla 50. Series de tiempo para la variable precipitación,	186
Tabla 51. Serie de tiempo para la variable temperatura.....	187
Tabla 52. Cobertura Vegetal para el software WEAP.....	189
Tabla 53. Cobertura Vegetal de la Microcuenca para WEAP	189
Tabla 54. Clasificación de altura para cada catchment.	190
Tabla 55. Altura para cada catchment de la Microcuenca.....	190
Tabla 56. Kc para los diferentes tipos de uso de suelo.	191
Tabla 57. Kc para cada tipo de uso de suelo de la Microcuenca.....	191
Tabla 58. Kc para la cobertura Bosque.	192
Tabla 59. Sw para cada tipo de uso de suelo de la Microcuenca.....	193
Tabla 60. Dw en función a la altura del catchment.	193
Tabla 61. Dw para cada catchment en la Microcuenca.	194
Tabla 62. Z1 para cada Tipo de Uso de Suelo	194
Tabla 63. Z2 para cada Tipo de Uso de Suelo	195
Tabla 64. Kd en función a la altura de catchment.....	195
Tabla 65. Kd para cada catchment de la Microcuenca.....	195
Tabla 66. LAI para cada Tipo de Uso de Suelo.....	196
Tabla 67. LAI para cada tipo de uso de suelo de la Microcuenca.	196
Tabla 68. Ks para cada tipo de uso de suelo	197
Tabla 69. Ks para cada tipo de uso de suelo en la Microcuenca.....	197
Tabla 70. RRF en función a la altura del catchment.....	198
Tabla 71. RRF para cada catchments en la Microcuenca	198
Tabla 72. pfd en función de la altura de los catchment	199
Tabla 73. pfd para cada catchment de la Microcuenca	199
Tabla 74. Expresión para el ingreso en el software de las claves.	199
Tabla 75. Formato para el ingreso de datos climáticos	200
Tabla 76. Expresión para el ingreso de datos climáticos.....	201
Tabla 77. Factores de corrección para la calibración del modelo.....	207
Tabla 78. Ejemplo de datos Precip - Echap de la variable	211
Tabla 79. Grupo Hidrológico del suelo a través de su textura	215
Tabla 80. Número de la Curva.....	215
Tabla 81. Valores de K en función del período de retorno	228
Tabla 82. Caudales máximos en períodos de retorno.....	228
Tabla 83. Información de precipitaciones medias mensuales	229
Tabla 84. Serie de caudales medios mensuales calculados para el período 1991–2000 por el método de Thiessen.....	234
Tabla 85. Serie de caudales medios mensuales calculados para el período 1991–2000 por el método de Isoyetas.....	235
Tabla 86. Caudales por método de aforo	236
Tabla 87. Comparación entre métodos de cálculo para caudales.....	237
Tabla 88. Parámetros Físico – Químicos para el ICA.....	238
Tabla 89. Clasificación de ICA propuesta por Brown.	239
Tabla 90. Pesos de cada parámetro para determinar el ICA.....	240
Tabla 91. Solubilidad del Oxígeno en Agua Dulce	245
Tabla 92. Cálculo del ICA para la microcuenca.....	247
Tabla 93. Cálculo del ICA por punto de muestreo en la Microcuenca.....	247
Tabla 94. Calidad de agua por Macroinvertebrados.....	249

Tabla 95. Análisis Macroinvertebrados punto de muestreo 1	250
Tabla 96. Análisis Macroinvertebrados punto de muestreo 2.....	251
Tabla 97. Análisis Macroinvertebrados punto de muestreo 3.....	252
Tabla 98. Análisis Macroinvertebrados punto de muestreo 4	253
Tabla 99. Análisis Macroinvertebrados para toda la microcuenca.....	254
Tabla 100. Primer carácter del código de los objetos geográficos	256
Tabla 101. Catalogo de objetos temático	257
Tabla 102. Problemas Ambientales Identificados.....	266
Tabla 103. Definición de Programas	267
Tabla 104. Definición de Programas	268
Tabla 105. Definición de Programas	268
Tabla 106. Proyecto: Preservación del Recurso Hídrico en la Microcuenca del Río Pomacocho.	269
Tabla 107. Proyecto: Equipamiento de Estaciones Hidrometeorológicas, Monitoreo de Calidad del Agua y GIS.....	270

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo Hidrológico	10
Figura 2. Partes de una Cuenca Hidrográfica	11
Figura 3. Componente de una Cuenca Hidrográfica	12
Figura 4. Circulo Vicioso de la Degradación de los Recursos de una Cuenca.....	14
Figura 5. Molinete tipo taza cónica.....	20
Figura 6. Molinete tipo taza hélice.....	20
Figura 7. Período Básico Normalizado de Observaciones.....	34
Figura 8. Aplicación Método de Curva de Doble Masa.	36
Figura 9. Producto de los Sensores.....	39
Figura 10. Esquema de Sensor Activo y Pasivo	39
Figura 11. Identificación y Actores Sociales Claves.....	62
Figura 12. Esquema de Identificación y Actores Sociales Claves.....	63
Figura 15. Provincia del Chimborazo	67
Figura 15. República del Ecuador.....	67
Figura 15. Microcuenca del Río Pomacocho	67
Figura 16. Orden de Corrientes del Río Pomacocho	72
Figura 17. Clases de pendientes en la Microcuenca del Río Pomacocho. .	77
Figura 18. Rasgos Estructurales principales del Ecuador.....	78
Figura 19. Páramo Herbáceo, especie Calamagrostis effusa.	92
Figura 20. Bosque Siempreverde Montano Alto de los Andes Orientales...	93
Figura 21. Laguna Yahuarcocha. Herbazal Lacustre Montano Alto.....	93
Figura 22. Disminución de Paramos en la Microcuenca.	101
Figura 23. Disminución de Bosques por Incremento de Pastos cultivados, se observa procesos de inestabilidad en taludes del margen izquierdo del Río Pomacocho.	101
Figura 24. Perdida de cobertura de Bosques por actividades de ganadería en zonas de pendientes.....	102
Figura 25. Matriz de Priorización de Actores Sociales.....	117
Figura 26. Obtención y extracción de las bandas de Landsat 5 TM.....	125
Figura 27. Herramientas usadas para la unión de Bandas.	125
Figura 28. Unión de bandas de la imagen Landsat 5 TM de 1987.....	126
Figura 29. Imagen Landsat 7 con Sinergismo.....	127
Figura 30. Imagen Landsat 7 con Sinergismo.....	128
Figura 31. Herramientas para la re proyección de imágenes.....	129
Figura 32. Datos en el Módulo ATMOSC, Imagen Landsat 1987, B1.....	132
Figura 33. Valores de radianza y reflectancia imagen ASTER 2007.....	135
Figura 34. Puntos de control para la imagen ASTER 2007.....	138
Figura 35. Error medio cuadrático, georeferenciación de la imagen Aster 2007.....	139
Figura 36. Comprobación de campo	141
Figura 37. Cuerpo de agua	142
Figura 38. Páramo	143
Figura 39. Vegetación Arbustiva	143
Figura 40. Pasto Natural	144
Figura 41. Pasto Cultivado.....	145
Figura 42. Vegetación Arbórea	145

Figura 43. Cuencas visuales para la elaboración de las muestras de coberturas en el área de estudio.....	148
Figura 44. Evaluación de separabilidad de firmas.....	150
Figura 45. Procesamiento de Datos para Firmas Espectrales	151
Figura 46. Filtro Neighborhood para la Detección de Cambios.....	152
Figura 47. Clasificaciones de (año 1 y año 2) y la combinación de ambos raster en un nuevo mapa llamado CAMBIOS.	156
Figura 48. Estaciones meteorológicas e hidrológicas cercanas al área de estudio	164
Figura 49. Diagrama Precipitación vs Altura	166
Figura 50. Variación estacional de Precipitaciones Mensuales	168
Figura 51. Relación de Altura con Temperatura.....	169
Figura 52. Curva de doble masa para la variable precipitación.....	171
Figura 53. Ampliación de la gráfica de Análisis de doble masa de Precipitación	172
Figura 54. Análisis de doble masa para la variable caudales.	174
Figura 55. Estaciones meteorológicas y cuencas a la que pertenecen.....	176
Figura 56. Estaciones hidrológicas y cuenca a la que pertenecen.....	177
Figura 57. Bandas de Elevación de la Microcuenca del Río Pomacocho .	181
Figura 58. Catchments para cada banda de elevación	182
Figura 59. Zonas homogéneas de precipitación para la microcuenca.	183
Figura 60. Ecuación lineal obtenida de la temperatura.	184
Figura 61. Rendimiento de la Microcuenca del Río Pomacocho.....	185
Figura 62. Pantalla de nueva área de trabajo del software WEAP.....	201
Figura 63. Selección del área de trabajo en WEAP	202
Figura 64. Shp de la microcuenca en estudio en WEAP.....	202
Figura 65. Selección de años a modelar en WEAP	203
Figura 66. Creación de punto de aforo y catchments en WEAP	203
Figura 67. Selección del método a modelar en WEAP	204
Figura 68. Ingreso de datos de suelo en WEAP	204
Figura 69. Ingreso de datos de clima en WEAP.....	205
Figura 70. Modelo de caudales sin calibrar en WEAP.	205
Figura 71. Valores de caudales sin calibrar en WEAP	206
Figura 72. Diagrama de caudales calibrados en WEAP	208
Figura 73. Diagrama de barras de caudales calibrados en WEAP	209
Figura 74. Diagrama de escenarios futuros en WEAP.....	212
Figura 75. Diagrama de barras de escenarios futuros en WEAP.....	213
Figura 76. Infiltración Número de Curva	216
Figura 77. Zonificación de Zonas Pluviométricas del Ecuador.....	217
Figura 78. Zonas Pluviométricas de las estaciones en estudio.....	219
Figura 79. Pantalla de nuevo proyecto en el software HEC-HMS.....	221
Figura 80. Definición del modelo de la cuenca en HEC-HMS.....	221
Figura 81. Adición de shp del área de estudio en HEC-HMS	222
Figura 82. Definición de elementos hidrológicos en HEC-HMS	222
Figura 83. Definición del área y método para modelar en HEC-HMS	223
Figura 84. Ingreso de los datos número de curva y porcentaje de impermeabilidad en HEC-HMS.	223
Figura 85. Definición del tiempo de concentración en HEC-HMS	224
Figura 86. Pantalla para crear un nuevo elemento pluviógrafo en HEC-HMS	224

Figura 87. Ingreso de datos de intensidad en HEC-HMS	225
Figura 88. Modelo meteorológico en HEC-HMS	225
Figura 89. Ejecución del modelo en HEC-HMS	226
Figura 90. Ejecución del modelo en el software HEC-HMS	226
Figura 91. Polígonos de Thiessen para el área de estudio	232
Figura 92. Variación de Caudal respecto al tiempo por el método de Thiessen	234
Figura 93. Variación de Caudal respecto al tiempo por el método de Isoyetas.	235
Figura 94. Registro fotográfico de medición de caudales.	236
Figura 95. Subíndice para Coliformes Fecales	241
Figura 96. Subíndice para pH	241
Figura 97. Subíndice para DBO ₅	242
Figura 98. Subíndice para Nitratos.....	242
Figura 99. Subíndice para Fosfatos	243
Figura 100. Subíndice para Temperatura	243
Figura 101. Subíndice para Turbidez.....	244
Figura 102. Subíndice para Sólidos Disueltos	244
Figura 103. Subíndice para Sólidos Disueltos	246
Figura 104. Recolección de muestras de macroinvertebrados	248
Figura 105. Herramienta para crear una geodatabase	258
Figura 106. Herramienta para crear una geodatabase	259
Figura 107. Herramienta para crear una geodatabase	259
Figura 108. Herramienta para crear una geodatabase	260
Figura 109. Herramienta para crear una geodatabase	260
Figura 110. Topología para los Ríos de la Microcuenca.	262
Figura 111. Topología para lagunas de la Microcuenca	262

INDICE DE ANEXOS

Anexo A. Listado de Mapas

- A.1 Mapa Base de la Microcuenca del río Pomacocho
- A.2 Mapa de Pendientes
- A.3 Mapa Geológico
- A.4 Mapa de Suelos
- A.5 Mapa de Formaciones Vegetales
- A.6 Mapa de SNAP Y AVBP'S
- A.7 Mapa de Cobertura Vegetal para el Año 1987
- A.8 Mapa de Cobertura Vegetal para el Año 2001
- A.9 Mapa de Cobertura Vegetal para el Año 2007
- A.10 Mapa de cambios de cobertura vegetal del año 1987-2001
- A.11 Mapa de cambios de cobertura vegetal del año 2001 - 2007
- A.12 Mapa de cambios de cobertura vegetal del año 1987 - 2007
- A.13 Mapa de Isoyetas de la Microcuenca
- A.14 Mapa de Polígonos de Thiessen para la Microcuenca
- A.15 Mapa de Puntos de Aforo
- A.16 Mapa de Calidad del Agua

Anexo B. Biodiversidad

- B.1 Especies de flora, complejo de Laguna de Ozogoche y Achupallas.
- B.2 Especies de Aves en el Complejo de Laguna de Ozogoche y Achupallas.
- B.3 Fotos de Especies de Avifauna, sector Lagunas Ozogoche, Achupallas
- B.4 Especies de Mamíferos del Complejo de Laguna de Ozogoche y Achupallas.
- B.5 Fotos Especies de Mamíferos, sector Lagunas Ozogoche, Achupallas
- B.6 Especies de Mamíferos en el Complejo de Laguna de Ozogoche y Achupallas.
- B.7 Fotos Especies de Hepertofauna, Sector Lagunas Ozogoche, Achupallas

Anexo C. Actores Sociales

- C.1 Encuestas de “Identificación, Análisis de Actores Sociales Microcuenca del Río Pomacocho, Parroquia Achupallas, Cantón Alausí Provincia de Chimborazo”

Anexo D. Análisis Multitemporal

- D.1 Valores ingresados para la corrección atmosférica y radiométrica en las Imágenes Satelitales utilizadas

Anexo Digital E. Análisis de Información Hidrometeorológica

- E.1 Datos meteorológicos de las estaciones de estudio.
- E.2 Datos hidrológicos de las estaciones de estudio
- E.3 Datos crudos proporcionados por el INAMHI

- E.4 Análisis espacial de las variables meteorológicas.
- E.5 Análisis de Doble Masa de Caudales y Precipitación

Anexo Digital F. Caudales

- F.1 Datos climáticos ingresados en el software WEAP
- F.2 Cálculo BIAS Y NIAASH
- F.3 Datos Precip Echam A2
- F.4 Datos ajustados Echam A2
- F.5 Cálculo de impermeabilidad para la Microcuenca

Anexo Digital G. Calidad del Agua

- G.1 Cálculos del ICA para cada parámetro de la Microcuenca

Anexo H. Propuesta para el Plan de Aprovechamiento

- H.1 “Objetivo No. 7 políticas y líneas estratégicas se enmarcan al Nuevo Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017

Anexo Digital I. Geodatabase

- I.1 Geodatabase estructurada de la Cartografía Base y Temática (Vectorial y Raster).

RESUMEN

El presente proyecto tiene por objetivo establecer la “Propuesta de un plan para el aprovechamiento del recurso hídrico para la microcuenca del río Pomacocho”, el cual forma parte de la “Propuesta técnica de manejo de subcuencas hídricas y caracterización territorial ambiental, considerando el paisaje cultural andino y el desarrollo socioeconómico de la Parroquia Achupallas, Cantón Alausí, Provincia de Chimborazo”, la misma que es desarrollada por la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH). Para elaborar dicha propuesta, se recopiló y seleccionó información cartográfica base; información hidrometeorológica; datos de biodiversidad y de calidad de agua disponibles por la UNACH; toda esta información fue integrada en el análisis de datos y modelamiento de caudales, así como también se hizo uso de imágenes satelitales para la interpretación y determinación del cambio de uso de suelo y cobertura vegetal para el período de 1987 al 2007. Este análisis y determinación de resultados biofísicos, fueron integrados para la identificación y priorización de actores sociales con los cuales se establecieron los principales problemas que afectan a la microcuenca del Río Pomacocho y finalmente se implantaron los proyectos para el aprovechamiento del recurso hídrico de la microcuenca, los cuales están incluidos en los objetivos y lineamientos establecidos por la SENPLADES a través de su nuevo Plan del Buen Vivir para los años 2013 - 2017, que son patrocinadores del proyecto que ejecuta la UNACH.

Palabras Claves: Modelación, Calidad del Agua, Imágenes Satelitales, Actores Sociales, Microcuenca.

ABSTRACT

This project aims to establish a "Proposed plan for utilization of water resources of the watershed Pomacocho River", which is part of the "Technical Proposal Hydric Watersheds Management and Territorial Environmental Characterization, considering the Andean cultural landscape and socioeconomic development of the Achupallas Parish, Alausí Canton, Chimborazo Province", which is developed by the National University of Chimborazo (UNACH). To develop this proposal, was collected and selected basic cartographic information and hydrometeorological information; biodiversity data and quality of water available from UNACH, all this information was integrated into data analysis and modeling of flow and use was also made satellite images for interpretation and determination of the change in land use and land cover for the period 1987 to 2007. This analysis and determination of biophysical results were integrated for the identification and prioritization of stakeholders with whom the main problems affecting the watershed of Pomacocho River settled and finally projects for the utilization of water resources of the watershed were implanted which are included in the objectives and guidelines established by the SENPLADES through its new Plan of Good Living for the years 2013 - 2017, which is sponsoring the project running UNACH.

Keywords: Modeling, water quality, satellite images, social actors, watershed.

CAPITULO I

PROPUESTA DE UN PLAN PARA EL APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO EN LA MICROCUENCA DEL RIO POMACOCHO, CANTON ALAUSI, PROVINCIA DE CHIMBORAZO.

Actualmente en el Ecuador se observa un mal manejo de los recursos que se caracteriza principalmente por la utilización de prácticas tradicionales de cultivos, la deforestación de los bosques, el uso de agroquímicos para actividades agrícolas, la contaminación del agua y suelo, la falta de riego, la explotación de los páramos para pastoreo y sobre pastoreo, el cambio del uso del suelo, la migración; todos estos son factores que principalmente ponen en riesgo la sustentabilidad de los recursos naturales y la planificación ordenada y adecuada del territorio, por medio de la cual se asegure un crecimiento económico orientado a mejorar la calidad de vida de los habitantes y el uso racional de los recursos.

Es de esta manera muy importante preparar estrategias que permitan identificar acciones concretas que tiendan a planificar el uso sustentable de los recursos con la finalidad de promover un desarrollo ordenado del mismo y a su vez permita incentivar a la población con la colaboración de los principales actores sociales de la microcuenca hidrográfica, para que se realicen actividades de aprovechamiento y conservación de los recursos naturales dentro de la cuenca y de esta manera se pueda regular la problemática ambiental.

Desde este punto de vista se hace fundamental promover el trabajo local en las subcuencas y microcuencas, cuyos problemas específicos son característicos del conjunto de la cuenca y simultáneamente, es necesario mantener una visión global de todo el sistema hidrográfico, por lo cual es importante desarrollar en términos sustentables, aquellas actividades que son consideradas claves para la salud ambiental y la armonía de la cuenca.

El presente trabajo tiene como objetivo principal dar una propuesta para el aprovechamiento del recurso hídrico en la microcuenca del Río Pomacocho; considerando el análisis multitemporal de la cobertura vegetal que ha cambiado por acción del ser humano, además de considerar el análisis de biodiversidad, calidad de agua y caudales; parámetros que no han sido analizados en el área de estudio y que son fundamentales para el correcto uso de este recurso.

1.1 Antecedentes

“Desde los orígenes del hombre, las civilizaciones surgieron y florecieron en los lugares donde la agricultura era más prospera, es decir donde había suelos más productivos y agua de buena calidad y suficiente cantidad. En la actualidad las cuencas altoandinas sufren por un acelerado proceso de deforestación, sobrepastoreo, desertificación y erosión hídrica” (Vásquez Villanueva, 2000). La preocupación por las cuencas hidrográficas representa un gran problema que ha sido descuidado en cuanto a su manejo sustentable; ya que el agua dulce en un futuro si no se da el manejo adecuado representará el mayor problema geopolítico e incluso se habla de posibles guerras por este recurso tan importante para el ser humano.

La microcuenca del río Pomacocho es afluente del río Juval, y parte de la Cuenca del río Paute que pertenece al gran sistema hidrográfico del Río Santiago, cuyo caudal aporta directamente al embalse del Proyecto Hidroeléctrico Paute – Molino, razón por la cual es imprescindible diseñar medidas urgentes de protección, conservación, recuperación de los recursos naturales, pero en especial los bosques y los páramos los cuales están siendo sobreexplotados para actividades de pastoreo, incrementando la erosión y la pérdida de los suelos dentro de la zona, ocasionando a largo plazo suelos improductivos, haciendo que los agricultores y pobladores de la zona busquen nuevas tierras cubiertas de bosques y páramos para los fines que se estén buscando, incrementando de esta manera los problemas sociales, la deforestación y la erosión en otras microcuencas y subcuencas

Las poblaciones asentadas deben ser muy cuidadosas al momento de realizar sus prácticas agrícolas, con el fin de prevenir el deterioro, la contaminación y la disminución del recurso agua tanto para el consumo humano como para riego. Todos estos son factores cuya generación y mantenimiento juega un papel muy importante en el manejo de una cuenca; la conservación de las cuencas debe hacerse de una forma integral tomando en cuenta sus componentes físico, biótico y socio-económico; evitando la tala de árboles y cobertura natural, incendio y uso de pesticidas.

1.2 Justificación e Importancia

El recurso hídrico se encuentra amenazado debido a diversos factores como son el crecimiento de la población humana y actividades económicas que se desarrollan a su alrededor; la sociedad tiende a sobreexplotar las tierras y los recursos forestales, así como a contribuir con la contaminación,

teniendo como resultado impactos negativos sobre el recurso agua. Es por este motivo que nace la importancia de realizar un estudio y tomar medidas para la protección, conservación y recuperación de las cuencas y microcuencas del país.

Las acciones antropogénicas como la agricultura y el pastoreo ocasionan la destrucción de humedales naturales y la desaparición de los páramos, alterando los caudales; los cuales son básicos para realizar un plan de manejo de este recurso; además el grado de interés por los actores locales al preservar los recursos naturales y evitar la degradación de los mismos, hace imperiosa la necesidad de que se establezcan planes y políticas que permitan adoptar un equilibrio y se alcance un desarrollo sustentable que evite la explotación indiscriminada de los recursos naturales.

En la zona de estudio predominan los humedales y páramos; ecosistemas de gran importancia para el equilibrio hídrico por su capacidad de almacenamiento de agua y la gran biodiversidad de especies que habitan, por estos motivos se planifica la necesidad de realizar un estudio de la situación actual de éste recurso así como de su ecosistema, con el fin de realizar una propuesta para su buen uso y conservación apoyando a la gestión territorial en la toma de decisiones, y que permita alcanzar un desarrollo sustentable de los recursos naturales sin dejar de lado a los actores sociales que intervienen dentro de una cuenca hidrográfica, catalogándose esta la base principal para la formulación de políticas, planes de manejo y desarrollo, a nivel nacional, regional, local y sectorial.

1.3. Alcance

En la construcción de la geodatabase se realizará una propuesta de acuerdo a los estándares usados actualmente por el Instituto Geográfico Militar y el CLIRSEN en cuanto a mapa base y mapas temáticos; que se compatibilizará con la consultoría realizado por el Ing. Pedro Araujo con el tema “Implementación de Sistemas de Información Geográfica para la Universidad Nacional de Chimborazo”.

Con respecto al análisis multitemporal de la cobertura vegetal y su detección de cambio se realizará con imágenes satelitales de los años 1987, 2001 y 2007 que abarcan la zona de estudio y que fueron utilizadas en microcuencas cercanas a la microcuenca del Río Pomacocho; cabe indicar que estas imágenes requieren de un pre-procesamiento, procesamiento, clasificación y detección de cambios en el transcurso de estos años.

Adicionalmente se realizará el mapa geológico de la zona de estudio a escala 1:50.000, a través de la fotointerpretación de fotografías aéreas, y se recopilara la información cartográfica de Suelos a escala 1:50.000 desarrollada por el PRONAREG - ORSTOM en 1982.

La modelación de caudales se realizara a través del uso del análisis de los datos hidrometeorológicos seleccionados de acuerdo a su existencia, continuidad y calidad; los mismos que servirán para la respectiva calibración y verificación de los modelos a desarrollarse en WEAP y HEC-HMS.

El éxito que se obtenga en los resultados de estos modelos, así como el cálculo de caudales mediante el método de aforo – Molinete, Isoyetas y

Thiessen está estrechamente ligado a la calidad y cantidad de datos disponibles dentro de la zona de estudio.

El análisis de los resultados de calidad de agua y biodiversidad se realizará a través de la interpretación de los datos obtenidos en el monitoreo que realizó la Universidad Nacional de Chimborazo.

Se identificará los actores sociales que desarrollan proyectos o han ejecutado proyectos en la zona de estudio; priorizando y calificando los actores sociales que disponen de los medios y fines para ejecutar actividades que fortalezcan el trabajo que desarrolla la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH) para esta microcuenca, para lo cual se propondrá un plan de acción que permita desarrollar una actuación directa y activa en los proyectos de conservación, protección o recuperación de los recursos hídricos.

Con el estudio de todos estos componentes y la percepción de los actores sociales identificados, se diseñará una propuesta para un plan de aprovechamiento del recurso hídrico en la microcuenca del Río Pomacocho que parta de los lineamientos establecidos por el Nuevo Plan del Buen Vivir para los años 2013 - 2017.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Elaborar la Propuesta para el Plan de Aprovechamiento del Recurso Hídrico en la microcuenca del Río Pomacocho.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Diseñar y construir la geodatabase para el proyecto.
- Analizar la presencia de cobertura vegetal y su relación con la producción de agua en la microcuenca.
- Analizar los datos meteorológicos del área de estudio.
- Medir los caudales a través del método de aforo – molinete.
- Calcular los caudales mediante el método de Isoyetas, polígonos de Thiessen
- Modelar los caudales, mediante los softwares de modelamiento hidrológico WEAP¹ y HEC-HMS².
- Interpretar los resultados obtenidos por la Universidad Nacional de Chimborazo de calidad del agua y biodiversidad en la zona de estudio.
- Analizar y proponer la gestión de actores sociales.
- Elaborar el Plan de Aprovechamiento Hídrico para la protección, recuperación, conservación de la microcuenca del río Pomacocho.

¹ WEAP (Water Evaluation And Planning), es una herramienta computacional para la planificación integrada de recursos hídricos.

² HEC-HMS (Hidrologic Modeling Sistem), desarrollado por el U.S.ARMY.CORPS OF ENGINEERS.

1.5. Metas

- Construir y estructurar una base de datos gráfica y una base de datos alfanumérica para el SIG de la microcuenca del río Pomacocho a escala 1:50.000, según los estándares definidos en los Metadatos.
- Elaborar cuatro mapas de cobertura vegetal para tres periodos (1987, 2001, 2007) y uno de cambio de cobertura mediante la clasificación de las imágenes satelitales a escala 1:50.000.
- Realizar una matriz con los datos meteorológicos necesarios para el cálculo de caudales.
- Generar cuatro mapas del cálculo de caudales usando los: Métodos de Isoyetas, Thiessen, Molinete a escala 1:50.000
- Una matriz de comparación entre los modelos WEAP y HEC – HMS.
- Elaborar una matriz de los datos de calidad del agua y biodiversidad.
- Cinco matrices de actores sociales (Identificación, roles, calificación, matriz de priorización, plan de acción).
- Un plan de aprovechamiento, caracterizando al menos dos proyectos con la matriz de Marco Lógico.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Cuencas Hidrográficas

2.1.1. Definición

Son unidades hidrográficas que están definidas por sistemas topográficos y geológicos a través de una línea divisoria topográficamente que delimita el territorio de una superficie de drenaje común, en donde interactúan sistemas físico-bióticos y socioeconómicos; y que puede ser utilizada como una unidad para planificación y ordenamiento de los recursos naturales.

La cuenca hidrográfica es un sistema holístico, dinámico, en donde se producen interacciones e interrelaciones entre sus elementos los cuales determinan el funcionamiento de una cuenca.

Para comprender que una cuenca hidrográfica es un sistema debemos observar que existen entradas, procesos internos, y salidas; un ejemplo es a través del ciclo hidrológico, en donde se puede cuantificar la cantidad de agua que ingresa por medio de precipitación, y la cantidad de agua que sale de la cuenca por medio de su río principal en las desembocaduras o por el uso que adquiere el agua. (Ver Figura 1)

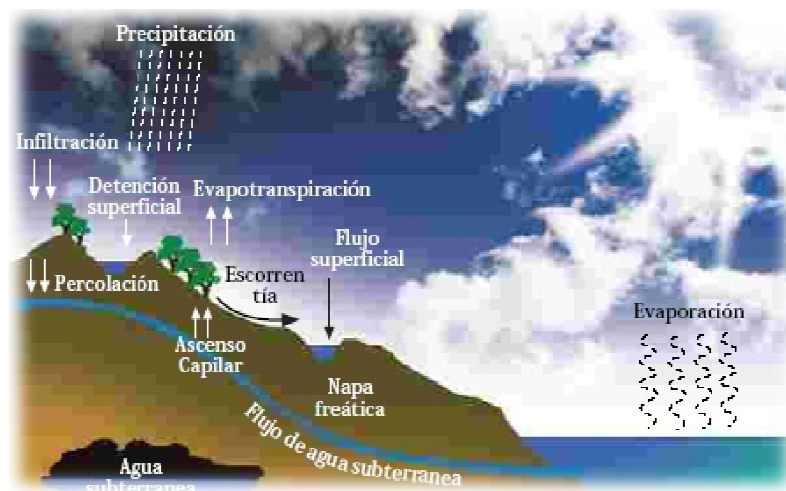


Figura 1. Ciclo Hidrológico
Fuente: (Faustino & García, 2004)

2.1.2. Partes de una Cuenca Hidrográfica

Las partes de una cuenca hidrográfica, están divididas en tres partes: alta, media y baja de acuerdo a la elevación relativa de sus partes:

- **Zona Alta.-** Corresponde áreas de montaña, las cuales son las zonas de captación de aguas, en estas zonas se localizan los nacientes de agua y las zonas de reserva, siendo ésta la parte más frágil de la cuenca.
- **Zona Media.-** El río principal mantiene un cauce definido. Disminuye la pendiente de los suelos y además se incrementa el caudal de las aguas.
- **Zona Baja.-** Las pendientes de los suelos baja drásticamente, se presentan depósitos de sedimentos en el lecho del río y este se desborda o desaparece (estuarios, humedales). (Ver Figura 2)

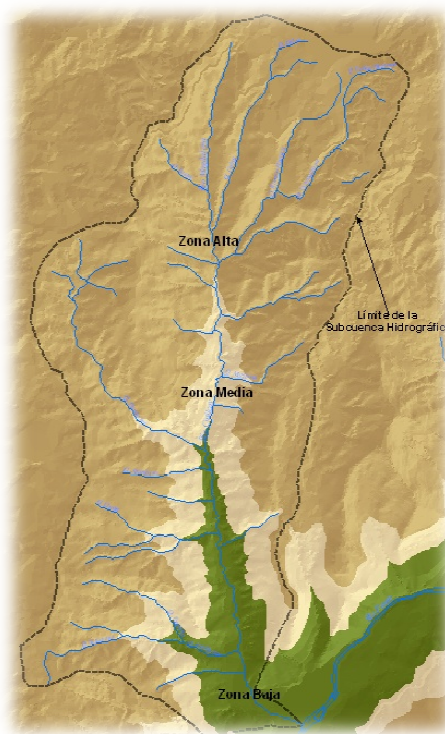


Figura 2. Partes de una Cuenca Hidrográfica
Elaborado por: Autores

2.1.3. Elementos de una Cuenca Hidrográfica

La Cuenca Hidrográfica se encuentra compuesta por componentes principales los cuales al integrarse forman un sistema; de esta manera encontramos dentro de estos componentes a los siguientes:

- Elementos naturales
- Elementos socioeconómicos
- Elementos jurídicos – institucionales.

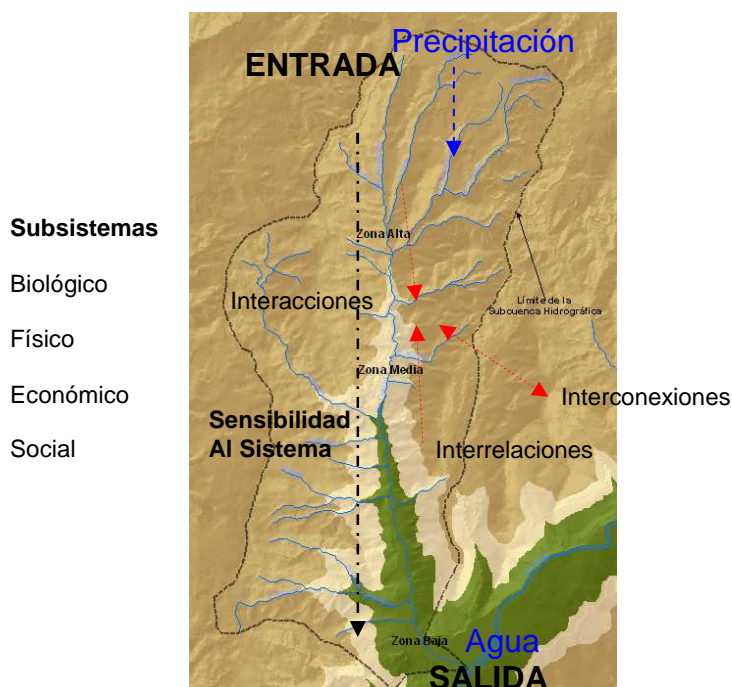


Figura 3. Componente de una Cuenca Hidrográfica
Elaborado por: Autores

En los elementos naturales de una cuenca hidrográfica encontramos los componentes físicos como son suelo, geología, geomorfología, recursos hídricos, clima; los componentes biológicos como son flora y fauna; elementos socioeconómicos que son generados por el hombre; los elementos jurídico- institucionales en donde tenemos las leyes, ordenanzas, reglamentos y políticas para la administración de los recursos, mientras que en lo institucional tenemos a los consejos, comités de gestión de agua para microcuencas y cuencas hidrográficas, creados para el manejo de los recursos naturales en la cuenca hidrográfica.

La interrelación de los factores implicados en el deterioro de los recursos naturales se puede resumir en un círculo vicioso que incluye un proceso de tres etapas. En cada etapa está integrada una serie de factores. La primera etapa se denomina impacto socioeconómico el cual es el factor activador u organizador de otras dos etapas consecutivas, los factores sociales y

económicos, la explosión de masas sin educación o poco educadas y la emigración asociada con la pobreza son las principales razones inherentes al comportamiento humano y a la dinámica de población de las comunidades locales. El incremento de la población que altera el equilibrio sostenido entre los recursos de la cuenca y la demanda, se ve reflejado en el impacto al medio ambiente; y la desesperación socioeconómica que obliga a la población a destruir páramos, bosques, pastizales, y recursos hídricos.

De esta manera la segunda etapa de este círculo vicioso (2) en cuanto al abuso de los recursos de la tierra, empieza con la transformación de bosques y pastizales para otros usos inadecuados y que están fuera del uso potencial del suelo, la utilización residencial de tierras de cultivos y el abuso en la agricultura y la silvicultura.

Todas las actividades anteriormente indicadas activan los problemas reales concretos (3) como erosión, deslizamientos de tierras, sequía, inundaciones, contaminación ambiental, déficit de caudal, y escasez de alimentos.

Esta etapa y las dos anteriormente mencionadas completan el ciclo de este círculo vicioso y acelera sumamente las magnitudes del impacto socioeconómico en la primera etapa Figura 4

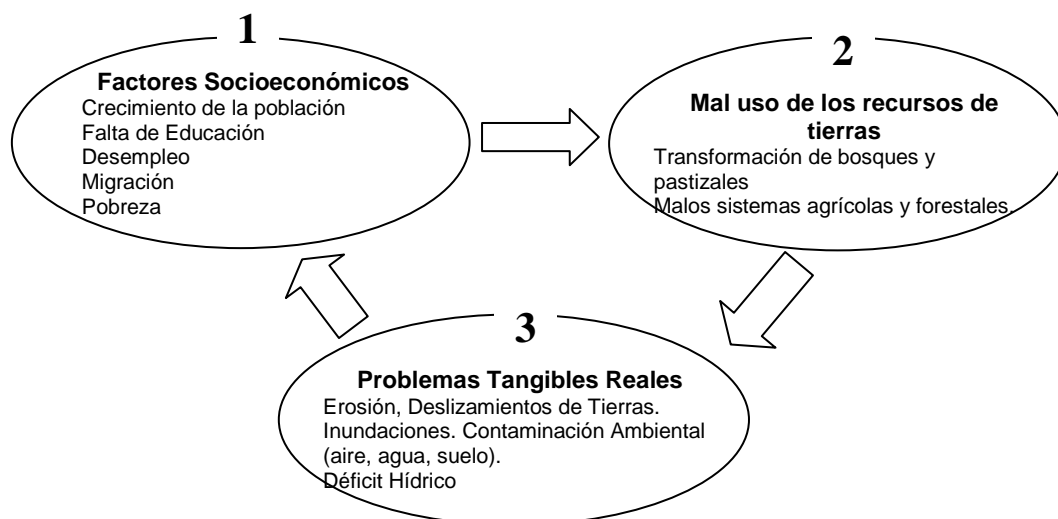


Figura 4. Circulo Vicioso de la Degradación de los Recursos de una Cuenca
Elaborado por: Autores

La degradación física y las consecuencias de los diversos usos de la tierra de una cuenca, demuestran que se hace imprescindible estimular la conciencia pública de las organizaciones no gubernamentales y autoridades públicas para encontrar ingresos que permitan mejorar y restaurar las condiciones de la zona, y a través de los elementos jurídico institucionales se llegue a facilitar la gestión coordinada de los recursos naturales en la cuenca hidrográfica.

2.1.4. Manejo de Cuencas Hidrográficas

El manejo de cuencas tiene como principal objetivo mejorar el bienestar social de la población, llegar a formular e implementar acciones y prácticas para poder conservar los recursos naturales, manipular los sistemas naturales de una cuenca para la producción de bienes, servicios, y poder mitigar los efectos de los fenómenos naturales.

Existen un sin número de formas para poder llegar a planificar una cuenca hidrográfica, este dependerá primordialmente del objetivo principal del manejo, un manejo integral productivo natural implica orientar las actividades productivas de acuerdo a las características y aptitudes del suelo, presencia de especies endémicas, cultura productiva; y el otro objetivo basado en la reducción del riesgo y la vulnerabilidad ambiental, donde el riesgo está definido por la intensidad de la amenaza y el grado de vulnerabilidad de una sociedad a dichos efectos.

Para llegar a cumplir cualquiera de los dos objetivos mencionados anteriormente se requiere partir de un diagnóstico de la cuenca, establecer objetivos claros para un manejo y administración con criterios de sostenibilidad y que se involucre de manera activa a la sociedad y a la ciudadanía en general.

La sustentabilidad dentro de estos tipos de planificación se basa fundamentalmente en la cimentación de una ciudadanía solidaria, participativa, comprometida, informada propositiva que garantice un proceso participativo, democrático, sustentable, es decir que cada ciudadano sea conocedor de sus derechos y obligaciones individuales y colectivas, tenga un conocimiento profundo de la situación que atraviesa su unidad hidrográfica, participe activamente en los espacios de concertación y en roles públicos, se conduzca con integridad y ética. Caso contrario se seguirá demostrando que la mayor parte de los fracasos en los proyectos de manejo de cuencas hidrográficas se da por el haber ignorado a los actores principales de la obra: la población y su organización social

En nuestro medio las organizaciones sociales aun no reúnen las capacidades para promover un mejor desarrollo, en este aspecto el Estado juega un rol importante ya que debe tomar las iniciativas necesarias para el manejo de cuencas a través de políticas y leyes adecuadas; de esta manera la participación con las ONG`S y los Consejos de Gestión del Agua serán más efectivas las acciones técnicas que estos requieran desarrollar.

En los procesos de planificación para el manejo de cuencas hidrográficas es importante demostrar las ventajas operativas de trabajar en microcuencas, pequeñas subcuencas, a continuación se indican algunas de estas razones:

- El área de la unidad hidrográfica es pequeña y por ende las necesidades de recursos es menor.
- Es fácil llegar a la comprensión de la problemática de los recursos naturales, las necesidades y los mecanismos que permitirán resolver estas.
- La administración es más sencilla.
- Los procesos de monitoreo y seguimiento ambiental pueden llegar a ser más efectivos.
- El interés común de los actores sociales es mucho más homogéneo que en una gran cuenca, facilitándose la participación, coordinación, organización de estas y compartiéndose las experiencias de los actores más eficaz y rápidamente.

Trabajar en estas unidades hidrográficas desde los ámbitos geográficos, ambientales, sociales y económicos es complementario; hacia adentro este

se complementa con el manejo de la finca y la comunidad; hacia afuera se complementa con otras unidades hidrográficas ó político administrativos municipios, cantones, parroquias; es decir las acciones a tomarse se orientan a producir cambios sustentables en los sistemas de producción, en donde se logren integrar los objetivos de producción y protección de los recursos naturales.

Las acciones que se tomen en este sentido presentaran impactos cuantificables a corto y mediano plazo, de manera positiva o negativa, en cuanto a la recuperación de la cubierta vegetal, recuperación de la capacidad de los suelos, disponibilidad del recurso hídrico, presencia o ausencia de biodiversidad de flora y fauna, entre otras variables que permitan mantener la sostenibilidad de los sistemas de producción.

2.1.5. Beneficios del Manejo de Cuencas Hidrográficas

El manejo de una cuenca hidrográfica permite organizar la participación de los actores sociales responsables e interesados en el aprovechamiento y manejo de los recursos naturales, con los cuales se llega a establecer indicadores que permitirán evaluar el mejoramiento ambiental, la sostenibilidad de los recursos naturales y la calidad de vida.

A continuación se indican algunos de los principales beneficios que se llegarían a alcanzar:

- Los procesos para ordenamiento territorial y ambiental, posibilita la relación e interacción espacial de los diferentes escenarios asociados a las capacidades y vocación de la cuenca.

- La intervención en un sistema integrado, permite una mejor coordinación entre proyectos y acciones, además se puede tener una mejor visión de los problemas, sus causas, efectos y las interacciones entre ellos.
- Fuera de la cuenca, se garantiza la oferta de servicios, por ejemplo: Agua para poblaciones, riego, electricidad, lugares de esparcimiento, oferta de productos forestales y agropecuarios.
- A nivel de cuenca, se logrará mejorar la calidad del agua, regular el sistema hídrico, controlar inundaciones y sequías, estabilizar a la población, internalizar las externalidades asociadas al manejo de la cuenca.
- A nivel de finca a los productores se les demostrará los beneficios que se derivan de la conservación de suelos, aguas, agroforestería, manejo de cultivos, uso racional de agroquímicos (mejor uso de los recursos naturales).
- Facilita la concertación, se maneja mejor los conflictos y se definen prioridades en forma armoniosa, que permitan identificar las principales fuentes de financiamiento asociados a los efectos globales y específicos que se producen en la cuenca.
- Se puede promover con mayor respaldo, la participación para el manejo de la cuenca y su sostenibilidad institucional. Ejemplos: Por medio de los comités de cuencas, cuencas municipales u otras entidades de cuencas en general.
- Bienestar ambiental, social y económico, que permitan valorar el patrimonio ambiental.

2.2. Medición de Caudales

En física la palabra caudal (Q) significa la cantidad de líquido que pasa en un cierto tiempo. Específicamente, el caudal sería el volumen de líquido que circula dividido el tiempo.

$$\text{Caudal (Q)} = \frac{\text{Velocidad (m}^3, \text{lt)}}{\text{Tiempo (seg)}}$$

La cantidad de agua en una cuenca (Q), nos permite conocer la cantidad que se le puede asignar a cada uso, es por este motivo que es muy importante conocer los datos de caudales ya que estos permiten planificar diversos proyectos en la cuenca de estudio; estos datos se los puede estimar directamente en el campo cuando no existen estaciones de aforo en los alrededores de la cuenca.

Para la medición de caudales entre algunos de los métodos que se tiene esta el método de aforo que se describe a continuación:

2.2.1. Método de Aforo

El aforo consiste en medir el volumen del agua en un tiempo determinado; es decir el caudal que pasa por un curso de agua. Existen varios métodos para aforar, a continuación se describe el método de aforo con molinete.

El aforo con molinete se lo realiza a través de un dispositivo conocido como molinete es un dispositivo que mide la velocidad de caudales y existen dos tipos: el tipo de taza cónica que gira sobre un eje vertical (Ver Figura 5); y el tipo de hélice que gira sobre un eje horizontal, estos últimos son los más usados (Ver Figura 5). Su principio se basa en que la velocidad de rotación

es proporcional a la velocidad de la corriente por lo que se debe contar el número de revoluciones en un determinado tiempo; a mayor tiempo mayor precisión de la medición.

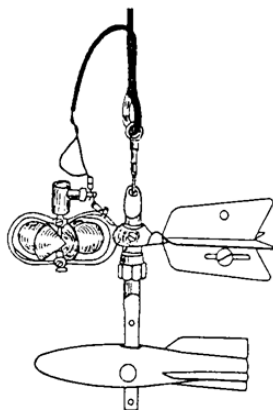


Figura 5. Molinete tipo taza cónica

Fuente: (Boletín de Suelos de la FAO - 68, 1997)

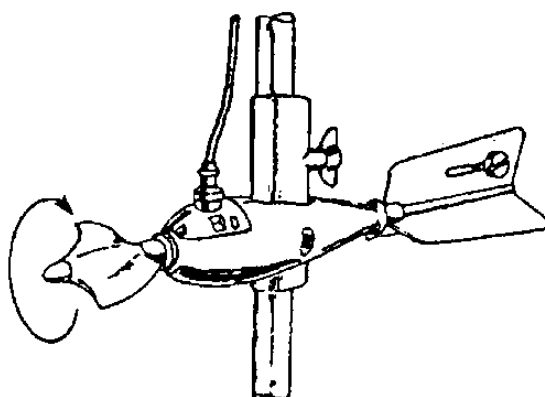


Figura 6. Molinete tipo taza hélice

Fuente: (Boletín de Suelos de la FAO - 68, 1997)

2.3. Cálculo de Caudales

2.3.1 Método de Isoyetas

Las isoyetas son curvas de igual precipitación, que suministran estimaciones y responden a gradientes muy fuertes de precipitación debido

a la topografía; es uno de los métodos más usados que consiste en tomar los datos registrados en las estaciones meteorológicas y se traza curvas de igual precipitación llamadas isoyetas o isolíneas.

Entre sus ventajas tenemos:

- Los efectos orográficos pueden ser tomados en cuenta
- Permite tener una visualización de la extensión y distribución de la precipitación
- Pueden ser utilizados los pluviómetros que se encuentran cerca de la cuenca
- Se le puede adaptar a grandes cuencas con red pluviométrica dispersa (Auza, 2011).

El cálculo de caudales a través del método de Isoyetas está dado por la siguiente ecuación (Garcés & Ruiz, 2011):

$$Q = \frac{P * C}{N}$$

En donde:

Q= Caudal o esorrentía en m³/s

P= Volumen medio de precipitación (m³) en la cuenca de drenaje correspondiente al punto de interés.

C= Coeficiente de esorrentía

N= Número de segundos de la época seleccionada

2.3.2 Método Polígonos de Thiessen

Este método es útil cuando la distribución de las estaciones no es uniforme, su principio se basa en realizar una ponderación con cada uno de las estaciones y consiste en colocar en un mapa las estaciones (Auza, 2011) pluviométricas y el área de la cuenca; posteriormente se forma triángulos con las estaciones cercanas entre si y se trazan las mediatrices o bisectrices perpendiculares a cada uno de los triángulos de esta manera se definen polígonos alrededor de cada estación (Auza, 2011). Posteriormente se calcula la precipitación media a través de la siguiente fórmula (Villón, 2002):

$$P_{med} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i P_i$$

En donde:

P_{med} = Precipitación media

A_T = área Total de la cuenca

A_i = Área de influencia parcial del polígono de Thiessen correspondiente a la estación i

P_i = Precipitación de la estación i

n= Número de estaciones tomadas en cuenta

2.4 Calidad de Agua

En el estudio de cuencas hidrográficas es muy importante el análisis de la calidad de agua ya que nos permite conocer el grado de contaminación de este recurso y de acuerdo al análisis se determinará su uso más adecuado; ya sea este para el consumo humano, riego, industria, expedición de

licencias ambientales, programas de monitoreo, etc.; por lo tanto una fuente de agua puede ser apta para un uso en particular pero no apta para otro y estos límites permisibles se expresan en el Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiente (TULSMA).

La calidad de agua se puede determinar mediante procedimientos de muestreo, análisis de laboratorio e interpretación de resultados y son fundamentales para el control, prevención y protección de fuentes hídricas, desarrollo de proyectos y evaluación de impactos ambientales. Es necesario que los puntos de muestreo sean representativos tomando en cuenta las características de la cuenca, capacidad de autopurificación y en caso de existir descargas contaminantes su ubicación.

Otros de los problemas constituye la generación de aguas residuales que generalmente tienen como punto de descarga final las mismas fuentes de abastecimientos que es el cauce natural, es así que las poblaciones ribereñas agua abajo son afectadas y no poseen una buena calidad de agua para su satisfacción.

2.4.1 Parámetros para Determinar la Calidad de Agua

- Oxígeno Disuelto (OD): Es un indicador indispensable en la calidad del agua ya que de este depende la vida acuática de muchas especies por ejemplo los peces necesitan cantidades alta de OD y las bacterias al contrario necesitan de una cantidad baja de OD, además es un factor determinante de la capacidad de autopurificación del agua y está en función de la presión y temperatura.

- pH: Determina el comportamiento ácido o básico del agua, es un parámetro importante para el desarrollo de la vida acuática. Por lo general los cauces naturales tienen un pH básico que oscila entre 6,5 - 8,5 además a partir del pH nos permite medir otros parámetros como la alcalinidad y acidez.
- Temperatura: Es una variable física que influye en la calidad del agua y principalmente en la solubilidad del oxígeno y putrefacción al aumentar la temperatura.
- Conductividad: Es una medida de resistencia que opone el agua al paso de una corriente eléctrica; una conductividad elevada expresa en una salinidad elevada y en valores incorrectos de pH.
- Color: Esta asociado a sustancias en solución y existe el color aparente que está en el agua bruta y el color verdadero que es cuando ya se eliminó materia en suspensión. El color en aguas naturales puede provenir de material vegetal, sustancias húmicas, fitoplancton, algunos minerales como el hierro y manganeso; pero en aguas contaminadas el color va a depender al tipo de actividad que está ocasionando la contaminación a través del vertimiento de sus residuos.
- Turbidez: Es ocasionada por materia insoluble o en suspensión por su naturaleza coloidal y puede provenir de procesos de arrastre, remoción de tierra. La turbidez afecta el desarrollo de los peces, la penetración de la luz por lo que se reduce la actividad fotosintética y produce un color característico en el agua.

- **Sólidos Totales:** Corresponde a la suma entre sólidos disueltos y sólidos en suspensión.
- **Sólidos en Suspensión:** Se filtra el agua y se determina la cantidad de sólidos retenidos en el filtro, estos corresponden a materia coloidal.
- **Sólidos Disueltos:** Corresponde a sales disueltas en el agua.
- **Sólidos Decantables:** Son aquellos que por su tamaño y peso se precipitan o sedimentan.
- **Demanda Biológica de Oxígeno (DBO):** Representa la concentración de materia orgánica biodegradable; su medición consiste en ver la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica, se lo puede apreciar en la disminución de oxígeno disuelto luego de incubar una muestra durante 5 días ya que si existe una gran cantidad de materia orgánica biodegradable crecerá una gran cantidad de microorganismos aeróbicos que consumen el OD.
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** es la cantidad de materia susceptible a la oxidación química, para su medida se reemplaza la utilización de microorganismos por un gran oxidante químico como el dicromato de potasio o el permanganato de potasio. Su parámetro indicativo es la materia orgánica biodegradable y no biodegradable.
- **Coliformes Totales:** Comprenden la totalidad del grupo de coliformes, es un indicador de contaminación de agua y su procedencia se asocia a la contaminación fecal, estos causan enfermedades intestinales en caso de ser ingeridos.
- **Fosfatos:** Los compuestos que contienen fósforo promueven el crecimiento de algas y otros organismos biológicos del agua, sin

embargo si su crecimiento fuera acelerado y en grandes cantidades dificultaría la vida en cuerpos de agua como ríos y lagos debido a la ausencia de oxígeno; por esta razón se debe tener mucho cuidado con los detergentes ya que muchos de estos contienen fosfatos que aportan a la contaminación

- Nitritos: Los nitritos se forman biológicamente por bacterias nitrificantes al convertir un compuesto de amonio a nitrito, a este proceso se le conoce como nitrificación, generalmente la concentración en agua es baja sin embargo cuando existe contaminación estos valores aumentan considerablemente.
- Nitratos: Los nitratos en cauces naturales sin contaminación suelen hallarse en cantidades reducidas mientras que en aguas residuales ya sea de uso doméstico o industrial la cantidad es elevada. La presencia de nitratos puede causar la eutroficación impidiendo la oxigenación natural del cauce.
- Sulfatos: Pueden encontrarse en los cauces naturales en pocas o grandes cantidades, pero en aguas residuales de minas de hierro aportan grandes concentraciones de sulfatos a causa de la oxidación de la pirita.
- Macroinvertebrados: El análisis de calidad de agua con macroinvertebrados han sido usados en Europa desde hace mucho tiempo atrás sin embargo es en la década de los 50 en la que tiene una mayor aceptación debido a las investigaciones que demuestran que las plantas y animales evidencia la contaminación del agua a través de sus distintas respuestas a este fenómeno ya sea por su

presencia, ausencia y abundancia, que indican que las características físicas o químicas del agua se encuentran alteradas. Es por este motivo que el método de bioindicadores es cada día más aceptado por los ecólogos para saber la calidad de agua y evaluar impactos ambientales en las obras de ingeniería ya sea estas represas, minas, carreteras, etc

Los macroinvertebrados son organismo que viven en sistemas acuáticos y miden más de 0,2 mm, es decir son visibles para el ojo humano sin necesidad de usar instrumentos de aumento, carecen de vertebras. Dentro de esta clasificación podemos encontrar por ejemplo las larvas, crustáceos, sanguijuelas, etc.

Estos bioindicadores permiten conocer el estado del agua ya que reaccionan de manera más rápida a las modificaciones de su entorno, además se puede diferenciar entre cambios provocados de manera natural o cambios provocados por el ser humano.

2.5 Modelo del Sistema Hidrológico.

El análisis de un sistema hidrológico consiste en estudiar la operación del sistema y predecir su salida (Chow, Maidment, & Larry W, 1994). Un modelo es una aproximación al sistema real: entradas y salidas son variables hidrológicas mensurables y su estructura es un conjunto de ecuaciones que conectan las entradas y salidas.

Los modelos hidrológicos se dividen: en dos categorías: físicos y abstractos (Chow, Maidment, & Larry W, 1994). Los modelos físicos incluyen representaciones a escala reducida de un sistema como por ejemplo modelo

hidráulico de un proyecto hidroeléctrico; y modelos análogos en donde las ecuaciones que describan dos fenómenos físicos se logren expresar en forma matemática idéntica, independientemente de que los símbolos de cada uno de ellos tengan significado diferente, mientras que los modelos abstractos representan a los sistemas en forma matemática a través de ecuaciones que relacionan variables entrada y salida que están en función del espacio y tiempo, adicionalmente estas variables pueden ser probabilísticas o aleatorias que no tiene valores fijos en un punto particular del espacio y del tiempo que se describen a través de distribuciones de probabilidad.

En los modelos hidrológicos se observan 3 procesos básicos que suceden dentro de una cuenca hidrográfica:

- Almacenamiento de agua (se realiza dentro del suelo, vegetación, acuíferos y demás cuerpos de agua)
- Transito de agua (sobre la superficie, a través de acuíferos, suelos, ríos, arroyos, humedales)
- Pérdida de Agua desde el almacenamiento (evaporación, percolación y flujos laterales o interflujo)

2.5.1. Modelo Hidrológico HEC - HMS.

Es un sistema que fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, en el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC – Hydrologic Engineering Center), programa que fue diseñado para simular la respuesta que tendrá la cuenca de un río en su escurrimiento superficial como producto de una precipitación, a través de la representación de la cuenca

hidrográfica como un sistema interconectado de componentes hidráulicos y hidrológicos, el resultado de modelar estos componentes es el cálculo de hidrogramas de flujo (expresión integral de las características fisiográficas y climáticas que rigen las relaciones entre la lluvia y la esorrentía de una cuenca de drenaje particular (Chow, 1959) en sitios elegidos de la cuenca (Villón, 2002).

Para realizar la caracterización y simular el comportamiento hidrológico de una cuenca, HEC – HMS está compuesto por 3 componentes básicos:

- Modelo de la Cuenca (Basin Model).

Para (Villón, HEC - HMS, 2010) el modelo de la cuenca “representa la cuenca física, aquí se indica al programa las subcuencas y la distribución de los elementos hidrológicos que intervienen en ella. Cada elemento hidrológico usa modelos matemáticos los cuales representan los procesos físicos que acontecen en la cuenca”.

- Modelo Meteorológico.

Este modelo, tiene como particularidad que el usuario puede definir precipitaciones reales, teóricas o tormentas de diseño para ser utilizado.

Entre otras características que se identifican en el modelo, es que se puede integrar los registros de los pluviógrafos, ó a su vez introducir los datos de los pluviómetros georeferenciados en la subcuenca lo cual permitirá calcular el promedio de las precipitaciones.

- Especificaciones de Control.

Este componente, indica los tiempos de simulación y optimización través de datos de fecha y hora de inicio y finalización e intervalo de tiempo que permitirá realizar los cálculos, el cual permite calcular los hidrogramas de escurrimiento.

2.5.2. Modelo WEAP.

Water Evaluation and Planing System (WEAP), o en español Sistema De Evaluación y Planificación de Agua es una herramienta computacional designada a la planificación de los recursos hídricos; creada en 1988, desarrollada y apoyada por el Instituto Ambiental de Estocolmo, institución sin fines de lucro con sede en la Universidad de Tufts en Somerville, Massacchustess (EE.UU). El modelo WEAP es muy útil para el manejo de cuencas hidrográficas ya que permite modelar diversas variables necesarias para la elaboración de planes de manejo del recurso hídrico; tomando en cuenta a la vez la demanda del agua (uso del agua) con la oferta de agua (caudal, agua subterránea, embalses) para de esta manera elaborar el mejor plan para el uso presente y futuro de este recurso; algunos de sus aspectos principales son:

- Enfoque Integrado: Usado para realizar evaluaciones de planificación integrada de recursos hídricos
- Proceso de participación: Facilita la participación de los actores involucrados en los procesos.
- Balance de agua: Almacena información de demanda y oferta de agua con el fin de realizar balances de masa.

- Basado en simulación: Simula la demanda, oferta, caudal, escorrentía, infiltración, flujos y almacenamiento de agua, generación, tratamiento, descarga de contaminantes y de calidad de agua en ríos.
- Escenarios de políticas de uso de agua: Analiza diversas opciones en el manejo de cuencas hidrográficas tomando en cuenta sus diversos usos.
- Interfaz amigable: Es posible enlazarla con herramientas graficas SIG.
- Integración de modelos: Conexión dinámica con otros programas como Excel.

Su funcionamiento se base en el principio básico de balance de masa y puede ser usado para una sola cuenca; o para un sistema complejo de cuencas permitiendo al usuario realizar una simulación de diversos componentes naturales y alanzarlos con un SIG para su manipulación. Para su desarrollo consta por lo general de varios pasos:

- Definición del Estudio: En esta etapa se establece los límites geográficos y temporales del proyecto así como los componentes a usarse en el desarrollo del mismo.
- Recopilación de Información: Se realiza una búsqueda de la información necesaria para la construcción del modelo.
- Desarrollo del modelo: Se ingresa la entrada de datos y se hace una corrida preliminar del modelo en donde se puede observar posibles errores e inconsistencias a ser eliminadas.
- Calibración del modelo: Se realiza una comparación de los datos de caudales observados versus los simulados en donde se observa la

correlación de los mismos y de esta manera determinar que tan eficiente fue el modelo.

- Generación de escenarios: Se elabora un sistema de supuestos alternativos para políticas futuras en el manejo del recurso hídrico.

2.6. Análisis de datos de la Precipitación

La información hidrometeorológica en algunas zonas de estudio y casos es escasa, su calidad dudosa y limitada, lo cual condiciona los estudios y la toma de decisiones.

Algunos autores señalan que alguna de las causas que evidencian una deficiente calidad en la información hidrometeorológica son por ejemplo: instrumentos de registro descalibrados, cambio de ubicación de la estaciones, deficiencias y ausencia de registro de datos en las series climatológicas, diferentes periodos de registro, ausencia de estaciones en zonas de estudio, pueden introducir alteraciones e influenciar en interpretaciones equivocadas de los datos analizados.

Para conseguir datos confiables, se debe efectuar un control de calidad en los datos hidrometeorológicos antes de realizar cualquier procesamiento o análisis, para lo cual se requieren revisar consideraciones preliminares de análisis como es la calidad de los datos medidos, el ajuste y estimación de los mismos, luego de su agrupación y ordenamiento adecuado para finalmente realizar los análisis con fines particulares (Pérez, Puche, & Bracho, 2011).

2.6.1. Interpretación de los Datos de Precipitación

Cuando se realiza la interpretación de los datos de precipitación persigue principalmente dos objetivos principales:

- Evalúa las observaciones cuando son registros de un evento de precipitación o una serie de eventos, para lo cual se evalúa una muestra observada, se considera los defectos de implantación de pluviómetros y las características fisiográficas de la zona en estudio.
- Describir al evento en forma apropiada para ser utilizado en otras aplicaciones dependiendo la finalidad del estudio.

2.6.2. Ajuste de Datos

Las mediciones son útiles en hidrología cuando representan las condiciones de la zona de estudio y que su duración sea importante; para conseguir la homogeneidad entre mediciones de varios tipos, es necesario realizar ajustes los cuales no deben influenciar en la integridad de las mediciones.

Los ajustes son realizados para establecer periodos en común en el registro de datos con respecto a un medio ambiente dado como régimen normalizado, eliminar o reducir los efectos de influencias externas, extraer o resumir los datos para su presentación o examen.

2.6.3. Período Básico Normalizado de Observaciones

El mayor problema que se presenta con frecuencia es la generalización de los datos hidrológicos, como la precipitación media anual, procede del hecho que las estaciones de aforo tienen periodos de registro variables. (Ver Figura 7)

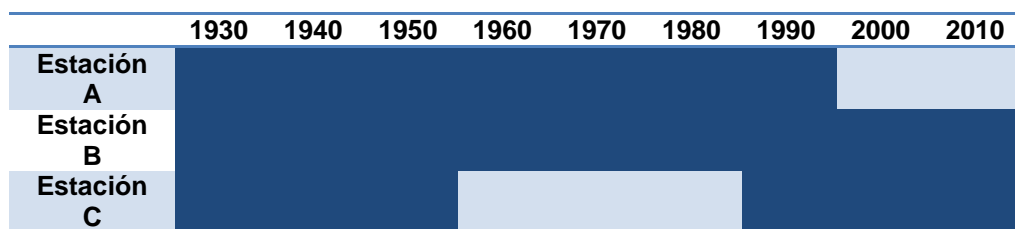


Figura 7. Período Básico Normalizado de Observaciones

Elaborado por: Autores

Para resolver este tipo de problemas, se utiliza un gráfico de barras (Figura 7) en el cual se señala los periodos de registro de varias estaciones en la misma escala de tiempo, a través de este gráfico se selecciona periodos de registro completos.

En las estaciones que faltan datos durante los periodos de registro determinados, se puede estimar estableciendo correlación de datos entre una estación incompleta y otra estación completa próxima. La correlación se la establece utilizando los años comunes entre las dos estaciones y con la ecuación resultante se estima los datos que faltan a partir de los datos de la estación que si los dispone.

Con relación al gráfico anterior los datos de la Estación C se estimarían en función de los datos de la Estación B, si hemos identificado una buena correlación entre ambas estaciones como por ejemplo:

$$\text{Estación C} = \text{Estación B} - 1.083 + 23.61$$

La elección de los periodos de registro, requiere considerar periodos suficientemente largos que permita representar una adecuada muestra del registro del tiempo. Si los periodos son muy largos, se encontrara demasiadas síntesis del registro, en cambio si el periodo es muy corto, será

una muestra pobre de las variaciones temporales y puede ser indebidamente influenciado por periodos anormales húmedos, secos.

2.6.4. Curva de Doble Masa

Es un método matemático, gráfico utilizado en series de precipitación, y a su vez puede ser aplicado también en interpolación para el relleno de datos faltantes, extrapolación para extender una serie incompleta al periodo de comparación y en otros temas climáticos que presentan variabilidad espacial.

Algunos autores señalan que en este método debe utilizarse series largas y homogéneas de varias estaciones, García et al (1968) establece un mínimo de 10 estaciones, mientras que Guevara (1987) indica que en la práctica señala se utiliza menos de 10 estaciones debido a la dificultad de encontrar estaciones con datos suficientes en periodos de tiempo similares y de acuerdo a proximidad de las respectivas áreas de estudio.

El análisis de la curva de doble masa permite determinar la consistencia de la serie de valores de algún elemento hidrometeorológico medido en la estación X con base a datos registrados en otra estación o grupo de estaciones. Antes de utilizar este método es necesario verificar si las series de registro de las estaciones vecinas se pueden utilizar

Primeramente se establece la serie base la cual está en función del promedio de cada una de las series acumulativas de cada estación vecina al sector en estudio; posteriormente se grafica la serie base vs serie acumulada, si los puntos aparecen sobre una recta, la serie acumulativa pertenece a la serie base, y se continua con este método.

A continuación se procede graficar la serie problema (acumulada), respecto a la serie obtenida, si los puntos se ajustan a la recta, se concluye que la serie problema es homogénea. Según (Castillo y Castelvi, 1996) si el resultado grafico es una línea quebrada, cada vértice se debe considerar como una anomalía o heterogeneidad.

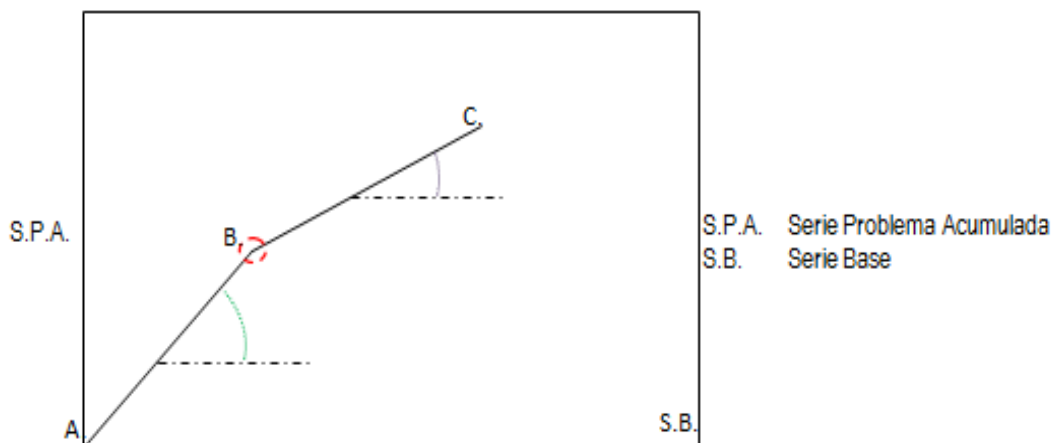


Figura 8. Aplicación Método de Curva de Doble Masa.
Fuente: (Pérez, Puche, & Bracho, 2011)

Con base a la figura anterior se calcula la pendiente del periodo más reciente AB (primer sector) y la del periodo a modificar BC, los valores del tramo BC se calculan como el producto entre esos valores y el cociente entre la pendiente AB y el tramo BC.

De esta manera tenemos que si el valor Y_{BC} el valor modificado y Y_{AB} el valor sin modificar, se obtiene:

$$Y_{BC} = Y_{AB} \frac{\text{Tag } \alpha}{\text{Tag } \beta}$$

Con la ecuación anteriormente indicada se corrige la serie acumulada. Los valores se deben corregir a partir del año de inicio del error, ajustando

los valores anuales sin acumular con el valor resultado de la ecuación anterior.

Por ejemplo si el fenómeno meteorológico que analizamos es la precipitación, para aplicar el método de la curva de doble masas se compararía la lluvia anual o mensual (valores acumulados) de la estación que se desee revisar, con la precipitación anual o mensual acumulada de otra estación o grupo de estaciones.

2.6.5. Estimación de Datos Faltantes

La estimación de datos es un problema frecuente en la parte climatológica, observaciones no realizadas, datos extraviados, datos en forma ilegible, registros incompletos, entre otros.

Para la resolución de los problemas de ausencia de datos climatológicos es necesario considerar algunas situaciones como por ejemplo: a) la duración de los periodos sin datos, b) el numero observaciones faltantes de uno o dos elementos, c) el tipo de variable (discreta, cuantitativa, cualitativa), d) si las estaciones cercanas pueden o no aportar para establecer los datos faltantes.

Existen varios métodos que permiten resolver la estimación de datos faltantes, los cuales varían de acuerdo a la información que se tenga disponible, así tenemos método de interpolación lineal, como por ejemplo podemos citar el ajuste por diferencia de cocientes, razón de valores normales, y el método más conocido y que trataremos a continuación de Regresión.

2.6.5.1. Método de Interpolación Lineal

La estimación de un dato faltante es por medio del cálculo del dato promedio del día anterior y siguiente a este día, este método se lo usa en la estimación de la temperatura del aire a través de la siguiente expresión:

$$X_i = \frac{(X_{i-1} + X_{i+1})}{2}$$

X_{i-1} = Valor del día anterior al día sin datos

X_{i+1} = Valor del día siguiente al día sin dato

2.6.5.2. Método de Regresión

Al comparar valores simultáneos entre un par de estaciones, a veces encontramos que existen relaciones de tipo lineal es decir que se logran ajustar a una recta, esto acontece generalmente cuando se encuentran muy próximas las estaciones. En este caso a través de la ecuación de regresión podemos identificar los datos faltantes en una estación, ya que esta ecuación revela la relación existente entre los datos históricos de dos estaciones:

$$Y = aX + b$$

Y = La serie con datos faltantes. a, b = Coeficientes; X= La serie con datos incompleta.

2.7. Sistema de Sensores Remoto

Los sensores son dispositivos a bordo de una plataforma aérea, capaces de detectar y registrar la radiación electromagnética en determinado rango

del espectro electromagnético; el producto puede estar representado como una imagen, una forma grafica (firmas espectrales) o en tabla (valor de los pixeles), como se observa en la Figura 9

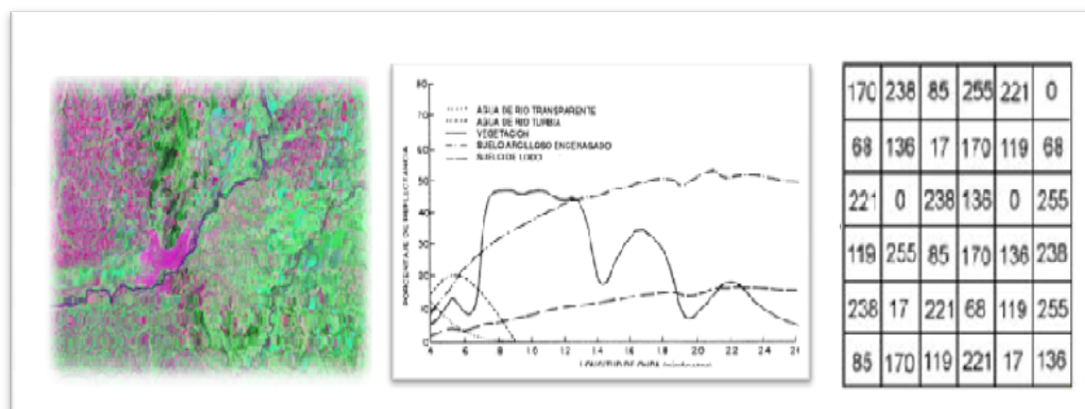


Figura 9. Producto de los Sensores.
Fuente: (Alves, 2005)

Los sensores se clasifican en sensores activos el cual emite energía electromagnética a una posición de la superficie terrestre y captura la energía reflejada por el mismo en este caso el sensor puede operar tanto en el día como en la noche; o sensores pasivos los cuales captan energía de una fuente externa como el sol.

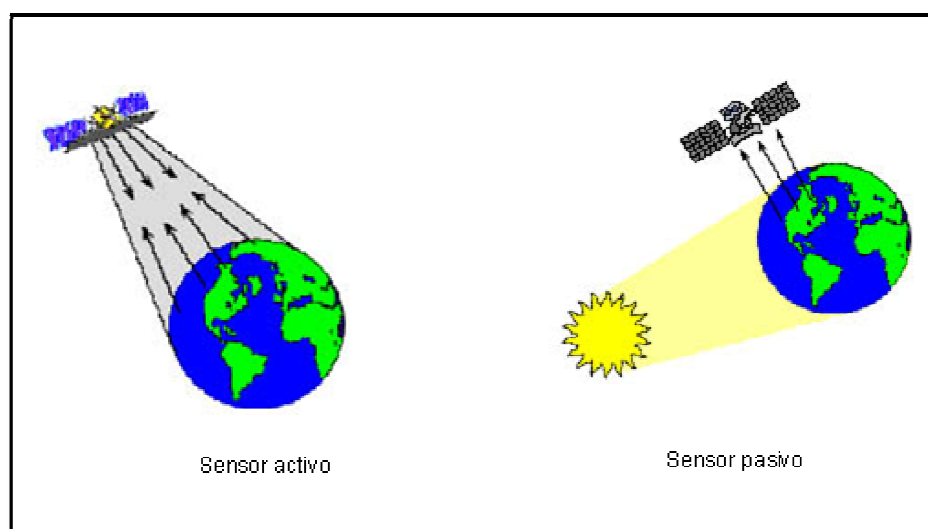


Figura 10. Esquema de Sensor Activo y Pasivo
Fuente: (Alves, 2005)

2.7.1. Tipos de Resolución en los Sensores Remotos

2.7.1.1. Resolución Espectral

Es la capacidad que tiene el sensor para captar una parte específica del espectro electromagnético y este no depende del número de bandas.

Si un sistema de sensor posee más de una banda espectral se le denomina multiespectral ya que registra la radiación electromagnética de los cuerpos en varias bandas espectrales como por ejemplo el Landsat 7 que opera en 8 bandas espectrales.

2.7.1.2. Resolución Espacial o Geométrica

Se refiere a la calidad visual de la imagen en términos del tamaño del pixel; también podemos hablar del área vista por un sensor a la superficie terrestre dentro de un ángulo sólido; mientras menor es el ángulo mayor será la resolución espacial.

2.7.1.3. Resolución Temporal

Esta dada por la frecuencia con el que satélite o plataforma vuelve a pasar por el mismo sitio de la superficie observada.

2.7.1.4. Resolución Radiométrica

Es la capacidad para captar energía; es decir la capacidad que posee un sensor para poder discriminar diversos objetos que poseen pequeñas diferencias en cuanto a la radiación reflejada o emitida en cierta región del espectro.

Para poder discriminar esta intensidad en la región del espectro se ha clasificado según los tonos de grises que van desde oscuro para valores iguales o cercanos a cero y claro para los valores de mayor intensidad.

Para calcular la radiación electromagnética se utiliza la expresión 2^n en donde 2 es una constante y n es el número de bits usado en la grabación por el sensor. Por ejemplo un sensor que grave a 4 bits tendrá una resolución radiométrica de 16 niveles digitales ($2^4 = 16$).

2.8. Satélite Landsat

Los satélites LANDSAT (Land Remote Sensing Satellite), fueron lanzados desde el 23 de julio de 1972 en Estados Unidos para la exploración de los recursos de la tierra; en un comienzo fue llamado ERTS 1 (Earth Resources Technology Satellite) para luego cambiar su nombre al sistema de satélites Landsat. A partir de este año se lanzó el Landsat 1, 2, 3, 4, 5, 7. En la tabla 1 se describe la fecha de cada lanzamiento y su respectiva fecha de desactivación o si se encuentra activo hasta el momento.

Tabla 1. Fecha de Lanzamiento y Desactivación de Landsat

Satélite	Fecha de Lanzamiento	Fecha de desactivación
Landsat 1	23 de Julio de 1972	6 de Enero de 1978
Landsat 2	22 de Enero de 1975	25 de Febrero de 1982
Landsat 3	5 de Marzo de 1978	31 de Marzo de 1983
Landsat 4	16 de Julio de 1982	Activo en la actualidad
Landsat 5	1 de marzo de 1984	Activo en la actualidad
Landsat 6	5 de Octubre de 1983	Se perdió luego del lanzamiento
Landsat 7	15 de Abril de 1999	Activo en la actualidad

Elaborado por: Autores, 2013.

Los satélites Landsat 1, 2 y 3 tenían el sistema de sensores Multi Spectral Scanners (MMS), y Landsat 4 y 5 poseen Thematic Mapper (TM) que mejora su resolución de 80 a 30 m. El principal objetivo de Landsat 5 fue el mapeo de la superficie terrestre a partir de sensores multiespectrales con una resolución media, este sensor sigue en funcionamiento superando el tiempo de vida útil estimado.

El satélite Landsat 7 posee los sensores Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM⁺), caracterizado por aumentar a su sistema de sensores el pancromático y dos sensores termales.

Gracias a su ciclo periódico en la captura de las imágenes hace que sea muy utilizado para el análisis multitemporal.

Los satélites Landsat 1, 2, 3 con una órbita casi polar y sincronizados con el sol a una altitud de 912 Km tenía un ciclo de 18 días esto quiere decir que para pasar por la misma faja de la superficie terrestre se requería 19 días.

Los satélites 4 y 5 poseen una órbita casi polar, circular y sincronizada con el sol a una altura de 705 Km con un ciclo de 16 días.

Landsat 7 su operación es administrada por la NASA y su producción y comercialización por la United States Geological Survey (USGS), puede adquirir imágenes desde los 81° de latitud norte hasta los 81° de latitud sur y en todas las longitudes del globo terrestre, tiene un ciclo de 16 días. Para su procesamiento de imágenes puede ser combinada con imágenes históricas del Landsat 5 ya que los dos poseen un área de mapeo igual a 185 Km, lo cual es de mucha ventaja en caso de hacer un estudio multitemporal.

En la tabla 2 se especifica la resolución espectral y espacial de los satélites Landsat 5 TM y Landsat 7 ETM⁺.

Tabla 2. Resolución espectral y espacial de los satélites Landsat.

	Banda - Espectro	Resoluciones			Satélite Landsat	
		Espectral (μm)	Espacial (m)	Radiométrica (bits)		Temporal (días)
1	Azul	0,45-0,52 0,45-0,52	30	8 bits	16 días	5 TM 7 ETM ⁺
2	Verde	0,52-0,60 0,52-0,60	30	8 bits	16 días	5 TM 7 ETM ⁺
3	Rojo	0,63-0,69 0,63-0,69	30	8 bits	16 días	5 TM 7 ETM ⁺
4	Infrarrojo Cercano	0,76-0,90 0,76-0,90	30	8 bits	16 días	5 TM 7 ETM ⁺
5	Infrarrojo Medio	1,55-1,75 1,55-1,75	30	8 bits	16 días	5 TM 7 ETM ⁺
6	Infrarrojo Térmico	10,40-12,50 10,40-12,50	120 120/60	8 bits	16 días	5 TM 7 ETM ⁺
7	Infrarrojo Lejano	2,08-2,35 2,08-2,35	30	8 bits	16 días	5 TM 7 ETM ⁺
8	Pancromático	- 0,52-0,90	- 15	8 bits	16 días	5 TM 7 ETM ⁺

Elaborado por: Autores, 2013.

2.9. Satélite Terra - Aster

El satélite Terra fue diseñado para monitorear la atmósfera, océanos y continentes del planeta, contribuyendo a las investigaciones científicas en cuanto al cambio de CO₂, ozono, cobertura de suelo, cambio climático y riesgos naturales. Fue lanzado por la NASA el 18 de Diciembre del 1999, posee una órbita polar heliosincrónica, a una altura aproximada de 705 Km, con un ciclo de 16 días.

El satélite Terra consta de los siguientes instrumentos:

- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

- Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)
- Multi- Angle Imaging Spectroradiometer (MISR)
- Measurement of Pollution in the troposphere (MOPITT)
- Earth Radiation Budget Experiment (CERES).

El satélite Aster captura imágenes de alta resolución espacial de 15- 90 m de la tierra a través de 14 bandas espectrales en franja del visible, infrarrojo cercano, infrarrojo medio e infrarrojo térmico. En la tabla 3 se muestra la resolución espacial y espectral de los subsistemas del satélite ASTER.

Tabla 3. Resolución Espacial y Espectral de las imágenes Aster.

Bandas	Rango Espectral (μm)	Zona	Resolución
1	0,52 - 0,60	VNIR (Visible e Infrarrojo cercano)	15
2	0,63 - 0,69	VNIR (Visible e Infrarrojo cercano)	15
3	0,76 - 0,86	VNIR (Visible e Infrarrojo cercano)	15
4	1,60 - 1,70	MIR (Infrarrojo Medio)	30
5	2,145 - 2,185	MIR (Infrarrojo Medio)	30
6	2,185 - 2,225	MIR (Infrarrojo Medio)	30
7	2,235 - 2,285	MIR (Infrarrojo Medio)	30
8	2,295 - 2,365	MIR (Infrarrojo Medio)	30
9	2,360 - 2,430	MIR (Infrarrojo Medio)	30
10	8,125 - 8,475	TIR (Infrarrojo Térmico)	90
11	8,475 - 8,835	TIR (Infrarrojo Térmico)	90
12	8,925 - 9,275	TIR (Infrarrojo Térmico)	90
13	1,025 - 1,095	TIR (Infrarrojo Térmico)	90
14	1,095 - 1,165	TIR (Infrarrojo Térmico)	90

Elaborado por: Autores, 2013.

En la tabla 4 se muestran las diferentes funciones del satélite TERRA.

Tabla 4. Funciones del Satélite Terra

Mediciones	Modis	Aster	Misr	Mopitt	Ceres
Propiedades las nubes	X	X	X		
Flujo de Energía y Radiación	X		X		X
Química de la Troposfera				X	
Propiedades de los aerosoles	X		X		
Humedad de la atmósfera	X				
Cobertura y uso del suelo	X	X	X		
Vegetación	X	X	X		
Temperatura de la Superficie	X	X			
Ocurrencia de Incendios	X	X			
Efectos Volcánicos	X	X	X		
Humedad de la superficie		X			
Temperatura de la Superficie	X				
Fitoplancton y material orgánico	X		X		
Cambio de la cobertura de hielo		X			
Hielo en el mar	X	X			
Cobertura de nieve	X	X			

Elaborado por: Autores, 2013.

2.10 Requisitos para el Análisis Multitemporal

2.10.1 Corrección Geométrica.

Para la comparación multitemporal es preciso que las imágenes se ajusten con gran nivel de detalle, ya que de otro modo estaríamos detectando como transformaciones lo que sería fruto de una falta de ajuste entre imágenes (Chuvienco, 2002).

El ajuste geométrico se basa en localizar una serie de puntos de control identificables fácilmente en la imagen y el mapa; sin embargo para el análisis multitemporal la selección de puntos de control puede ser tomada entre imágenes es decir puntos comunes en dos o más imágenes.

2.10.2 Corrección Radiométrica

Otro aspecto importante a considerar en la detección de cambios es los errores producidos en el momento de la observación de la superficie, calibración del sensor y las condiciones atmosféricas en el momento de la toma ya que cambian la firma espectral de los píxeles en la imagen.

La corrección radiométrica de una imagen comprende la rectificación tanto en la visualización de las imágenes así como calibrar los datos radiométricos. En la rectificación de la visualización se puede eliminar el ruido o también el efecto conocido como striping (respuesta de los sensores en un lapso de pasar de una zona de baja radianza a una zona de alta radianza; en otras palabras es la visualización de píxeles claros en un conjunto de píxeles oscuros). La calibración de los números digitales convierte estos a medidas de reflectividad y parámetros físicos, incorpora parámetros de corrección atmosférica y de iluminación propios de cada fecha.

En definitiva los métodos de corrección selecciona un grupo de píxeles constante entre fechas variando entre áreas de alta y baja reflectancia y a partir de estos obtiene un coeficiente de sesgo para cada banda permitiendo el análisis para distintas fechas; para la selección de los píxeles es recomendable considerar:

- a) Áreas con la misma elevación para tener un similar espesor atmosférico.
- b) La topografía debe ser preferiblemente plana para que el ángulo de iluminación de las distintas fechas sea similares.

- c) Que el área tenga poco vegetación con el fin de evitar errores fenológicos.
- d) Se sugiere utilizar ventana de 3 x 3 pixeles.

2.10.3 Corrección Atmosférica

Las moléculas y partículas de la atmósfera así como la presencia de vapor de agua, nubes y otros constituyentes afectan la radiación electromagnética captada por el sensor que se encuentra arriba de los 700 km de altura y esto se manifiesta en diversas interferencias como la absorción, dispersión, emisión y reflexión.

Para realizar una buena corrección atmosférica es importante tener datos meteorológicos locales como por ejemplo concentración de vapor de agua, CO₂, O₃ y temperatura; pero estos datos son de difícil de obtenerlos de manera local ya sea por cuestiones económicas o técnicos; por lo tanto los investigadores con el fin de conseguir la corrección atmosférica usan modelos que contienen parámetros meteorológicos típicos.

2.11 Clasificación de Imágenes

La clasificación de imágenes es un proceso mediante el cual se agrupa pixeles homogéneos de una imagen en clases o categorías de acuerdo a características similares de los números digitales.

La resolución de la imagen con la que se va a trabajar, el área de estudio y su objetivo determinará el número de categorías en la que se va agrupar los pixeles.

El procedimiento consiste en identificar las coberturas según tono, textura, forma, etc. Posteriormente se asigna la categoría a la superficie en función del patrón establecido con anterioridad.

Cuando la imagen tiene alta resolución espacial tales como IKONOS Y QUIKBIRD; la clasificación es más satisfactoria sin embargo seleccionando una técnica adecuada y validando los datos en el campo se puede obtener una buena clasificación con imágenes tales como Landsat TM y Spot a excepción de la Spot5.

Los métodos de clasificación se los agrupa en: Clasificación no supervisada y clasificación supervisada.

2.11.1 Clasificación No Supervisada.

Los métodos de clasificación no supervisada son importantes en la agrupación de los píxeles; se lo utiliza cuando no se conoce las características del terreno o cuando las características espectrales de la superficie terrestres no están definidas de manera clara en la imagen.

En este método se le da ciertos lineamientos al software para que agrupe automáticamente los píxeles en distintas clases bajo algún criterio estadístico.

Los métodos de la clasificación no supervisada usados son ISODATA y K-Means.

2.11.1.1 Isodatas

Este método agrupa los píxeles para la separación en diferentes clases, el programa identifica patrones típicos del área y las separa en clases de acuerdo a técnicas estadísticas como la media y desviación estándar.

En un mapa temático de vegetación se usa técnicas de interpolación para definir las clases y el valor del píxel es calculado por varios métodos: vecino más cercano, media, modo o mediana. Cuando se usa el vecino más cercano se designa pesos y el peso con más puntaje es asignado a los puntos con distancia más corta.

La ecuación usada para el método de la distancia mínima es la siguiente:

$$Z_i = \frac{\sum_{j=1}^n (W_{ij} * Z_j)}{\sum_{j=1}^n (W_{ij})}$$

En donde:

Z_i = Valor de la distancia más corta del píxel i

W_{ij} = Pesos de la distancia del píxel i a l píxel j

W_{ij} = $1/D_{ij}$ o W_{ij} = $1/(D_{ij} * D_{ij})$

D_{ij} = La distancia entre el píxel i y el píxel j

$$D_{ij} = ((X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2)^{1/2}$$

Los pesos W_{ij} pueden ser calculadas por función gaussiana:

$$W_g(X, Y, T) = \left(\frac{1}{2\pi T} \right) * \left(\exp \left(\frac{-D_{ij}^2}{2T^2} \right) \right)$$

O también con funcione Kernel

$$Wk(X, Y, T) = \left(\frac{3}{2\pi T}\right) * \left(1 - \left(\frac{Dij^2}{2T^2}\right)\right)^2$$

En donde:

Wg= Peso Wij en función gaussiana

Wk= Peso Wij en función Kernel

T= Radio de la muestras dentro de la distancia máxima de los puntos vecinos.

2.11.1.2 K-Means

El método de K- Means usa un proceso iterativo para agrupar a través de la mínima distancia en un área con las mismas características espectrales a través de la siguiente ecuación.

$$Z_i = \left[\sum_{j=1}^n k\left(\frac{D_{ij}}{T}\right) * Z_j \right] / \left[\sum_{j=1}^n k\left(\frac{D_{ij}}{T}\right) \right]$$

En donde.

Z_i= Estimador Kernel del pixel 1

K= Función kernel

D_{ij}= Distancia entre el pixel i y el pixel j

$$D_{ij} \leq T$$

T= El radio de las muestras dentro de la distancia máxima de los puntos vecinos.

2.11.2 Clasificación Supervisada

También conocida como a priori, la clasificación supervisada utiliza algoritmos que se basan en la toma de muestra en el área de estudio por parte del clasificador, uso de cartas o fotografía aérea; a los sitios elegidos que representan ejemplos homogéneos se los conoce como áreas de entrenamiento, para cada una de estas áreas se obtienen parámetros estadísticos que servirán para comparar cada pixel de la imagen y asignarlo a su respectiva clase.

Existen varios métodos de clasificación supervisada entre los más importantes están los siguientes.

2.11.2.1 Máxima Verosimilitud

Este método se basa en encontrar la máxima probabilidad a partir de archivos que contienen prototipos de firmas espectrales de los distintos cuerpos que existen en la superficie terrestre.

En varias ocasiones es difícil diferenciar a que área pertenece cierta porción del terreno, para evitar este problema primero se realiza una caracterización cuantificable de las diferentes clases, es decir se obtiene los atributos espectrales; posteriormente se realiza un muestro de las diferentes áreas identificables en la imagen y se las compara espectralmente con cada clase. Es importante efectuar la comparación in- situ de los resultados para eliminar posibles errores.

Para formular estadísticamente este método se asume una densidad de probabilidad condicional que definirán las características de las clases mediante la siguiente fórmula (Alves, 2005):

$$P\left(w_j/x\right) = \frac{P(x/w_j)P(w_j)}{P(x)}$$

En donde

x = es el conjunto de valores en las distintas características

w_j = es la j -ésima clase

$P(x/w_j)$ = Función de la probabilidad de los valores de las características condicionales en referencia a w_j .

$P(x)$ = Función de la probabilidad de los valores de las características incondicional referidas a w_j .

$P(w_j/x)$ = Probabilidad de la clase w_j condicional a los valores de las características.

$P(w_j)$ = Probabilidad de la clase w_j incondicional a los valores de las características.

Para la toma de decisión de la clase a la que pertenece un objeto se mira el mayor valor de $P(x/w_j)$ con respecto a w_j .

La fase de entrenamiento se basa en escoger un conjunto de pixeles de igual respuesta espectral; que representa cada uno de los tipos de uso de suelo en la imagen a clasificar; este conjunto de pixeles serán las clases que tendrá la imagen, es posible que un tipo de cobertura tenga subclases según la respuesta espectral similar de sus pixeles. A partir de este muestreo se define el diagrama de dispersión de las clases en cuanto a su

media y su distribución de probabilidad considerando una curva de distribución normal.

Los problemas que se pueden presentar en esta fase de entrenamiento es que se debe tratar de obtener pixeles puros es decir que no exista una mezcla con pixeles que representen otro objeto y puedan ocasionar confusión en la clasificación al encontrarse dentro del área escogida. Otro de los problemas que se pueden presentar es que dos tipos de cobertura diferentes tengan una respuesta espectral similar.

Al presentarse este problema las curvas gaussianas de la clasificación se van a cruzar y el clasificador tendrá que determinar con mucho cuidado a que clase pertenece cierto objeto y esto se lo puede lograr con la comprobación en el campo, o eliminando cierta clase que este ocasionando confusión para tomar una nueva muestra más pura.

2.11.2.2 Método del Paralelepípedo

El método del paralelepípedo se basa en asignar al pixel a una determinada clase cuando este pertenece al intervalo de variación de grises (valor mínimo hasta el máximo) para cada una de las bandas espectrales utilizada en la clasificación previa selección del analista del área de entrenamiento; es decir el analista mira cada pixel a ser clasificado y si este se encuentra dentro de algún intervalo este pixel será clasificado como dicho objeto caso contrario este no es clasificado. Se diferencia del método de máxima verosimilitud ya que en este método el analista establece la información espectral para cada tipo de cobertura encontrada en la imagen y a esta se le llama paquete de entrenamiento; caso contrario el método del

paralelepípedo solo puede establecer la información espectral de una cobertura a la vez en la imagen.

2.12 Análisis Multitemporal

Para la detección de cambios en la cobertura vegetal es muy usual el empleo de imágenes satelitales; su principio se basa en detectar la correlación existente entre la variación espectral de la imagen con el cambio de la cobertura vegetal en el terreno, este cambio puede estar ligado a fenómenos naturales, al ciclo estacional de la cobertura o a la intervención del ser humano.

Es importante distinguir la escala temporal en la que se manifiesta el cambio es decir a su duración temporal como por ejemplo si el cambio es debido a terremotos o erupciones volcánicas el cambio va a ser de un tiempo corto; pero si se debe a al crecimiento de urbano o a la desertificación puede durar varios años; sin embargo el tiempo no está ligado a la continuidad (Un fenómeno que tiene una duración corta puede tener una continuidad larga o viceversa) (Chuvienco, 2002).

Tabla 5. Tiempo recomendable en la detección de cambios.

Fenómeno	Tiempo Recomendable
Dinámica Atmosférica	15-30 minutos
Seguimiento de desastres	2-24 horas
Evaluación de desastres	1-7 días
Predicción de cosechas	2-3 meses
Análisis de la deforestación	1-3 años
Actualización del mapa de cobertura	3-5 años
Dinámica Urbana	5-7 años
Actualización de mapas topográficos	10-20 años

Fuente: (Chuvienco, 2002)

Para realizar un estudio multitemporal con imágenes satelitales es importante que el sensor suministre la información de cobertura en similares condiciones de observación por ejemplo en altura, ángulo de adquisición, etc. Además es necesario que las imágenes tengan una previa corrección radiométrica y geométrica para eliminar cualquier error o distorsión en la captura de la imagen debido a estos factores; es decir hay que realizar un pre procesamiento a las imágenes satelitales de los diferentes años que van a ser utilizadas.

2.13 Geodatabase

Es una base de datos espaciales que permite el almacenamiento físico de información geográfica; los datos generalmente son de tipo vector (línea, punto o polígono) sin embargo algunas geodatabases soportan también el almacenamiento de información de tipo raster, esta información está vinculada a un sistema de referencia espacial.

Una geodatabase incorpora en su sistema reglas de comportamiento e integridad de la información aspectos fundamentales en un sistema de información geográfica; además trabaja en un Sistema Gestor de Base de Datos Relacional el cual garantiza la seguridad de la información, soporte para SQL (Structures Query Language) en donde se puede realizar consultas de los datos espaciales y el usuario tiene la opción de realizar múltiples consultas y edición de dichos datos.

Se pueden distinguir dos tipos de geodatabase:

- Geodatabase Corporativa: La geoinformación es almacenada en gestores de base de datos comerciales como por ejemplo Oracle, IBM

DB2, Informix, SQL Server, en donde se puede realizar la edición multiusuario

- Geodatabase Personal: La geoinformación es almacenada en base de datos como Microsoft Access y su diferencia de la geodatabase corporativa es que no existe la posibilidad de realizar la edición multiusuario sin embargo todas las demás funciones son las mismas.

2.13.1 Formas de los Elementos de una Geodatabase

Los elementos en la geodatabase poseen un campo especial que almacenan su tipo de geometría y estos pueden ser:

- Puntos y Multipuntos: Representan una localización geográfica específica como por ejemplo la localización de un edificio en la ciudad al que se le puede agregar un interfaz que proporciona información de el listado de los propietarios en el área del edificio, su valor económico, entre otros.
- Bifurcación de red: Son puntos que tienen funciones topológicas, se asemejan a los nodos en una cobertura y pueden ser usados por ejemplo para mostrar el punto de conexión entre dos tuberías.
- Bifurcación compleja de red: Estos son usados para cumplir funciones topológicas dentro de un sistema complejo como por ejemplo en una red eléctrica en donde puede existir más de dos intersecciones (a-b, b-c).
- Línea: Representan objetos lineales como carreteras, ríos, curvas de nivel, entre otros.

- Borde de red: Es elemento línea que cumple una función topológica que pueden ser usados en el análisis de fluidos.
- Polígonos: Son formas cerradas los cuales pueden ser regulares o irregulares y estos generalmente son usados para representar lagos, lagunas, etc.

Cabe destacar que la representación de estos elementos dependerá de la escala a la cual está trabajando el usuario.

2.13.2 Topología

Una de las ventajas de la geodatabase es que a través de esta se puede controlar las relaciones entre los elementos geométricos a lo que se le llama topología. La topología es una base de geodatos que permite representar la forma geométrica entre elementos de la misma o de diferentes capas de información a través de un conjunto de reglas y relaciones entre elementos es decir asegura que las entidades asociadas geoméricamente formen una estructura topológica bien definida como por ejemplo los elementos representados por polígonos deben cerrar, las fronteras entre dos países no se deben superponer ni existir huecos, que las calles no pasen por los edificios, etc. Se pueden diferenciar dos tipos de topología:

- Topología de mapa o topología implícita: Es una topología sencilla que permite controlar durante la edición las relaciones existentes entre los elementos de líneas, puntos y polígonos de una misma capa o de diferentes.
- Topología de reglas: En este tipo de topología el usuario define las reglas topológicas a aplicarse según el caso, puede manejar los

errores topológicos luego de una validación de los mismos marcándolos como excepción o corregirlo.

Las reglas topológicas son diseñadas con el fin de examinar las relaciones espaciales existentes entre elementos de una misma o de diferentes capas, y estas serán planificadas de acuerdo al trabajo que se esté realizando; pudiendo ser guardadas y utilizadas en trabajos posteriores que requieran las mismas reglas.

2.13.3 Validación

La validación de datos geográficos y alfanuméricos puede ser de dos tipos: la validación topológica que es la relación que existe entre los objetos geográficos y la validación temática que se refiere a la validación en los atributos.

2.13.3.1 Validación Topológica.

Es el proceso que verifica que todos los elementos presentes en el mapa cumplan con las reglas topológicas establecidas por el usuario creando un registro de todos los errores detectados, a la vez que genera vértices en la intersección de los ejes (cracking) o realiza la unión de los vértices que este dentro de la tolerancia cluster establecida. (clustering), actualiza la geometría en caso que existe un aumento o disminución de los nodos o que exista áreas si validar. Existen tres formas en las que se presenta la topología.

- Topología no validada. Es cuando existen áreas susceptibles a no ser validadas que puede darse por motivos de edición y actualización de la información.

- Topología validada con errores: Luego del proceso de validación se registra los errores que deben ser corregidos o marcados como excepción.
- Topología validada sin errores: Luego del proceso de validación se arroja un resultado de que no existe errores en la relación de sus elementos geométricos.

2.13.3.2 Validación de Atributos

Este tipo de validación de los atributos presentes en la Geodatabase se lo realiza mediante Subtipos y Dominios.

- Subtipo: Es la subdivisión de un feature class en distintos tipos con alguna característica diferente que permite trabajarlos en forma separada si la necesidad de crear nuevas clases, mejorando la integridad de los datos ya que posibilita hacer diferenciaciones entre elementos de una misma clase y definir distintos dominios para cada campo, distintos valores por defecto y para definir relaciones más específicas para cada objeto
- Dominio: Es el rango de valores numéricos o alfanuméricos existentes en un feature class que asegura una mejor conectividad de los elementos geográficos y evita el ingreso erróneo de los datos en la base. Los dominios de atributos pueden ser de dos clases:
 - a) Dominio de rango: Define un rango válido para los atributos numéricos como por ejemplo el precio de un lote puede estar entre los 1000 y 3500 dólares.
 - b) Dominio de código: Funciona para cualquier tipo de atributo como texto, fechas, numérico, etc. Y especifica un valor válido para los

atributos como por ejemplo en cierto estudio la edad geológica puede estar entre la eras jurásico o cretácico.

La validación basada en dominios y rangos puede ser usada de manera separa o conjunta.

2.14 Actores Sociales

Un actor es un individuo que forma parte de un grupo, organización, entidad, institución del sector público, social, privado, organización no gubernamental o agencia internacional que tiene relación directa o indirecta y habitan en determinados sitios, poseen habilidades y capacidades, que por intermedio de sus acciones pueden tomar y defender sus decisiones ejerciendo poder, ostentando la capacidad de transformar territorio.

2.14.1 Características de los Actores Sociales

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en su Guía de Identificación de los Actores Sociales, identifica algunas características particulares que se identifican en los actores sociales, importantes de destacar porque independientemente de su ubicación geográfica, estas características son denominadores comunes en cualquier tipo de procesos de identificación de actores:

- Forman parte de la sociedad asentada en el área de implantación del proyecto y representan interés legítimos del grupo
- Tienen funciones y atribuciones en relación directa con los objetivos del proyecto
- Disponen de capacidades, habilidades, conocimiento, infraestructura y recursos para proponer y atender y solventar problemas científicos – técnicos

- Cuentan con mecanismos de financiamiento o donación de recursos
- Tienen capacidad de gestión y negociación con los diversos agentes y/o niveles gubernamentales que permiten consensos y acuerdos.

La transformación del territorio y competitividad que puedan alcanzar, dependerá de una adecuada identificación de las características, capacidades que poseen los actores, el poder o el grado de influencia que poseen para aportar al desarrollo y promover proyectos que incidan en la formación de territorios más competitivos. Conseguir que los territorios sean competitivos, es un proceso endógeno que no espera que las soluciones vengan desde afuera, sino que estas sean promovidas desde “abajo”, de iniciativas de la población, productores, actores sociales.

2.14.2 Identificación de Actores Clave

La identificación de los actores claves parte de la razón central del objetivo del proyecto en estudio, en esta identificación de los actores se encontrarán los actores que representan y conciertan poderes de decisión, cualidad que en muchos de los casos ejerce influencias y generan impactos positivas o negativas, dentro del grupo de actores.

Los actores locales se encuentran en varios contextos como son globales, nacionales, regionales, estatales, municipales o locales, pero no solo se considera el nivel gubernamental, sino también los niveles productivos y sociales, que permitirán construir proceso de participación confiables y legítimos que garanticen la formulación de planes, programas, proyectos adecuados para el desarrollo local y que estén enmarcados en las políticas nacionales. Tal como se indicó anteriormente en el siguiente

esquema se muestra un ejemplo en la Figura de la identificación y asociación de actores claves:

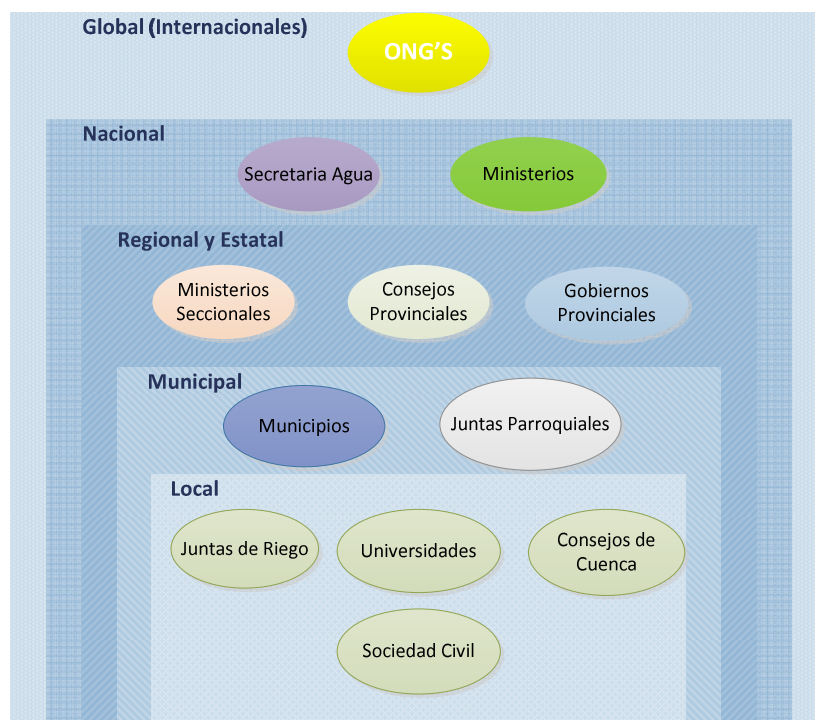


Figura 11. Identificación y Actores Sociales Claves.
Fuente: (Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2006).

Una adecuada identificación de actores sociales, involucra llevarse a cabo procesos alternados de levantamiento de información a través de visitas de campo y procesamiento en gabinete, la idea fundamental de estos procesos alternados es registrar, integrar, confirmar que la información que se ha registrado es totalmente objetiva para el estudio

En la Figura 12 de acuerdo a la (Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2006) se ejemplifican los pasos claves identificados para una adecuada identificación de actores sociales:

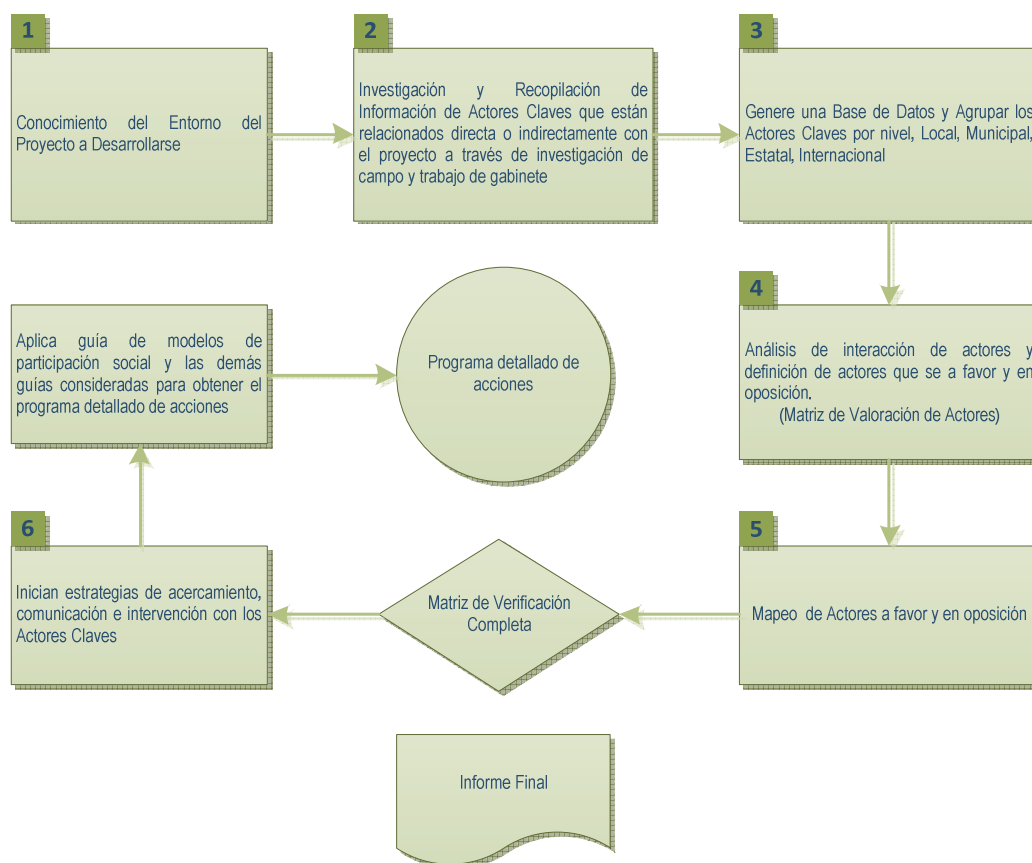


Figura 12. Esquema de Identificación y Actores Sociales Claves.
Fuente: (Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2006)

2.15. Biodiversidad

La Biodiversidad es la variación de las distintas formas en la que se presenta la vida ya sea esta en forma de genes, especies y ecosistemas.

Muchos de los productos que usamos en la actualidad tienen su origen en diversas especies de plantas y animales es así que se la usa en la industria, agricultura y medicina siendo su total potencial aun incierto para el campo económico y científico; Sin embargo este recurso debe ser usado de manera racional sin extinguir a las distintas especies existentes en el planeta.

En el Ecuador como en otros países en vías de desarrollo el recurso de la Biodiversidad está siendo usado de una manera no sustentable y esto se lo

aprecia en el crecimiento de las fronteras agrícolas por tala indiscriminada, quema de la vegetación natural, sobrepastoreo, cambio drástico en el uso del suelo, tráfico de especie y explotación minera y petrolera.

La biodiversidad tiene una gran importancia para la naturaleza y el ser humana ya que esta proporciona alimento, fibra, medicina y ornamentos; además presta sus servicios ambientales como por ejemplo la purificación del aire y agua, regulación del ciclo hidrológico, la regulación de la temperatura local del aire, equilibrio entre los distintos gases de la atmósfera, la formación y protección del suelo fértil, entre otras (Valverde, Meave, Carabías, & Cano, 2005)

Con el apoyo a las poblaciones que viven al redor de las áreas con gran biodiversidad se puede garantizar la protección y conservación de este recurso natural.

2.15.1 Diversidad Genética

Se refiere a las distintas formas de presentarse el material genético dentro de las mismas especies como en diferentes especies; el material genético determinará el color, tamaño, presencia de pelaje, plumas o escamas, forma de la corteza, etc. Además establece la capacidad de una especie a sobrevivir a ciertas condiciones ambientales.

2.15.2 Diversidad de las Especies

Es el conjunto de diferentes especies que habitan dentro de una comunidad; la distribución de la biodiversidad no es uniforme en todo el planeta ya que ciertas regiones poseen mayor diversidad que otras tanto en especies endémicas como en introducidas; dependiendo esto de la

capacidad del organismo a adaptarse a distintos medios. Los países con mayor diversidad son conocidos como megadiversos; para que un país sea megadiverso tiene que cumplir con algunas condiciones entre estas que tengan al menos 5000 especies endémicas de plantas superiores en su territorio. El Ecuador está dentro de los 17 países megadiversos del planeta con aproximadamente 369 especies de mamíferos, 1616 especies de aves, 394 especies de reptiles, 421 de anfibios y de 17 a 21 mil especies de plantas vasculares. (Valverde, Meave, Carabías, & Cano, 2005)

2.15.3 Diversidad Ecológica

Son los distintos ecosistemas presentes en una región como por ejemplo selva húmeda, ríos, manglares, lagunas, páramos, etc.

CAPITULO III

CARACTERIZACION DEL RECURSO

3.1. Antecedentes Generales del Área de Estudio

3.1.1. Ubicación Geográfica.

El área de estudio se encuentra ubicada en la República del Ecuador (Figura 13), en la provincia de Chimborazo (Figura 14), Cantón Alausí que tiene una superficie de 1514.89 Km² aproximadamente, dentro del cual se encuentra la parroquia Achupallas con alrededor de 852.41 Km², donde está localizada la microcuenca del río Pomacocho con una superficie aproximada de 75 Km², lo que corresponde al 8.79% aproximadamente con relación a la superficie total de la Parroquia y con un 4.95% de superficie con relación al Cantón (Ver Figura 15)

Geográficamente la microcuenca del Río Pomacocho se encuentra localizada en las siguientes coordenadas.

Tabla 6. Coordenadas UTM de Ubicación, Sistema WGS 84.

Extremo	E (m)	N (m)
Superior Izquierdo	758000	9748000
Superior Derecho	770000	9748000
Inferior Izquierdo	758000	9734000
Inferior Derecho	770000	9734000

Fuente: (Anexo A.1) Mapa Base de la Microcuenca del río Pomacocho.

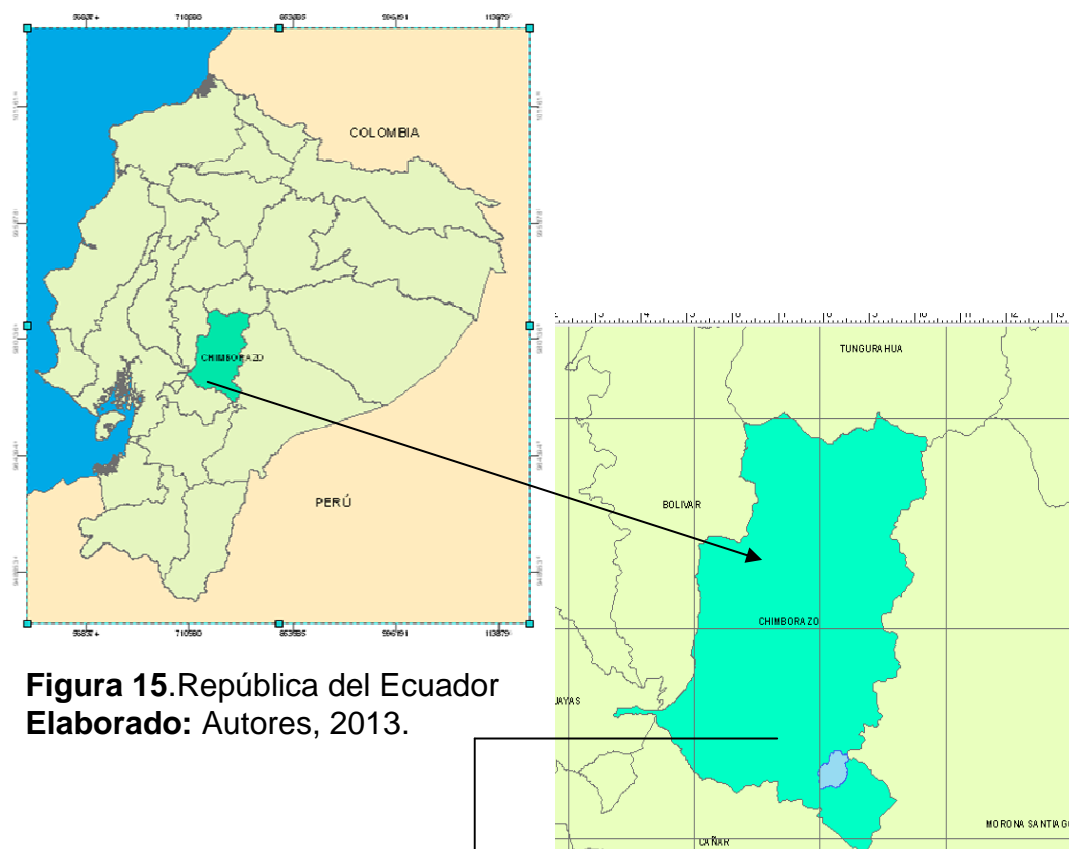


Figura 15. República del Ecuador
Elaborado: Autores, 2013.

Figura 15. Provincia del Chimborazo
Elaborado: Autores, 2013.

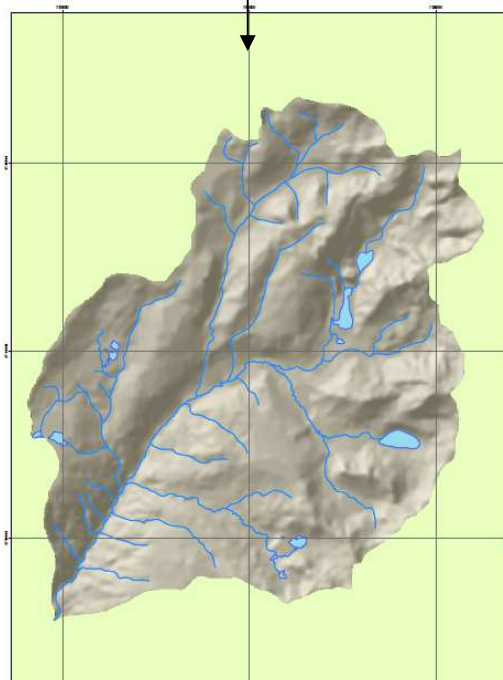


Figura 15. Microcuenca del Río Pomacocha
Elaborado: Autores, 2013.

3.1.2 Descripción general del Área de Estudio.

El área de estudio se encuentra dentro de la clasificación de “Páramo y Pajonal Andino” (VARGAS, 2002), con una altitud promedio de 3000 msnm y una temperatura media de 14°C pudiendo descender a los 3°C.

Su principal zona ecológica es el páramo el cual representa un ecosistema estratégico debido a su gran potencial de almacenamiento y regulación hídrica; sin embargo la adaptación de cultivos agrícolas y pecuarios han ocasionado una pérdida de este entorno natural el cual merece ser manejado de una forma adecuada. Además el páramo funciona como corredor biológico para muchas especies, específicamente aves y mamíferos, que acuden para alimentarse o lo utilizan como área de transición hacia otras zonas de vida.

El área de estudio posee una gran diversidad de flora como por ejemplo musgo, pajonales, gramíneas, especies arbóreas y arbustivas; en cuanto a su fauna se puede encontrar especies como lagartijas, salamandras, conejos, venados, cóndor, águila, patos, etc.

3.2. Parámetros morfométricos de la microcuenca en estudio

3.2.1 Superficie o Área (S)

La superficie de una cuenca es el parámetro más importante, es la superficie de su proyección horizontal.

3.2.2 Perímetro (P)

Es la longitud de la divisoria de la cuenca. Su longitud está en función de la superficie y forma de la cuenca.

3.2.3 Forma (F)

La forma de la cuenca es la configuración geométrica tal como está proyectada sobre el plano horizontal. La forma de la cuenca se representa con varios índices; los más comunes son:

- Coeficiente de Compacidad o de Gravelius.
- Factor de forma.

3.2.4 Coeficiente de Compacidad (Kc)

Mientras las cuencas se aproximen más a la forma circular, el escurrimiento en ellas será más uniforme y el caudal pico se orientaría a un valor mayor.

$$Kc = \frac{0.28 * P}{\sqrt{A}}$$

En donde

Kc= coeficiente de compacidad, adimensional

P= perímetro de la cuenca, en Km.

A= área de la cuenca, en Km²

Cuando el valor de Kc es 1, se puede considerar que la forma de la cuenca es circular.

3.2.5 Factor de forma (Rf)

Este factor da información sobre la tendencia de que ocurran avenidas en el cauce; así, entre dos cuencas con áreas iguales, la de menor factor de

forma tendrá menos tendencia a concentrar el escurrimiento superficial resultante de una lluvia que la otra.

El factor de forma R_f establece la relación entre el ancho medio de la cuenca y su longitud, mediante la expresión:

$$R_f = \frac{A}{L^2}$$

En donde:

R_f = factor forma, adimensional

A = área de la cuenca, en Km^2

L = longitud de la cuenca, en Km.

La longitud de la cuenca corresponde a la medición del eje del valle del río principal, desde el punto más remoto de la cuenca hasta su salida, si considerar los meandros del curso del agua.

3.2.6. Pendiente (I_m)

En ciertos problemas hidrológicos, el aspecto significativo es la inclinación media que podría atribuirse a la superficie de la cuenca, a aquella parte de la cuenca antes de que el agua llegue a los cauces. Esa inclinación media es cuantificada como la pendiente media de la cuenca.

Consiste en relacionar la diferencia de nivel existente entre los dos extremos de la cuenca con el perímetro de la misma.

$$I_m = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{500 * P}$$

En donde:

I_m = pendiente media de la cuenca, en %

H_{max} = altura máxima de la cuenca, en m.s.n.m.

H_{min} = altura mínima de la cuenca, en m.s.n.m.

P = perímetro de la cuenca, en Km.

3.2.7 Densidad de drenaje (D_d)

Es la relación que existe entre la longitud total de los cursos de agua existentes dentro de la cuenca y el área de la misma, considerando solo las corrientes intermitentes y perennes.

$$D_d = \frac{L_r}{A}$$

En donde:

D_d = densidad de drenaje, en Km/Km²

L_r = longitud total de los cursos de agua, en Km.

A = área de la cuenca, en Km²

Las cuencas con densidades de drenaje superiores a 3 se definen como cuencas bien drenadas o de respuesta hidrológica rápida.

3.2.8. Orden de corrientes

El orden de la corriente permite conocer el grado de bifurcación dentro de la cuenca. Para determinar el orden de la corriente se considera como de orden uno aquella corriente que no tiene ningún tributario, de orden dos

aquella que tiene solamente un tributario de orden uno, de orden tres aquella corriente con dos o más tributarios de orden dos, así sucesivamente, tal como se indica en la Figura 16.

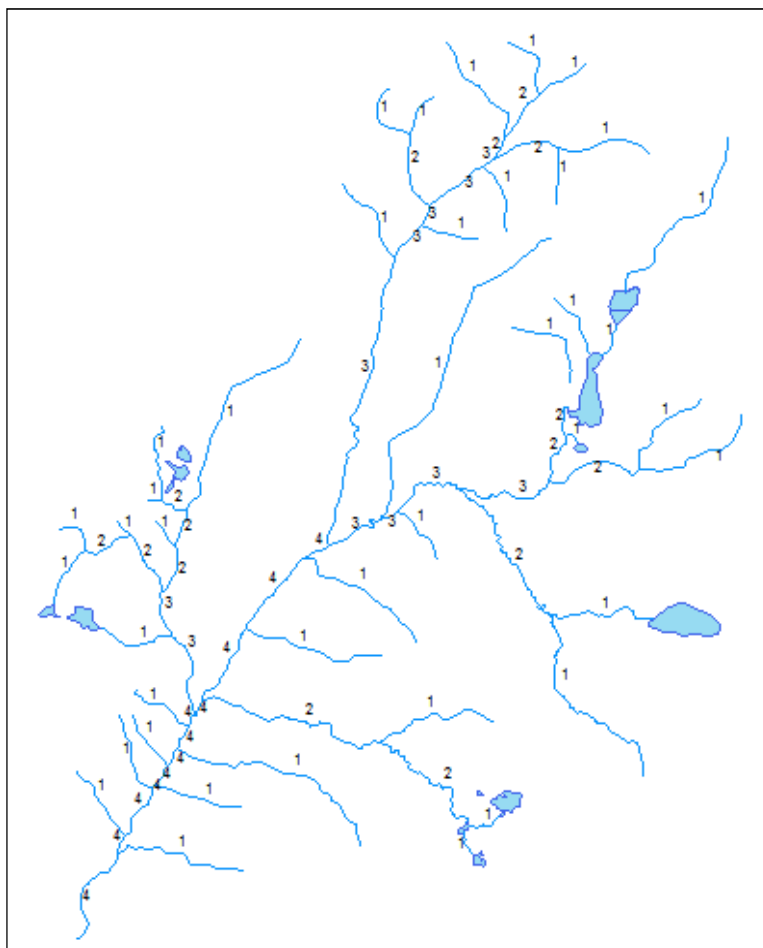


Figura 16. Orden de Corrientes del Río Pomacocho

Elaborado por: Autores, 2013.

3.2.9 Tiempo de concentración

Es el tiempo que tarda en llegar una gota de agua desde el punto más alejado al punto de salida; a partir de este momento el caudal de esorrentía es constante. Existen varias fórmulas para calcular el tiempo de concentración, para este estudio se calculara con la fórmula propuesta por Kirpich, por la disponibilidad de los datos necesarios.

$$T = 0,02L^{0,77}S^{-0,385}$$

Donde:

T= tiempo de concentración en minutos (min)

L= longitud máxima de salida (m)

S= pendiente media (m/m).

Tabla 7. Parámetros Morfométricos de la Microcuenca.

Parámetros Morfométricos	
Área	75 Km ²
Perímetro	38.8 Km
Coeficiente de compacidad (Kc)	1.28
Longitud de la cuenca	13.95
Factor Forma	0.37
Pendiente media (Im)	5.78%
Densidad de Drenaje	1.1 Km/Km ²
Orden de corriente	4
Tiempo de concentración	85 min

Elaborado por: Autores, 2013.

3.3 Caracterización del Medio Físico

3.3.1 Topografía

La microcuenca del río Pomacocho tiene una extensión de 7500 ha hasta su confluencia con el río Juval. De acuerdo a la información topográfica de la microcuenca se determina que los rangos de altitud van desde los 3120 hasta 4400 m.s.n.m. En función de las características del relieve, altura, aspectos climáticos, y tomando como base la Zonificación Agroecológica de la región del Austro, y de acuerdo a las características de la subcuencas

hidrográficas en estudio se establecieron las siguientes partes en la Cuenca del Río Paute:

- Parte alta: desde los 2 800 msnm hasta los 3480 msnm y superior.
- Parte media: desde los 2 400 msnm hasta los 2 800 msnm.
- Parte baja: desde los 2100 msnm hasta los 2 400 msnm.

De acuerdo a esta caracterización, la distribución espacial por partes la microcuenca se encuentra predominantemente en la parte alta, ya que la misma presenta cotas superiores a los 3120 m.s.n.m., lo cual es revalidado a través de su ubicación con relación al sistema de Cuenca del Río Paute, en donde la microcuenca del Río Pomacocho pertenece a la Subcuenca del Río Juval que se encuentra en la parte alta de la Cuenca del Río Paute.

Debemos indicar que en el año de 1984 el Pronareg – Orstom, realizó el “Inventario y Cartografía de Suelo, Uso actual del Suelo en los Andes Ecuatorianos”, y estudios de Aptitud Agrícola de los Suelos del Ecuador, entre otros, estudios que permitieron tener una clasificación de Pendientes en función del rango de la pendiente (Porcentaje).

Para la estimación de los rangos de pendiente en la microcuenca del río Pomacocho con la ayuda de las curvas de nivel en el programa Arc Gis 9., se creó modelo digital del terreno (MDT) correspondiente a la Microcuenca, a partir de la generación de este TIN, se creó un modelo de pendientes a través de porcentajes, reclasificándolo a través de 6 clases de pendientes de acuerdo al porcentaje del rango y las características principales de estas clases.

En la tabla 8 se indica las clases de pendientes establecidas y sus características.

- Clases de pendientes.

Tabla 8. Tipos de pendientes

Clase	Rango de Pendientes (%)	Características
1	0 – 5	Pendiente débil. Apto para la mecanización y riego.
2	5 – 12	Pendiente suave regular o con micro relieve irregular. Mecanizable; con leves o ninguna limitación para riego
3	12 – 25	Pendiente regular o irregular con micro relieve. Mecanización posible con algunos tipos de máquinas; restricciones y dificultades para el riego
4	25 – 50	Pendiente fuerte. Mecanización con máquinas especiales; severas dificultades para el riego
5	50 – 70	Pendiente muy fuerte. No mecanizable
6	> 70	Pendiente abrupta. No mecanizable

Fuente: (PRONAREG-ORSTOM, 1984)

En función de la tabla anteriormente indicada y de acuerdo al Mapa de Pendientes establecido para la microcuenca del río Pomacocho (Anexo A.2) se identifican las siguientes clases y rangos de pendientes como se indica en la tabla 9.

Tabla 9. Rangos de pendientes.

Clase	Rango	Área	
		ha	%
1	0 – 5	1361,15	18,15
2	5 – 12	119,24	1,59
3	12 – 25	1320,37	17,60
4	25 – 50	2899,35	38,66
5	50 – 70	1279,08	17,05
6	> 70	520,82	6,94
Total Microcuenca		7500,00	100,0

Elaborado por: Autores, 2013

De acuerdo a la tabla 9, se tiene que del área de la microcuenca del río Pomacocho el 38,6% de superficie de la microcuenca corresponde a pendientes fuertes que están en rangos del 25 - 50%; pendientes débiles en un 18,15% de superficie entre rangos de 0-5%, así mismo se aprecia un 17% de la superficie de la microcuenca corresponde a pendientes regulares y muy fuertes los cuales están entre rangos de 12-25% y 50-70% respectivamente, en menor porcentaje con un 6.94% de superficie tenemos pendientes abruptas y pendientes suaves regulares con un 1,5% con relación a la superficie total de la microcuenca, a continuación en la figura 17 se aprecia un histograma de barras en donde se aprecian gráficamente las clases de pendientes y sus respectivos porcentajes de la microcuenca del Río Pomacocho

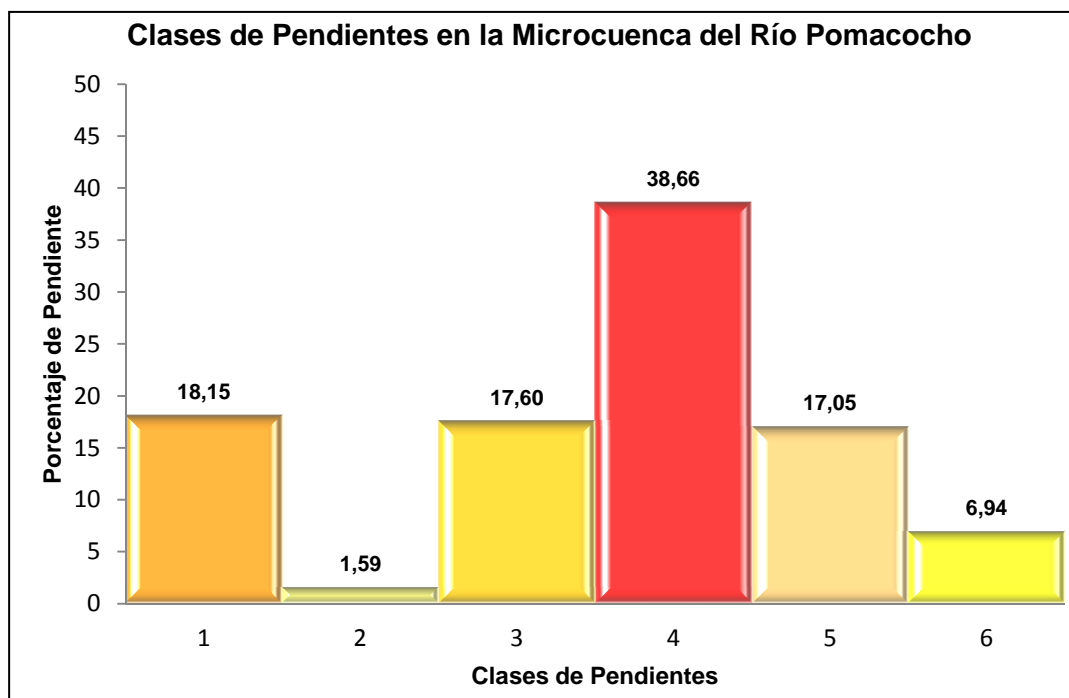


Figura 17. Clases de pendientes en la Microcuenca del Río Pomacocho.
Elaborado por: Autores, 2013.

3.3.2 Geología.

El Ecuador está situado en un lugar donde convergen dos placas de gran importancia determinantes tanto en su geología como fisiogeografía, ya que dicha convergencia da lugar al proceso subducción que generaron la presencia de una fosa tectónica ubicada costa afuera y de la existencia de las siguientes zonas definidas en nuestro territorio (Figura 18)

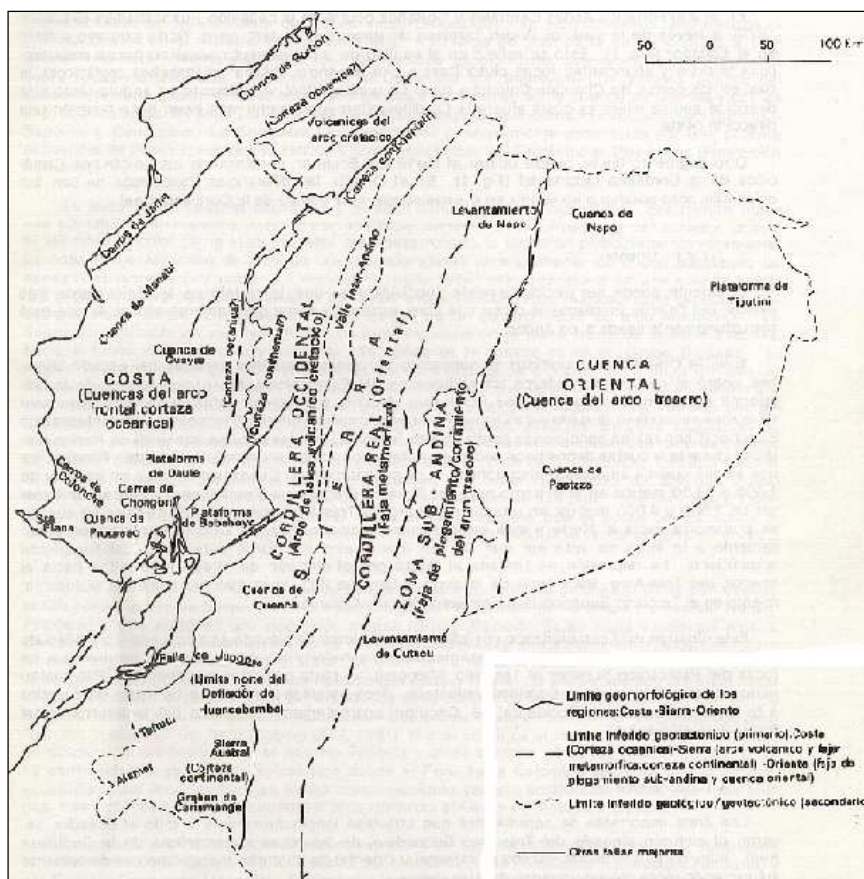


Figura 18. Rasgos Estructurales principales del Ecuador
Fuente: (Baldock, 1982)

- La costa: Lugar donde se forma la cuenca de ante arco incluye varias cordilleras pequeñas de 200 a 600 metros hacia el Pacífico, así como la extensa, baja e interna región de la cuenca del Guayas al Oeste de los Andes.
- La Cordillera de los Andes: También llamado arco volcánico, está formada por dos cordilleras paralelas, la Occidental y la Real, las mismas que originan un valle y la depresión interandinas conformada por una gran cantidad de cuencas intramontañosas. Al pie de la Cordillera Real se encuentra la Zona Subandina caracterizada por intensas deformaciones.

- El Oriente: Lugar donde se forma la cuenca del arco trasero; se levanta hacia el Oeste desde una altura promedio de solo 200 metros a 800 m.s.n.m. y más de 2.000 m en la zona subandina.

Estas dos placas son: La Placa Nazca que se forma por la cordillera submarina del Pacífico Oriental y es empujada hacia el Oriente a una velocidad superior a los 6 cm/año (Kellog & Vega, 1995), y la Placa Sudamericana que se forma en la cordillera submarina centro-oceánica del Atlántico medio y es empujada hacia el Oeste con una velocidad de aproximadamente 3 cm/año (Barazangi & Isacks, 1976).

Para realizar el mapa geológico de la microcuenca del río Pomacocho a escala 1:50.000 se procedió a la fotointerpretación de las fotografías aéreas que se detallan en la tabla 10, y a la vez se tomo como referencia las cartas geológicas a escala 1:100.000 de Alausí y de Cañar que abarcan el área de la mencionada microcuenca.

Tabla 10. Fotografías aéreas usadas para el Mapa Geológico

Rollo	Distancia Focal	Escala de la Foto	Fecha de Toma	Numero de Foto
134	153.03	60000	21-12-1988	25344
134	153.03	60000	21-12-1989	25345
134	153.03	60000	21-12-1990	25346

Elaborado por: Autores, 2013.

Las formaciones encontradas en la microcuenca del Río Pomacocho son las siguientes: (Anexo A.3)

- Formación Tarquí (Pleistoceno)

Esta constituido principalmente por material piroclástico, aglomerados de composición andesítica a riolítica, tobas de composición intermedia y ácida y cenizas que van de color rojo oscuro a azul.

Estos depósitos se formaron en un período de intensa actividad volcánica, la permeabilidad es relativamente baja y posee un material tobáceo asociado a una fase eruptiva que permiten a las rocas soportar taludes subverticales.

Las lavas que se presentan aquí son desde masivas a medianamente fracturadas y poco meteorizadas, los componentes vítreos (depósitos de piroclásticos y de las brechas volcánicas) originales están alterados estableciéndose de esta manera una matriz fuertemente arcillosa, de consistencia dura en seco y firme con la humedad. Esta formación en la microcuenca del Río Pomacocho posee un área aproximada de 52.60 Km².

- Rocas metamórficas de la Serie Paute (Laramidica)

Está constituida por cuarcitas de color blanquecino homogéneas y masivas con presencia de intercalaciones de minerales de hierro que no son mayores a 1 cm. Las cuarcitas son de textura sacoroidal están constituido principalmente de cuarzo con feldespato y esporádicas laminillas de sericita con limolita. En algunos lugares el metamórfico se presenta en afloramientos aislados a diferentes alturas posiblemente por consecuencia del levantamiento por bloques. Gran parte de la serie paute se encuentra cubierta de cangaguas. "Mapa Geológico escala 1:100.000 de Alausí".

La Serie Paute comprende dos subunidades la primera dominada esquistos El Pan y Tubón está conformado por una serie de grafiticos grises y cuarcitas de bajo grado de metamorfismo, estas rocas debido a su meteorización forman suelos arcillosos que son susceptibles a generar deslizamientos. La segunda subunidad se la denomina San Francisco y está conformado por una serie de rocas meta volcánicas intercalada con cuarcitas y cloríticos. Esta formación en la microcuenca del Río Pomacocho tiene un área de 1.52 Km².

- Formación Yunguilla (Cretáceo)

Es una formación sedimentario de origen marino, estos sedimentos son de tipo arguilitas estratificadas de color negras y duras generalmente silicificadas; se encuentran intercaladas con lutitas negras. Cuando se meteorizan tienen color café oscuro comúnmente manchado con limonita. Los sedimentos fueron depositados en el Cretácico por lo que tienen una edad maastrichtiana. La fuente de estos sedimentos fue la erosión de la Cordillera Real que se encontraba emergida. Esta formación también contiene detritos presumiblemente originados en un arco volcánico.

Estas rocas son intensamente deformadas y fracturadas por lo cual son susceptibles a la erosión fluvial. Se observan dos tipos de deformación:

- a) Deformación dúctil, la cual ocurre entre el Maastrichtiano y el Eoceno Tardío.
- b) Deformación quebradiza que se dio probablemente durante la formación de la Cuenca.

No hay un desarrollo de suelos sobre esta formación al contrario existen coluviones granulares de matriz arenosa y limoso que son susceptibles a la erosión hídrica y a flujos de detritos. En la microcuenca del río Pomacocho esta formación tiene un área de 1.83 Km².

El área total de estas formaciones e de 55.94 Km²; a la cual se debe considerar la geoforma de Depósitos Glaciares con un área de 19.06 Km², que representan geoformas constituidos por materiales que pueden haber sido erosionados por el glaciar, los mismos que han sido transportados y abandonados por el hielo.

3.3.3 Hidrogeología

El mapa Hidrogeológico del Ecuador a escala 1:100.000 fue descargado del Sistema de Información Nacional (SIN); tratado por la Coordinación General del Sistema de Información Nacional y el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca 2013 (CGSIN-MAGAP); este mapa nos permite conocer el porcentaje de permeabilidad del suelo, y a través de este dato obtener el porcentaje de impermeabilidad requerido por el modelo HEC-HMS.

El mapa se codifica por diferentes clases de permeabilidad de acuerdo al Mapa generado por el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) en el Proyecto “Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional”, el cual se indica a continuación:

- “Clase K2 - Zona permeable: Es muy importante para el mantenimiento del caudal base de los ríos y para la investigación de aguas subterráneas. Pertenecen a esta clase todos los depósitos

aluviales, coluviales y glaciares, las formaciones compuestas de conglomerados o areniscas y las unidades arenosas y limo arenosas.

- Clase K3 - Zona con permeabilidad media o débil: Los acuíferos son de extensión o importancia reducida y corresponden generalmente a formaciones de tobas, piroclásticas o formaciones mixtas compuestas en parte por arcillas.
- Clase K4 - Zona cárstica o fisurada: No existe acuífero pero sí una macropermeabilidad que corresponde a fisuras donde ocurre un escurrimiento subterráneo irregular; a esta clase pertenecen formaciones cársticas, algunas formaciones volcánicas (andesitas - riolitas), principalmente piroclásticas y lavas.
- Clase K5 - Zona impermeable: Son rocas sin acuífero como las semimetamórficas y metamórficas o intrusiones de rocas graníticas. Cuando están muy fracturadas pueden responder a la clase K4.”

Tabla 11. Permeabilidad de la Microcuenca

Permeabilidad	Código	Área (km ²)
Baja a media	K2	45.26
Generalmente alta	K1	12.27
Muy baja	K3	9.40
Media	K1	3.77
Prácticamente impermeable	K4	2.46
Generalmente baja	K3	1.85

Fuente: Mapa Hidrogeológico del Ecuador a ESC 1:100.000.

Elaborado por: Autores, 2013.

3.3.4 Suelos

En 1984 el Programa Nacional de Regionalización Agraria (PRONAREG) y el Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM), realizaron el Proyecto “Inventario y Cartografía de Suelo, Uso actual del Suelo en los Andes Ecuatorianos de Suelos a Escala 1:50000”, tomando como base el Sistema Norteamericano SOIL TAXONOMY; el cual se fundamenta en la morfología de los suelos, a través de la descripción de los horizontes; y un sistema de cuatro categorías perfectamente diferenciables las cuales van desde un nivel mas general a un nivel más específico: Orden, Suborden, Gran Grupo, Subgrupo, Familia y Serie.

Los suelos que se encuentran en la microcuenca del río Pomacocho (Anexo A.4) corresponden a zonas en las que su material parenteral es originario de cenizas volcánicas relativamente recientes y de suelos no derivados de ceniza volcánica o ceniza muy antigua, dentro de nuestra área de estudio se encuentran los tipos de suelo originarios de cenizas volcánicas relativamente recientes.

- Suelos derivados de ceniza volcánica relativamente reciente.

Dentro de esta agrupación se encuentran el siguiente orden de los Inceptisoles

- Inceptisoles.- Son suelos jóvenes de horizonte cámbico pero sin otros horizontes de diagnóstico; estos suelos se localizan en donde hay materiales recientes, en zonas volcánicas y en áreas de aluviales.

Estos suelos acontecen en cualquier tipo de clima; y se formaron de diferentes materiales parentales (materiales resistentes o cenizas volcánicas), en donde existen relieves extremos, fuertes pendientes o superficies geomorfológicamente nuevas, abarcando suelos que son desde muy pobremente drenados a suelos bien drenados. (ARIAS, 2007)

A continuación presentamos las suborden: Andepts y Aquepts que pertenecen a la orden de los Inceptisoles y que se encuentran en la microcuenca del Río Pomacocho:

- Andepts.- Es un Inceptisol, donde el desarrollo del suelo es de derivados de materiales parentales volcánicos, estos presentan una baja densidad aparente ($< 0,85 \text{ gr/cm}^3$ y $1/3$ bar es decir una baja retención de agua), y un complejo cambio dominado por material amorfo, los cuales son menos drenados (Soil Survey Staff, 1975). Dentro de este suborden en la microcuenca del Río Pomacocho encontramos los grandes grupos: Cryandeps, Hydrandeps.
- Cryandeps.- Se localizan en las partes altas de las montañas bajo condiciones climáticas húmedas y nubosas. Presentan texturas medias: franco a franco limosas. Tienen alto contenido de materia orgánica y potasio, pero son pobres en nitrógeno y fósforo. La temperatura del suelo es inferior a 10°C . Se localizan en suelos fríos congelados del páramo. Dentro de este Gran Grupo en la microcuenca se encuentra el Subgrupo de suelos Hydric Cryandeps.

- Hydrandepts.- Son suelos derivados de ceniza volcánica en parte, de color negro, de textura fina pseudo limoso muy untuoso y esponjoso, suelo húmedos todo el año, de régimen perúdicico de alta retención de agua, entre 0 a 30 cm se encuentra porcentaje de materia orgánica entre el 10 a 20% y en más de un metro de profundidad a mas de 20%. Dentro de este Gran Grupo en la microcuenca se encuentra el Subgrupo de suelos Typic Hydrandepts.
- Aquepts.- El desarrollo del suelo es retardado por exceso de agua en el perfil. El drenaje natural es pobre y el suelo se satura con agua por un tiempo en la mayoría de los años. Algunos de los suelos tienen un horizonte superficial parduzco que es menos de 50 centímetros de grueso. Las características comunes de la mayoría de estos suelos son los colores grisáceos y rojizos de características redoximorficos, en una profundidad de 50 centímetros o menos. Muchos formado bajo vegetación forestal, pero pueden tener casi cualquier tipo de vegetación. Dentro de este suborden en la microcuenca del Río Pomacocho encontramos los grandes grupos Cryaquepts
- Cryaquepts.- Son los Aquepts fríos. Se los encuentra en áreas con depresiones aproximadamente planos. La mayoría tiene subsuelos grisáceos, y algunos son estratificados. Cryaquepts tienen poco potencial para cultivos por sus condiciones fríos y mojados. (USDA, 1985). Dentro de este Gran Grupo en la microcuenca se encuentra el Subgrupo de suelos Fibric Cryaquepts.

En la tabla 12 se indica en resumen los suelos que se encuentran en la Microcuenca del Río Pomacocho:

Tabla 12. Tipos de Suelos en la Microcuenca

Orden	Suborden	Gran grupo	Subgrupo	Serie	Superficie (km ²)
Inceptisoles	Andepts	Cryandepts	Hydric	Da	4.71
			Cryandepts	Dh	33.78
				Da-Dh	6.05
	Aquepts	Cryaquepts	Fibric	Aa	1.98
			Cryaquepts		
	Andepts	Hydrandepts	Typic	Dv	1.03
		Hydrandepts			
	Afloramiento Rocosos	-	-		1.97
	Sin Información	-	-		25.50
Total de Superficie					75.00

Elaborado por: Autores, 2013.

- Suelo Da.- De acuerdo a la clasificación del Soil Taxonomy (USDA), la serie de Suelo Da corresponde al Subgrupo Hydric Cryandepts, el cual es un suelo pseudo limoso muy negro con más de 80% de agua, de régimen de humedad del suelo Perudic y de Temperatura Isofrigid, se encuentra localizado en alturas mayores a los 3500 m.s.n.m en pendientes onduladas suaves del páramo o fuertes pendientes. Ocupan una superficie de 4.71 Km² que equivale al 6,3% de la superficie de la microcuenca.
- Suelo Dh.- De acuerdo a la clasificación del Soil Taxonomy (USDA), la serie de Suelo Dh corresponde al Subgrupo Hydric Cryandepts, el cual es un suelo pseudo limoso muy suave untuoso, esponjoso, de régimen de humedad del suelo Perudico y de Temperatura Isofrigid, se encuentra localizado en las partes muy altas y frias de la Sierra, en alturas mayores a los 3200 m.s.n.m en pendientes de ondulación

suave o fuertes, pendientes del páramo. Ocupan una superficie de 33.78 Km² que equivale al 45% de la superficie de la microcuenca.

- Asociación de Series Da – Dh.- De acuerdo a la clasificación del Soil Taxonomy (USDA), la asociación de serie de Suelo Da - Dh corresponde al Subgrupo Hydric Cryandepts, la cual se presenta en un mismo sitio geográfico, en iguales proporciones y que de acuerdo a la escala del estudio no pueden ser separadas. Ocupa una superficie de 6.05 Km² que equivale al 8,1% de la superficie de la microcuenca.
- Suelo Aa.- De acuerdo a la clasificación del Soil Taxonomy (USDA), corresponde al Subgrupo Fibric Cryaquept, el cual es un suelo con contenido de materia orgánica poca meteorizada, pardo a negro oscuro sobre 30 cm o 40 cm de espesor, bajo esta capa se encuentra un suelo alofónico que presenta algunas veces un horizonte Álbico mas o menos claro, régimen de húmeda Perúdico y temperatura Isofrigid (temperatura de suelo menos de 10°C a 50 cm de profundidad), se localiza en las partes muy altas de la Sierra en Pendientes que son menos del 12% y partes bajas o en concavidades. Ocupan una superficie de 1.98 Km² que equivale al 2.6% de la superficie de la microcuenca.
- Suelo Dv.- De acuerdo a la clasificación del Soil Taxonomy (USDA), la serie de Suelo Dv corresponde al Subgrupo Typic Hydrandepts, el cual es un suelo muy negro pseudo-limo untuoso, esponjoso, uniforme, régimen de humedad Údico (el suelo no está seco en todo el perfil más de tres meses consecutivos, la mayoría de los años),

régimen de Temperatura Isomesic (Temperatura del Suelo de 10° a 13° a 50 cm de Profundidad), se encuentra en pendientes de ondulación suave o fuertes pendientes del páramo, generalmente se encuentran pastos de paramo a stipa Itchu o matorral. Ocupa una superficie de 1.03 Km² lo que equivale al 1.0% de la superficie de la microcuenca.

- Afloramiento Rocoso.- Se refieren a las superficies de roca dura consolidada, localizada especialmente en los sectores altos de la microcuenca del Río Pomacocho. Ocupa una superficie de 1.97 Km² que equivale al 2.6 % de la superficie de la microcuenca.
- Zona sin Información.- De acuerdo a la clasificación son zonas montañosas que presentan rangos de pendientes mayores a 70%. Ocupan una superficie de 25.5 Km² que equivale al 34% de la superficie de la microcuenca.

3.4 Caracterización del Medio Biótico

3.4.1 Biodiversidad de la Microcuenca del Río Pomacocho

El conocimiento de la biodiversidad presente en los ecosistemas es necesario para la definición adecuados de programas para el aprovechamiento de los recursos naturales dentro de una cuenca hidrográfica, ya que es indispensable establecer estrategias que garanticen la sostenibilidad de los recursos naturales sin poner en riesgo la biodiversidad presente en la zona, así como también a las fuentes originarias de agua en la cuenca.

Para cumplir con el objetivo de conocer la situación de biodiversidad en la microcuenca, se parte de la investigación de información bibliográfica del estudio de Diversidad de Flora y Fauna en los Paramos del Sur Oeste del Parque Nacional Sangay (Provincias de Chimborazo y Cañar) realizado por Prieto y Paucar en Noviembre 2010, este estudio de Biodiversidad consistió en la elaboración de un inventario de la riqueza biológica (flora y fauna), de las regiones de Complejo Ozogoche y Qhapaq Ñam las cuales están en el extremo sur del Parque Nacional Sangay, con la finalidad de conocer el estado actual de los páramos de la región, y como línea base para los proyectos de desarrollo local y regional.

Para la identificación de las Formaciones Vegetales en la Microcuenca del Río Pomacocho, se estableció en función del Mapa de Formaciones Vegetales del Ecuador continental, Circa, 1996; Sierra, 1999 elaborada con base a dos submodelos que reflejan la estructura jerárquica de la clasificación de la vegetación, la cual fue realizada a Escala 1:250 000.

El primer submodelo permite la identificación de las clases de vegetación de la Microcuenca del Río Pomacocho y se fundamenta en teorías ecológicas sobre nichos y adaptación ambiental y análisis de gradientes de vegetación (Franklin 1994, 1995; Cherrill et al., 1995). El segundo submodelo divide a la vegetación en formaciones homogéneas y únicas utilizando para ello las regiones naturales y los pisos florísticos (Sierra, 1999).

Con base a los criterios utilizados por (Sierra, 1999), la Microcuenca del Río Pomacocho presenta las siguientes formaciones vegetales:

Tabla 13. Formaciones Vegetales de la Microcuenca.

Formación Vegetal	Estado	Superficie (Km ²)	Porcentaje
Paramo Herbáceo	Intervenido	23.42	31.2
Bosque Siempreverde Montano Alto de los Andes Orientales	Intervenido	50.06	66.8
Herbazal Lacustre Montano Alto	Natural	1.52	2.0

Elaborado por: Autores, 2013.

De acuerdo a la propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador Continental, Rodrigo Sierra (1999), establece la siguiente descripción de las Formaciones Vegetales (Anexo A.5):

3.4.1.1 Páramo Herbáceo.

“Los páramos herbáceos (pajonales) ocupan la mayor parte de las tierras entre los 3.400 y 4.000 m.s.n.m. En su límite inferior se encuentra la Ceja Andina arbustiva o, frecuentemente, campos cultivados donde el bosque andino ya ha sido deforestado. Estos páramos están dominados por hierbas en penacho (manejo) de los géneros *Calamagrostis* y *Festuca*. Estos grupos de hierbas generalmente se entremezclan con otro tipo de hierbas y pequeños arbustos. Algunas especies, como por ejemplo *Calamagrostis effusa*, están restringidas a los páramos herbáceos del norte del Ecuador, en las provincias de Carchi e Imbabura (S. Laegaard, com. pers.)” según (Sierra, 1999). En la microcuenca del Río Pomacocho como se puede observar en la figura 19, el estado actual es intervenido, se encuentra zonas de pastos y desarrollo de actividades ganaderas.



Figura 19. Páramo Herbáceo, especie *Calamagrostis effusa*.
Elaborado por: Autores

3.4.1.2 Bosque Siempreverde Montano Alto de los Andes Orientales.

“Se extienden dentro de una franja más amplia que en las estribaciones orientales, desde los 2.900 hasta los 3.600 m.s.n.m. Incluye la "Ceja Andina" o vegetación de transición entre los bosques montano altos y el páramo. El bosque húmedo montano es similar al bosque nublado en cuanto a su fisonomía y a la cantidad de musgos y plantas epífitas. El suelo tiende a estar cubierto por una densa capa de musgo y los árboles tienden a crecer irregularmente, siendo ésta la fisonomía típica de los bosques alto andinos, con troncos ramificados desde la base y en algunos casos muy inclinados o casi horizontales” según (Sierra, 1999). En la microcuenca del Río Pomacocho como se puede observar en la figura 20 el estado actual es intervenido, se encuentra zonas de pastos y se aprecia la deforestación para el incremento de estas zonas.



Figura 20. Bosque Siempreverde Montano Alto de los Andes Orientales.
Elaborado por: Autores, 2013.

3.4.1.3 Herbazal Lacustre Montano Alto

“No ha sido descrito como un tipo de vegetación especial anteriormente. Las lagunas andinas tienen una flora característica que debe ser estudiada con más detalle para su clasificación. Esta vegetación se encuentra, por ejemplo, en la laguna de Papallacta y en las lagunas de los Llanganates (Pisayambo, Antejos, Aucacocha, Yanacocha, Quillipaccha, etc.). La especie endémica *Elatine ecuadoriensis* (Elatinaceae) se encuentra tanto en las lagunas del norte como en las del sur” según (Sierra, 1999).



Figura 21. Laguna Yahuarcocha. Herbazal Lacustre Montano Alto.
Fuente: (Prieto & Paucar, 2010).

De acuerdo al Informe de Estudio de (Prieto & Paucar, 2010), se establecieron dos grandes zonas de estudio el Complejo de Laguna de Ozogoche y Qhapaq Nan, localizadas en el extremo sur oeste del Parque Nacional Sangay en las provincias de Chimborazo (Cantón Alausí, Parroquia Achupallas) y Cañar (Cantón Cañar, Parroquia Ingapirca) a través del desarrollado de muestreos rápidos e información bibliográfica.

Para realizar este estudio, se establecieron 6 sitios de muestreo dentro del Complejo Ozogoche, en el cual se encuentran presentes las formaciones vegetales Páramo Herbáceo, Herbazal Lacustre Montano Alto que dentro de la Microcuenca del Río Pomacocho estas ocupan alrededor del 32% de superficie dentro de nuestra área de estudio; así mismo se estableció una tercera zona denominada Achupallas, en el cual se establecieron 4 sitios de muestreo en donde se encuentra presente la formación vegetal Bosque Siempreverde Montano Alto, la cual ocupa el 68% de superficie dentro de la Microcuenca del Río Pomacocho. Estos 10 sitios de muestreo pretenden determinar las especies más representativas en cada sector tanto de flora y fauna; y la identificación de riesgos y problemas presenten en estos componentes.

3.4.2 Flora.

De acuerdo al estudio de (Prieto & Paucar, 2010), indican que para el desarrollo del estudio de Flora se establecieron puntos de muestreo al azar, en las zonas de influencia directa a cuerpos y espejos de agua; implantándose 4 transectos lineales de 50 x 2 m.

Complementariamente, durante el transcurso de las campañas y en los desplazamientos entre tres y seis horas aproximadamente de recorrido, se

integraban a los registros de especies, las especies que no fueron encontradas en los transectos. Esta identificación de las especies de plantas involucro dos fases, la primera en el sitio de muestreo o fase de campo, y la segunda en el Herbario de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo o fase de laboratorio. En cuanto a la clasificación taxonómica de las especies se baso en Jorgensen y Leon-Yanez (1999) y en la base de datos de TROPICOSR3, mientras que para identificación de especies endémicas y el grado de amenaza se baso en el Libro Rojo de las Plantas Endémicas del Ecuador (Valencia et al.2000) y en la RED LIST de la UICN.

En el siguiente tabla cuadro se señalan las especies de flora identificadas en los sitios de muestreo que corresponden a las formaciones vegetales en identificadas en la microcuenca del Río Pomacocha, Plantas Endémicas (solo se encuentra de forma natural en ese sitio) y categoría de amenaza nacional y global, el cual se establece de acuerdo a su estado de conservación (es una medida de probabilidad de que una especie siga existiendo actualmente o en un futuro cercano, no solo en función del volumen de la población actual, sino de las tendencias que han manifestado durante el largo del tiempo, depredadores y/o otras amenazas para su hábitat). De acuerdo a la Lista Roja de la UICN y como se aprecia en el Anexo B.1 de acuerdo la categoría en donde se han identificado las especies de Flora, se encuentra en bajo riesgo lo que corresponde a preocupación menor (LC) y Casi Amenazada (NT).

3.4.3 Fauna.

Adicionalmente del desarrollo del componente Flora, parte del Estudio “Diversidad de Flora y Fauna en los Páramos del SurOeste del Parque

Nacional Sangay (Provincias de Chimborazo y Cañar)", de Prieto – Albuja y Paucar, Noviembre 2010, consistió también en caracterizar la Avifauna, Mamíferos, Hepertofauna.

3.4.3.1 Avifauna

La caracterización de la Avifauna se realizó en las dos grandes zonas de estudio el Complejo de Laguna de Ozogoché y Qhapaq Nan, localizadas en el extremo sur oeste del Parque Nacional Sangay, a través de la método de evaluaciones ecológicas rápidas, el cual determina la riqueza de aves en áreas poco exploradas en periodos cortos de tiempo (Buitrón 2008).

En cada zona de estudio, se establecieron puntos de muestreo a diferentes distancias y en diferentes tipos de cobertura vegetal en donde por medio de caminatas en diferentes periodos de tiempo se llevaron conteos visuales y auditivos de las especies de aves; esto permitió especies gemelas y relacionarlas con la presencia de la especie con los hábitats (O'Dea y Whittaker, 2007); mientras tanto en las hábitats acuáticos el registro de individuos se establecieron mediante recorridos a través del contorno de las lagunas.

Los datos de riqueza de las especies se usaron para caracterizar la avifauna de cada localidad. Cada especie se clasificó de acuerdo a su preferencia de hábitat (Ridgely y Greenfield, 2001), endemismo (Freile, 2010) y estado de conservación de la (IUCN, 2010; Granizo et al. 2010). La nomenclatura y orden sistemático de las aves siguen la clasificación de acuerdo a Remsen et al (2010). Las especies se clasificaron de acuerdo a categorías de hábitat aéreas, acuáticas, paramo, bosques, cultivos.

En el Anexo B. 2, se identifica a las especies encontradas en las zonas de estudio, de acuerdo a: Tipo de registro (F= Entrevistas, bibliografía, I= Indirecto; D= Visual y auditivo); Grado de Amenaza (Vu= Vulnerable, CR= En peligro de extinción, NT= Casi amenazada, EN= En peligro); Endemismo (043 EBA= Páramo de los Andes Centrales, NAN= Bioma Andes del Norte, CAN= Bioma Andes Centrales); Abundancia (C= Común, P= Poco Común, R= Raro (1 registro)); Preferencia de Hábitat (Ai=Aire, Lg=Lagunas, Bs= Bosque; Pr= Paramo; Ps= Pastos y áreas cultivadas, Ro= Ríos). (Anexo B. 3 Fotos de Especies de Avifauna, sector Lagunas Ozogoché, Achupallas).

3.4.3.2 Mamíferos

La caracterización de los Mamíferos se realizó en las dos grandes zonas de estudio el Complejo de Laguna de Ozogoché y Qhapaq Nan, localizadas en el extremo sur oeste del Parque Nacional Sangay, siguiéndose los criterios de Suárez y Mena (1994) y Tirira (1999), los cuales se basan en función del comportamiento, anatomía y biología (Boada, 2008), y en la división de los mamíferos en tres grupos: macromamíferos, mesomamíferos y micromamíferos.

Los macromamíferos son catalogadas a las especies de gran tamaño, que se reconocen a simple vista o a través de señales de presencia (Boada, 2008), las técnicas utilizadas para identificar este grupo y los restantes son la observación directa y la búsqueda e identificación de rastros de manera simultánea, para lo cual se establecen transectos en donde se trato de abarcar la mayor cantidad de habitas presentes; este transecto sirve para visualizar directamente los individuos, y para la identificación de huellas u

otros rastros que permitan discernir la especies como son fecas, marcos de orina, dormideros, comederos (Suárez y Mena, 1994; Tirira, 1999).

Las fecas que contenían porciones de esqueleto de otros animales se colectaron y analizaron para identificar en el Museo de Zoología en la sección mastozoología de la Universidad Católica. Como ejemplos de este grupo de gran tamaño tenemos los perisodáctilos, ursidae y ciertos carnívoros.

Los mesomamíferos y micromamíferos son las especies de mediano tamaño que pueden ser no voladores (como son los roedores, ratones marsupiales, musarañas) y los voladores que son los murciélagos (Boada, 2008). Se utiliza la misma técnica que en los macromamíferos y adicionalmente se realizó búsqueda bibliográfica sobre su potencial ocurrencia en la región.

Complementario a los métodos señalados, se planificaron y realizaron entrevistas informales a los pobladores de la zona de estudio, en especial a las personas que trabajan como guías y asistentes de campo, usándose fotografías tomadas por Emmons y Feer (1999), Jarrín (2001), Tirira (1999, 2007) en los procesos de entrevistas.

La nomenclatura y orden sistemático de los mamíferos siguen la clasificación de Tirira (2007) y su estatus de conservación de acuerdo a lo establecido por la IUCN (2010) y Tirira (2001).

En el Anexo B.4 se identifica a las especies encontradas en las zonas de estudio, de acuerdo a: Tipo de registro (F= Entrevistas, bibliografía, I= Indirecto; D= Visual y auditivo); Grado de Amenaza (Vu= Vulnerable, CR= En peligro de extinción, NT= Casi amenazada, EN= En peligro); Endemismo

(Nacional: Restringido al Ecuador). (Anexo B.5 Fotos de Especies de Mamíferos, sector Lagunas Ozogoché, Achupallas).

3.4.3.3 Hepertofauna

La caracterización de la Avifauna se realizó en las dos grandes zonas de estudio el Complejo de Laguna de Ozogoché y Qhapaq Nan, localizadas en el extremo sur oeste del Parque Nacional Sangay, la metodología desarrollada fue a través de transectos para inspección por encuentros visual (VES), esta es una técnica de inventario más comúnmente utilizadas y pueden ser usadas para medir la composición de especies, la abundancia relativa, la asociación de hábitats y la actividad. (Heyer et al. 1994). Esta técnica consiste en que una persona camina a través de un área o hábitat por un periodo de tiempo determinado buscando animales de manera sistemática, siendo una técnica que se puede utilizar en estudios de inventarios. Monitores a lo largo de transectos, en un punto, a lo largo del río, alrededor de una laguna y así sucesivamente y muestrear a todos los anfibios que son visibles.

Para la identificación in situ de las especies, se realizaron láminas de las especies de anfibios de acuerdo a Coloma (2009) y de reptiles de acuerdo a Torres – Carvajal (2008) que potencialmente se encontrarían en el área de estudio.

La nomenclatura, orden sistemático, endemismo y estatus de conservación de las especies se estableció de acuerdo a Coloma (2009) para anfibios y de Torres Carvajal (2008) para reptiles; en cuanto a las especies amenazadas se revisó el libro rojo nacional (Ron et al 2008). En el Anexo B. 6 se identifica a las especies encontradas en las zonas de estudio,

de acuerdo a: Tipo de registro (F= Entrevistas, bibliografía, I= Indirecto; D= Visual y auditivo); Grado de Amenaza (Vu= Vulnerable, CR= En peligro de extinción, NT= Casi amenazada, EN= En peligro); Endemismo (Nacional: Restringido al Ecuador, Bioma). (Anexo B.7 Fotos de Especies de Hepertofauna, sector Lagunas Ozogоче, Achupallas).

3.4.4 Zona Protegida y Áreas de Vegetación y Bosque Protector.

La determinación de zonas protegidas (Parques Nacionales (SNAP) y Áreas de Bosque y Vegetación Protectora (ABVPs)) se basó en la información obtenida de CGPAUTE a escala 1:25.000, en donde mediante la intersección de coberturas temáticas, la microcuenca del río Pomacocho y Parque Nacional Sangay, áreas de vegetación y bosque protectores de la Cuenca del Río Paute (Subcuencas de los ríos Dudas, Mazar, Llavircay, Juval, Pulpito) se estableció su porcentaje de ocupación con relación a ellas.

Tabla 14. Zonas Protegidas y AVBPs en la Cuenca del Río Paute.

Bosques Protectores y Áreas Protegidas	Área Total de ABVPs sin Intersección Km2	Área de SNAP, ABVPs dentro de la Microcuenca R. Pomacocho Km2	Porcentaje de Ocupación %
Parque Nacional Sangay	4866,12	7,26	0,15
B. P. Cuenca del Río Paute	767,77	7,26	0,95

Fuente: (CG PAUTE, 2007)

Elaborado por: Autores, 2013

Como se observo en la Tabla 14 y en el Anexo A.6, la Microcuenca del Río Pomacocho ocupa el 0,15% con relación a la superficie total del Parque Nacional Sangay y el 0,95% de la superficie del Bosque Protector de la Cuenca del Río Paute, a pesar de ser porcentajes de ocupación menores al

1% es evidente la intervención antrópica a través de actividades que fomentan la disminución de los páramos y la biodiversidad como son la ganadería, la quema, expansión de la frontera agrícola, contaminación de ríos y quebradas, la caza de animales, introducción de especies exóticas en la región como se puede apreciar en las siguientes figuras 22, 23, 24.



Figura 22. Disminución de Paramos en la Microcuenca.
Fuente: Autores, 2013.



Figura 23. Disminución de Bosques por Incremento de Pastos cultivados, se observa procesos de inestabilidad en taludes del margen izquierdo del Río Pomacocho.
Fuente: Autores, 2013.



Figura 24. Pérdida de cobertura de Bosques por actividades de ganadería en zonas de pendientes.

Fuente: Autores, 2013.

CAPITULO IV

ACTORES SOCIALES

La Microcuenca del Río Pomacocho al ser una unidad espacial donde no solo interactúa los aspectos físico – biológicos, sino también una unidad en donde actúan el hombre a través de los actores sociales; entenderemos como actores a las personas, organizaciones, comunidades o instituciones que tengan intereses ya sea directos o indirectos sobre el recursos hídrico de la Microcuenca y que además forman parte del desarrollo socioproductivo y ambiental de la misma, los cuales son indispensables para la consecución de objetivos y metas dentro de un proyecto, y nos permite determinar las potencialidades y capacidades presentes de los actores y sujetos para intervenir y modificar su realidad.

Los actores sociales son piezas claves del desarrollo local/territorial, que ejercen poder y territorialidad a través de roles, produciendo transformaciones en el espacio y en sus respectivas organizaciones y/o instituciones, que son las causas y consecuencias de las diferentes formas que asume la producción del espacio.

Dentro de un espacio geográfico determinado existen diferentes visiones de desarrollo local y territorial, de ahí la importancia de identificar sus potencialidades para establecer propuestas que potencien el uso de sus capacidades y factores locales generando oportunidades para el desarrollo y consecución de objetivos.

Para el caso de nuestro proyecto se partirá de la premisa que todos aquellos individuos que forman parte del Cantón Alausí se consideraran actores claves, y así mismo considerando el tipo de proyecto, objetivo y fines que persigue la el actor social se establecerán dos categorías entre los Actores Alfa y Omega; en donde los Actores Alfa serán los que se encuentran a favor de participar con sus recursos en la zona de estudio de la Microcuenca del Río Pomaccho, y Omega a los actores que tienen una posición neutral, indiferente, que se puede deber a desconocer el proyecto en ejecución, que no han ejecutado proyectos directamente en esta zona o que no están acorde a sus objetivos y fines organizacionales, pero que disponen del recurso y conocimiento para intervenir en la Microcuenca según el caso.

4.1 Identificación de Actores Claves.

Para la identificación de los actores se realizaron los siguientes pasos para establecer los actores sociales que intervienen en la zona de estudio, los cuales son:

- Trabajo de Gabinete, en donde a través del uso de los sistemas de información geográfica se superpuso la Microcuenca del Río Pomaccho con los Límites Políticos Administrativos y Comunidades,
- Con la definición de las unidades político – administrativo, se establecieron los actores a nivel de Gobiernos Seccionales y Ministerial afines a nuestro tema de estudio
- Entrevista de trabajo con el equipo de proyecto de la Universidad Nacional de Chimborazo, (UNACH) en base a la experiencia en la zona de estudio, se les solicito enumeren organizaciones no

gubernamentales (ONG's), que desarrollen proyectos en las comunidades de la Parroquia Achupallas,

- Trabajo de Campo con los actores sociales identificados preliminarmente y que conocen de otras organizaciones que desarrollen proyectos en el Cantón Alausí y/o Parroquia de Achupallas.

Complementariamente, se estableció un cuestionario abierto, en donde para el proceso de identificación de actores se consultaba su nivel de trabajo (Internacional, Nacional, Regional, Provincial, Municipal, Local), datos de contacto, si conoce o no sobre la ejecución del Proyecto “Propuesta Técnica de Manejo de Subcuencas Hídricas y Caracterización Territorial Ambiental, Considerando el Paisaje Cultural Andino y el Desarrollo Socioeconómico de la Parroquia Achupallas, Cantón Alausí, Provincia de Chimborazo”, y su posición frente al mismo, cabe indicar que la mayor parte de encuestados desconocía este proyecto, pero manifestaron estar a favor del mismo luego de haber expuesto los fines del proyecto, es importante indicar que la posición de ellos es a favor siempre y cuando se tomen en cuenta sus capacidades y potencialidades en la ejecución del mismo y sus áreas de acción.

En la Tabla 15 se indican los actores sociales identificados en la Microcuenca del Río Pomacocho.

Tabla 15. Matriz de Identificación de Actores Sociales.

Actores Sociales	Categoría/ Nivel						Datos del Contacto (Persona Entrevistada) Nombre	Conoce el proyecto de la UNACH		Posición frente al proyecto		
	Provincial	Municipal	Regional	Local	Nacional	Internacional		Si	No	A favor	En contra	Indiferente
Parque Nacional Sangay			x				Ing. Miguel Acuña	x		x		
Central Ecuatoriana de Servicios Agrícolas (CESA)	x						Ing. Aurelio Silva	x		x		
Junta Parroquial Achupallas	x						José Manuel Quinchi		x	x		
Ministerio del Ambiente, Programa Sociobosque					x		Ing. Lino Sánchez		x	x		
Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo	x						Ing. Carlos Bonilla	x		x		
FAO sede Riobamba					x		Ing. Julián Pucha	x		x		
Comunidad de Pomacocho				x			Luis Casahuano	x		x		
Corporación de Asociaciones Sullá							Sr. Segundo Altamirano Sr. Segundo Malan		x			
Unidad de Promoción y Desarrollo Forestal del Ecuador (PROFORESTAL)	x						Ing. Diego Moreno		x			x
Senagua – Alausí			x				Ing. Sandra Velarde Dr. Geovanny Lara		x	x		
Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca					x		Ing. Bolívar Garrido		x	x		
Municipalidad de San Pedro de Alausí		x					Ing. Vinicio Samaniego		x	x		
CELEC EP, Unida de Negocio Hidropaute			x				Ing. David Vásquez		x			x
Corporación de Organizaciones Campesinas Achupallas				x			Sr. Norberto Quinchi	x		x		

Elaborado por: Autores, 2013.

4.2 Roles de los Actores Sociales

Para establecer los roles de los actores sociales, se utilizó la Encuesta de “Identificación, Análisis de Actores Sociales Microcuenca del Río Pomacocho, Parroquia Achupallas, Cantón Alausí Provincia de Chimborazo” (Anexo C.1), en el cual se enfocan 8 puntos prioritarios:

- Objetivos, fines y proyectos que ejecuta la Organización.
- Relación con otros actores sociales y/o organizaciones sociales.
- Tiempo de trabajo en el Cantón Alausí, Parroquia Achupallas, comunidad Pomacocho.
- Relaciones con las comunidades, mecanismos de comunicación y colaboración a futuro.
- Conceptos de Poder, Intereses y Legitimidad.
- Diagrama Arcoíris.

Esta encuesta permitió identificar los principales roles que desarrollan los actores sociales (ambiental, social, económico), asignación que se la realizó en función de los proyectos que ejecutan independientemente de su categoría o nivel de acción; esta identificación permitió establecer que existen actores sociales que presentan mucho interés son los que desarrollaron o desarrollan algún proyecto en la zona de estudio como se indica en la siguiente tabla; así mismo se identificó a los actores que presentaron moderado y poco interés no necesariamente significaba que no tiene interés en participar, si no que sus objetivos y fines al momento se encuentran establecidos en otras zonas de trabajo y en otros casos difieren del objetivo principal del estudio, pero que estarían dispuestos a participar.

Tabla 16. Matriz de Roles de los Actores Sociales.

Actor Social	Intereses			Proyectos en la Parroquia Achupallas/ Microcuenca del Río Pomacocho		Nombre del Proyecto	Rol		
	Poco	Moderado	Mucho	Si	No		Ambiental	Social	Económico
Parque Nacional Sangay			x	x		Proyecto Sociopáramo dentro de la Microcuenca del Río Pomacocho parte del Parque Nacional Sangay	x		
Central Ecuatoriana de Servicios Agrícolas (CESA)			x		x	Proyecto de Formación por Competencias para el Trabajo y apoyo para Emprendimientos Familiares en la Parroquia de Achupallas, trabajaron 5 años	x	x	x
Junta Parroquial Achupallas		x			x	No desarrolla al momento ningún proyecto en la Comunidad de Pomacocho	x	x	x
Ministerio del Ambiente, Programa Sociobosque			x	x		Programa Sociopáramo en el Parque Nacional Sangay	x		x
Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo			x	x		Inventario de Recursos Hídricos en la Provincia de Chimborazo	x		
FAO sede Riobamba		x			x	No ejecutan por el momento		x	
Comunidad de Pomacocho		x			x	Participación en el Proyecto Sociopáramo	x		x
Corporación de Asociaciones Sullá			x	x		Al momento no ejecuta Proyectos, pero dispone el respaldo de los presidentes de las comunidades.		x	
Unidad de Promoción y Desarrollo Forestal del Ecuador (PROFORESTAL)	x				x	Establecimiento y Manejo de Pino (Pinos Patula) en la comunidad El Frondoso del Cantón Alausí.	x		x
Senagua – Alausí		x			x	Inventario de Recursos Hídricos en la Provincia de Chimborazo, Concesión de Caudales	x		
Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca		x		x		Catastro Ganadero en la Provincia de Chimborazo (Parroquia Achupallas)	x		x
Municipalidad de San Pedro de Alausí		x		x		Diagnóstico Socioambiental a nivel Cantonal	x	x	x
CELEC EP, Unidad de Negocio Hidropaute		x			x	Red Hidrometeorológica para la Cuenca del Río Paute	x	x	x
Corporación de Organizaciones Campesinas Achupallas		x			x	Organización que tiene experiencia en el trabajo con madres y niños de la comunidad Hula Huayco, Huayllagrande, Huayachico, Santa Rosa, Zhumid, Huanca Payahuco)	x	x	x

Elaborado por: Autores, 2013.

4.3 Selección y Calificación de los Actores Sociales

4.3.1 Selección de actores sociales.

Con base a la información obtenida a través de las Encuestas desarrolladas a los actores sociales identificados, se estableció la siguiente matriz de actores en donde en base a la metodología desarrollada por la Guía Identificación de actores claves desarrollada por el Gobierno Federal de México por SEMARNAT dentro de Planeación Hidráulica en México, se elaboro la tabla de Selección de Actores Sociales.

Para poder establecer la calificación de los actores sociales, es necesario conocer las funciones de los actores sociales en la propuesta de aprovechamiento del Recurso Hídrico en la Microcuenca del Río Pomacocho, por lo que es necesario definir las acciones que pueden ejecutar los actores claves y los procesos de alianzas que se pueden establecer entre ellos.

Como habíamos indicado anteriormente se pretende determinar los actores Alfa y Omega, lo cual se conseguirá con la ayuda de las encuestas realizadas a los actores sociales ya que de esa manera se establecieron las siguientes categorías en la matriz de selección de los actores.

4.3.2 Intereses.

En esta se detallan los intereses que tiene cada actor social, es decir que actividades ejecutan y de qué manera podrían colaborar en el desarrollo de la Microcuenca del Río Pomacocho; así como también los intereses, expectativas, miedos que presentarían en caso de ser parte de la ejecución de algún tema en específico en la Microcuenca.

4.3.3 Posible relación con el Proyecto

Aquí se trata de establecer cuál es la posición que adoptaran los actores sociales con relación a la ejecución del Proyecto, (a favor, en contra, indiferente), así mismo se describen las áreas o los intereses en común que tiene los actores y el proyecto, como son en aspectos sociales, económicos, ambientales.

4.3.4 Problemas Percibidos para actuar en el Proyecto

Se describen las experiencias que han tenido los actores en la ejecución de proyectos y los problemas más comunes que han enfrentado o podrían enfrentar en caso de desarrollar algún proyecto en la Microcuenca sea de ámbito técnico, económico, social y ambiental.

4.3.5 Atribuciones ó Mandatos.

Este hace referencia a las atribuciones ó mandatos que facultan o restringen su accionar en el desarrollo de proyectos en la Microcuenca, por ejemplo los temas de competencias en cuanto a los Gobiernos Autónomos Descentralizados, Organizaciones no Gubernamentales, entre otros.

4.3.6 Nivel de Prioridad para Solución del Problema

Se establece el nivel que dispone el actor social para poder resolver o implementar algún componente de acuerdo a sus intereses dentro del Proyecto o si no es de sus prioridad debido a sus objetivos y fines que persigue su organización.

4.3.7 Observaciones y Recomendaciones

Con relación a lo identificado en el proceso de encuesta y las entrevistas efectuadas con los actores sociales y en función de sus intereses se

establecen recomendaciones que permitan disponer de requerimientos adicionales en cuanto a información que manejan los actores sociales, despejar las inquietudes o dudas si son actores que mantienen el interés por participar en la ejecución de un proyecto en la Microcuenca.

Lo expuesto anteriormente se identifica en la tabla Matriz de Selección de actores que se indica a continuación.

Tabla 17. Matriz de Selección de Actores Sociales.

Actor Social	Intereses	Posible relación con el Proyecto	Problemas Percibidos para actuar en el proyecto	Atribuciones ó Mandatos	Nivel de Prioridad para Solución del Problema	Observaciones / Recomendaciones
Parque Nacional Sangay	Programa Socio Páramo. Protección y Conservación de los Recursos Naturales, Mejoramiento de zonas degradadas dentro del Parque Nacional	Buena, por que fomentan la conservación de los Páramos, dispone de contactos en la Microcuenca Pomacocho	Posible problema sería la disposición de recursos depende del Gobierno Nacional	Legal: Programa Socio bosque a nivel Ministerial	Prioritario en la Conservación de la Biodiversidad de los Páramos	Ayudaría a identificar el estado de los predios en la Microcuenca, tiene relaciones establecidas con la comunidad de Pomacocho, y ejecutan un proyecto de conservación de objetivo a nivel Nacional
Central Ecuatoriana de Servicios Agrícolas (CESA)	Participaron 5 años atrás en la Parroquia de Achupallas, no trabajaron con la Comunidad de Pomacocho; pero muestran interés ya que han apoyado el Inventario Hídrico de la Provincia de Chimborazo, así mismo conocen la realidad de la zona, lo que demanda, sus potencialidades, e intereses y estarían dispuestos a replicar conforme las experiencias de la Subcuenca del Río Chambo en Pomacocho	Apoyarían el proyecto pues disponen fortalezas en el área de riego y gestión técnica del agua	Indican que el trabajo con la comunidad no sería un inconveniente, de la experiencia en el Cantón Alausí han identificado como un problema la falta de apoyo de la Municipalidad.	Fundación de derecho privado que trabaja conjuntamente con la población rural facilitando procesos sostenibles de desarrollo humano.	Prioritario pues dispone de experiencias que pueden ser replicadas en la Microcuenca del Río Pomacocho	Dispone de una excelente relación de trabajo con el Gobierno Provincial pues apoyaron en el Inventario Hídrico, así mismo disponen de la capacidad técnica para la ejecución de proyectos de recursos hídricos
Junta Parroquial Achupallas	Su interés está en la conservación de los páramos pero indican que el rubro que se paga no es lo suficiente, por lo tanto cree que el Programa de Sociopáramo no sea muy efectivo	Están dispuestos apoyar la preservación de los Páramos, siempre y cuando se establezca un buen incentivo económico	Limitado a la asignación económica que se puede percibir	Legal de acuerdo a sus competencias	Es prioritario el involucramiento de este actor puesto que la Comunidad de Pomacocho y Lindilig se encuentran en esta Parroquia.	Mayor involucramiento con los actores sociales, puesto que es vital su participación en el desarrollo del mismo
Ministerio del Ambiente, Programa Sociobosque	Programa Socio Páramo. Protección y Conservación de los Recursos Naturales, Mejoramiento de zonas degradadas dentro del Parque Nacional Sangay trabajan en la zona de Pomacocho actualmente con 2000 ha	Momentáneamente es buena por el inicio del proyecto, hay que monitorear actualmente como está la relación con la comunidad (verificar si se han cumplido los acuerdos)	Disposición de los recursos económicos depende del Gobierno	Legal de acuerdo a sus competencias	Prioritario pues es una política de Estado	Ejecutan un Proyecto de Conservación a Nivel Nacional, al momento existen buenas relaciones con la comunidad.
Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo	Conservación de los recursos hídricos y fortalecimiento vial en la Provincia, específicamente se realizo el asfaltado de la vía que conduce a la comunidad de Pomacocho	Con relación a otras ONG's, es buena y existe una capacidad de intercambio de experiencias favorables	Disposición de los recursos económicos y por la comunidad por el proyecto vial que se desarrollo en la zona	Legal de acuerdo a sus competencias	Prioritario pues está dentro de sus competencias	Aprovechar los acuerdos de cooperación que se han realizado con otras ONG's como CESA

Tabla 17. Matriz de Selección de Actores Sociales.

Actor Social	Intereses	Posible relación con el Proyecto	Problemas Percibidos para actuar en el proyecto	Atribuciones ó Mandatos	Nivel de Prioridad para Solución del Problema	Observaciones / Recomendaciones
Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) sede Riobamba	Recuperar la identidad de la zona y parte su desarrollo desde la Organización de la Familia.	Apoyo en el fortalecimiento con los gobiernos comunitarios, recuperación turística (Qhapaq Ñan)	Han identificado que los pobladores de las comunidades esperan solo recibir incentivos, pero no buscan surgir con los mismos	Organización de las Naciones Unidas que trabaja en conjunto con nuestras contrapartes gubernamentales, principales socios estratégicos, la sociedad civil y los organismos internacionales de cooperación, a través de la implementación de programas y proyectos que garanticen la seguridad y soberanía alimentaria de los ciudadanos y ciudadanas del País.	Su apoyo puede ser interesante si se enfocan en la consolidación de la familia, recuperación de identidad de los pueblos	Han desarrollado a través de la Iglesia su mecanismo de comunicación efectiva con las comunidades en el Cantón Alausí, su proyecto de participación fue el Qhapaq Ñan abría que monitorear su colaboración tomando como base este proyecto para una posible intervención directa en la Microcuenca del Río Pomacocho
Comunidad de Pomacocho	Existe un interés por colaborar, pero necesitan proyectos en donde se consiga un mayor desarrollo económico o a su vez se expongan otras oportunidades de desarrollo	Existe interés pues ya empezaron con el desarrollo del programa Sociopáramo, conocen sobre el Proyecto que ejecuta la UNACH.	Podría existir problemas legales en la ejecución concreta de un proyecto específico, en vista de que hay propietarios de tierras que no viven en la comunidad, se debe fortalecer el conocimiento de la comunidad a través de un Programa de Capacitación en temas de Manejo de Páramos, y en ofertar otros modelos productivos agrícolas y pecuarios.	Lo que este establecido dentro del Gobierno Seccional del Cantón Alausí.	Prioritario, pues es la comunidad y la Microcuenca que se encuentran aquí se beneficiaran a futuro de los proyectos que se logre implementar	En la entrevista indicaron que pertenecen a la Organización Sullá, se puede conseguir mayores logros si se establece relaciones directas de trabajo con esta organización. Se debe empezar por capacitar a los pobladores de Pomacocho y Lindilig. Monitorear las relaciones que se han establecido con Parque Nacional Sangay, Ministerio del Ambiente en su Programa Sociopáramo
Corporación de Asociaciones Sullá	La Corporación Sullá está conformada por las comunidades de La Dolorosa, Pomacocho, Juval, Ozogoche alto, Totoras centro) comunidades que de acuerdo a su relación el 80% es evangélica	El principal interés que tiene Sullá es en la Fabricación de Lácteos han desarrollado trabajos en Totoras y Pomacocho	La principal preocupación es de que se ofrezcan modelos productivos agrícolas y pecuarios que impulsen a la conservación de los Páramos	Han desarrollado una solida red entre las comunidades de la Parroquia	Prioritario, pues han logrado desarrollar una red de contactos entre los principales dirigente de la comunidades del Cantón Alausí	Los dirigentes de la Corporación están dispuestos a colaborar y han puesto a disposición su red de contactos con los dirigentes y los temas de logística que pueden brindar como principal fortaleza
Unidad de Promoción y Desarrollo Forestal del Ecuador (PROFORESTAL)	Implementar el Plan Nacional de Forestación y Reforestación a través de programas y proyectos bajo 2 componentes plantas industriales o comerciales y en agroforestería	Su principal interés es en la producción de madera en sitios en donde los suelos sean idóneos para el cultivo de bosques.	Han tratado de establecer y el manejo de 20,12 ha de pino (Pinos Patula) en la Comunidad El Frondoso del Cantón Alausí en la Provincia de Chimborazo pero aún no se inicia el proyecto	Legal es entidad adscrita al Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca	No Prioritario, pues este actor se enfoca en temas de plantación de bosques con fines productivos	El involucramiento de este actor dependerá de la visión general del proyecto y de la identificación de sitios aptos de acuerdo a las condiciones de suelo para el cultivo de Bosques con fines de producción Disponen de funcionarios indígenas para la comunicación con las comunidades, su participación es en la articulación territorial, brindando apoyo y capacitación técnica, desean relacionarse con todas las organizaciones que ejecuten trabajos en su área de acción
Senagua - Alausí	Gestión Integrada de Recursos Hídricos, Manejo Ambiental, Ámbito Social. Participaron en el Inventario de los Recursos Hídricos en la Provincia de Chimborazo	Regulación de las Concesiones de Agua, Manejo de Subcuencas Hidrográficas	No se ha identificado problemas al momento, ya que es una entidad del estado que legaliza las concesiones de agua y socializa Ley de Aguas, un posible conflicto sería si se otorgara concesiones para uso en minería	Legal de acuerdo a sus competencias	Prioritario pues son la entidad que trabaja en Cuencas Hidrográficas	

Tabla 17. Matriz de Selección de Actores Sociales.

Actor Social	Intereses	Posible relación con el Proyecto	Problemas Percibidos para actuar en el proyecto	Atribuciones ó Mandatos	Nivel de Prioridad para Solución del Problema	Observaciones / Recomendaciones
Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca	Brindar asistencia técnica agropecuaria a través de proyectos emblemáticos (ERAS, PRONORI, TIERRAS, RIEGO, GANADERO) con la finalidad de apoyar al pequeño y mediano productor para mejora de nivel de vida	Proyectos que apoyen la política del Buen Vivir en ámbitos de agricultura, ganadería, acuicultura, realizaron el registro de ganado en la Comunidad de Pomacocho	No se ha identifica problemas con la comunidad, pues indican que han logrado ejecutar lo que se ha comprometido con la comunidad	Legal de acuerdo a sus competencias	Prioritario pues entidad que se encarga de los ámbitos de ganadería, agricultura y porque pueden coordinar con otras entidades y comunidad	No se identifica problemas con otros actores sociales, han logrado un desarrollo fuerte a nivel de Juntas Parroquiales y Tenencias Políticas
Municipalidad de San Pedro de Alausí	Ejecutaron el Plan de Desarrollo Territorial (2011) formato Senplades, se encargan de la Conservación y Protección de las Microcuencas, han desarrollo trabajos a nivel de Junta Parroquial en Achupallas	A través de apoyo técnico para la ejecución de estudios en la zona de Achupallas.	Han identificado en el Cantón problemas en cuanto a la disposición de colaboración de los comuneros con la mano de obra para ciertos proyectos que se identifican, que no han logrado que se cumplan con actas de compromisos.	Legal de acuerdo a sus competencias	Prioritario pues una entidad que se encarga de las políticas a nivel ambiental, social y económico a nivel político administrativo	Analizar la relación con los actores sociales identificados.
CELEC EP, Unidad de Negocio Hidropaute	Tiene 4 líneas de acción: Educación Ambiental, Compensación y Mitigación Ambiental, Calidad Ambiental, Manejo de la Cuenca del Río Paute especialmente en las áreas de influencia directa	Establecimiento de una Red Hidrometeorológica en la Cuenca del Río Paute, se enfocan mas en áreas de influencia directa, y considerarían a las áreas de influencia indirecta siempre que sean legalmente conveniente para Hidropaute	De manera general identifican como problema la débil Organización que se disponen en las comunidades, no se considera género, equidad y el involucramiento de mujeres.	Legal de acuerdo a sus competencias y por los proyectos hidroeléctricos que se encuentran en la Cuenca del Río Paute (Mazar, Molino, Sopladora)	Prioritario pues garantizaría el aporte hídrico para el Proyecto Hidroeléctrico Paute - Molino	Se debe buscar un acercamiento entre la UNACH y Hidropaute para que exponga los objetivos del proyecto y los beneficios al garantizar aporte hídrico para los Proyectos Hidroeléctricos y se involucren de manera activa, de acuerdo a Hidropaute siempre las propuestas se analizan desde el contexto técnico - financiero.
Corporación de Organizaciones Campesinas Achupallas	Organización sin fines de lucro, trabajo en el Proyecto Visión Mundial Australia (Organización extranjera que trabaja con la niñez), desarrollan trabajos con madres de la comunidad en temas de lactancia y fomentan el desarrollo de los jóvenes a través de actividades como la peluquería y sastrería	Es posible si es que se desarrollan proyectos con la niñez, desarrollo agrícola y agropecuario y nutrición.	El desarrollo de sus proyectos se encuentra restringido al apoyo del Proyecto Visión Mundial (Organización extranjera de Australia)	Organización Internacional que se enfoca en el trabajo con las madres en lactancia, niñez, en temas de nutrición en las comunidades, no ha desarrollado proyectos en Pomacocho en la Junta Parroquial de Achupallas.	Prioritario pues conseguiría trabajar con niños y madres de la comunidad	Se debe indagar adicionalmente si de acuerdo a los fines que presenta Visión Mundial (Organización Internacional), podría colaborar con el desarrollo de temas de la Microcuenca del Río Pomacocho de acuerdo a los lineamientos que establezca UNACH.

Elaborado por: Autores, 2013.

4.4 Calificación de actores sociales

La relación de los actores claves varía de acuerdo a la finalidad del proyecto y de los objetivos, fines e intereses que cada uno de ellos tenga. La Guía Metodológica de actores clave dice: “Un actor clave no necesariamente será prioritario en la misma medida si el objetivo del proyecto A es el control de contaminación de un río y el del proyecto B la recuperación de humedales.” De acuerdo a esto es necesario valorar la capacidad de interacción de los actores claves a través del siguiente procedimiento que estableció la Guía Metodológica de actores claves. De esta manera se establecen las siguientes categorías:

4.4.1 Influencia.

“La capacidad que tiene el actor de movilización social y recursos”. Se asigna un valor con el objetivo de identificar la capacidad de “hacer que las cosas sucedan o de movilizar los recursos a través de Bajo (1), Medio (2), Alto (3)

4.4.2 Posición frente al Proyecto.

Se obtendrán 3 resultados cuando se observa o se pregunta si el actor le interesa resolver la necesidad del problema o si participara en la solución; estas posiciones se valoraran conforme la siguiente regla: A favor, En contra/opuestos, Indiferente o neutral. De esta manera se identificarán los actores claves Alfa (a favor) y los actores claves Omega (en contra, indiferente/neutral)

4.4.3 Valor.

En esta categoría se identifican los resultados de los valores asignados a las categorías influencia y posición frente al proyecto, en donde se estima los acuerdos o conflictos que cada actor representa según el análisis efectuado. Es importante indicar que la posición es modificable con relación a las circunstancias y objetivos realizados e inclusive a los ajustes en la perspectiva del proyecto, tal como se indica en la tabla 18.

Tabla 18. Matriz de Valoración de Actores Sociales.

Código	Actor Social	Influencia	Posición frente al Proyecto	Valor
A1	Parque Nacional Sangay	Alto	A favor	ALFA
A2	Central Ecuatoriana de Servicios Agrícolas (CESA)	Medio	A favor	ALFA
A3	Junta Parroquial Achupallas	Alto	Indiferente	ALFA
A4	Ministerio del Ambiente, Programa Sociobosque	Alto	A favor	ALFA
A5	Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo	Alto	A favor	ALFA
A6	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) sede Riobamba	Medio	A favor	ALFA
A7	Comunidad de Pomacocho	Alto	A favor	ALFA
A8	Corporación de Asociaciones Sullá	Medio	A favor	ALFA
A9	Unidad de Promoción y Desarrollo Forestal del Ecuador (PROFORESTAL)	Bajo	Indiferente	OMEGA
A10	Senagua - Alausí	Alto	A favor	ALFA
A11	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca	Medio	A favor	ALFA
A12	Municipalidad de San Pedro de Alausí	Alto	A favor	ALFA
A13	CELEC EP, Unidad de Negocio Hidropaute	Alto	Indiferente	ALFA
A14	Corporación de Organizaciones Campesinas Achupallas	Medio	A favor	ALFA

Elaborado por: Autores, 2013.

4.5 Priorización de Actores Sociales

Para la priorización de los actores sociales, se partirá de la Matriz de Valorización de Actores Sociales, a partir de esta, se establecerá una matriz de doble entrada en donde se ubicara a cada actor de acuerdo al siguiente esquema: En el eje vertical estará identificados por los grados de influencia (alto, medio, bajo) y en el eje horizontal se identificara la posición de cada actor con relación a la posición de intervención (a favor, indiferente y en contra). En la Figura 25 se aprecia la Matriz de Priorización de Actores Sociales.

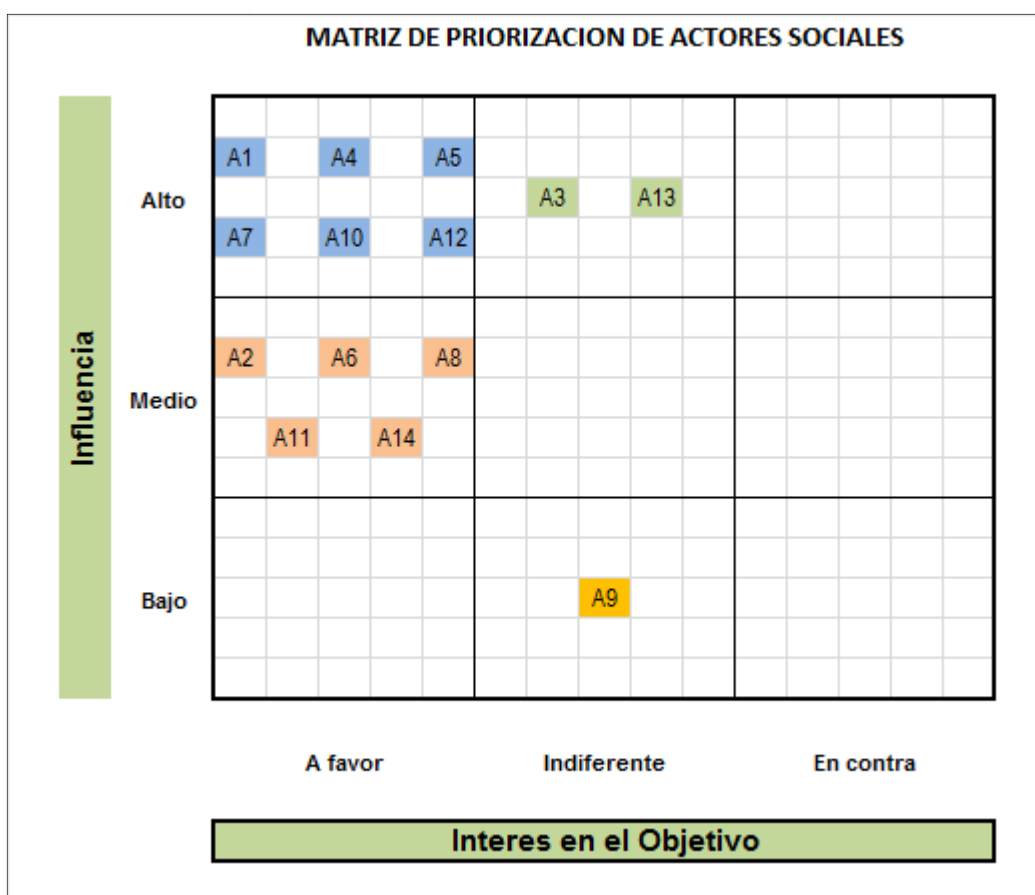


Figura 25. Matriz de Priorización de Actores Sociales
Elaborado por: Autores, 2013.

4.6 Plan de Acción para los Actores Sociales

Una vez identificados y establecido los actores sociales Alfa, es necesario fortalecer las relaciones trabajos en conjunto con el objetivo de que ellos sean parte del proyecto que desenvuelve la UNACH, por lo tanto es necesario desarrollar primero estrategias de acercamiento y difusión del proyecto que ejecuta la UNACH en la Parroquia Achupallas, comunicación e intervención adecuada a cada actor para conseguir su participación activa en el proyecto; y colaboren en la ejecución del Plan de Aprovechamiento del Recurso Hídrico en la Microcuenca del Río Pomacocho.

4.6.1 Objetivo General.

- Integrar a los actores sociales Alfas y Omegas identificados en la Microcuenca del Río Pomacocho, a través de la difusión de los objetivos que persigue la Propuesta Técnica de Manejo de Subcuencas Hídricas y Caracterización Territorial Ambiental, Considerando el Paisaje Cultural Andino y el Desarrollo Socioeconómico de la Parroquia Achupallas, Cantón Alausí, Provincia de Chimborazo, para establecer los lineamientos generales que permitan posicionar y fortalecer el proyecto en la Región.

4.6.2 Objetivos Específicos.

- Difundir los objetivos generales y específicos del Proyecto de la Propuesta Técnica de Manejo de Subcuencas Hídricas y Caracterización Territorial Ambiental, considerando el Paisaje Cultural Andino y el Desarrollo Socioeconómico de la Parroquia Achupallas.

- Actualización de la matriz de selección de actores sociales, con la inclusión de nuevos actores presentes identificados por los actores Alfa y Omega.
- Definición de áreas de actuación y apoyo conforme a los objetivos y fines que tiene cada actor social Alfa y Omega.

4.6.3 Estrategias.

- Acercamiento y difusión del proyecto que ejecuta la UNACH a los actores Alfa identificados en la Parroquia Achupallas.
- Comunicación e intervención adecuada a cada actor para conseguir su participación activa en el proyecto.

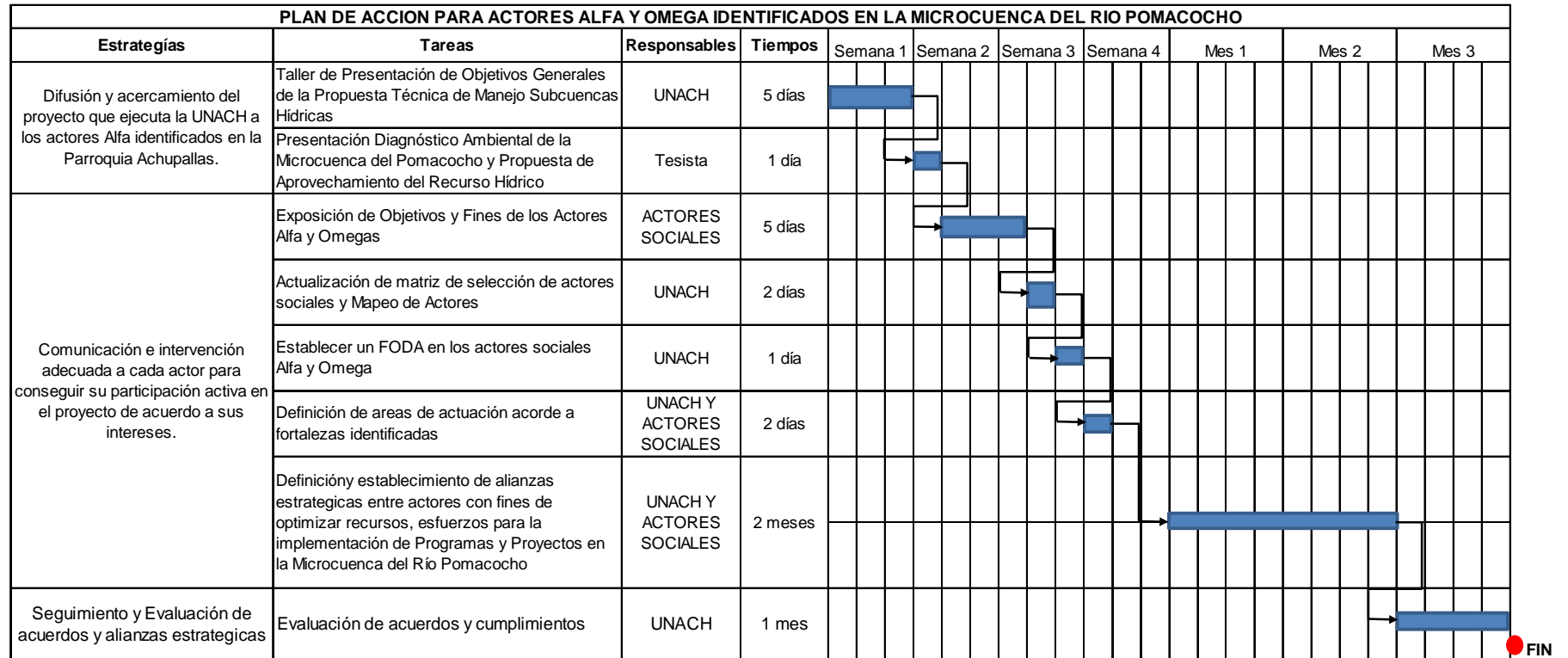
4.6.4 Marco de Acción.

Se definen las siguientes líneas de acción para el plan:

- Difusión y acercamiento del proyecto que ejecuta la UNACH a los actores Alfa identificados en la Parroquia Achupallas.
- Comunicación e intervención adecuada a cada actor para conseguir su participación activa en el proyecto de acuerdo a sus intereses.

4.6.5 Marco Operativo.

En la siguiente figura se encuentra las estrategias generales, las tareas, responsables y tiempo estimado para el desarrollo de las tareas que permitan involucrar a los actores sociales Alfa y Omega identificados y por medio del cual se han parte activa dentro del proceso de aprovechamiento de los recursos hídricos en la Microcuenca del Río Pomacocho, la asignación de recursos y la reasignación de tareas dependerá exclusivamente de la UNACH.



FIN

Figura 4.2. Plan de Acción para los Actores Alfa y Omega identificados en la Microcuenca del Río Pomacocho

Elaborado por: Autores

CAPITULO V

ANALISIS MULTITEMPORAL

5.1 Análisis de Cobertura Vegetal

Para el estudio de cobertura vegetal se realizará el análisis de tres periodos distintos, a través de la clasificación supervisada de las imágenes a usar para lograr este objetivo el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) proporcionó información sobre el área referente a tipo de Cobertura y Uso del Suelo, información que será una base conjuntamente con los puntos observados en campo para la clasificación supervisada a realizar.

5.1.1 Selección de Imágenes Satelitales.

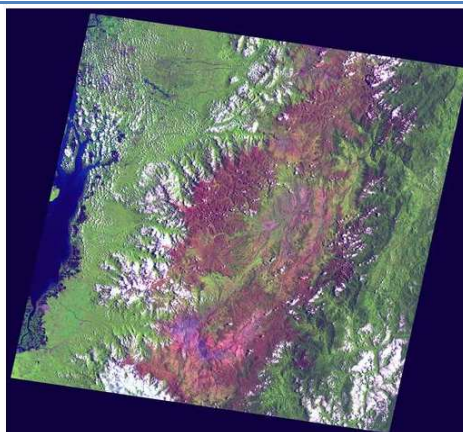
Las imágenes a usar para el análisis multitemporal de cobertura vegetal en la zona de estudio correspondiente a la microcuenca del río Pomacocho son las mismas que fueron elegidas para el estudio realizado en las microcuencas aledañas de los Ríos Saucay, Juval y Manzano; puesto que se requiere la información para las mismas épocas dentro del proyecto “ Propuesta técnica de manejo de subcuencas hídricas y caracterización territorial ambiental, considerando el paisaje cultural andino y desarrollo socioeconómico de la parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo”, las cuales se especifican en la tabla 19.

Tabla 19. Imágenes a usar para el análisis multitemporal

Imagen a Utilizarse	Año	Obtención	Área aproximada de nubes en el área
Landsat 5 TM	1987	Gratuitamente en la página de la USGS	3%
Landsat 7 ETM+	2001	Gratuitamente en la página de la USGS	1%
Terra Aster	2007	Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN)	5%

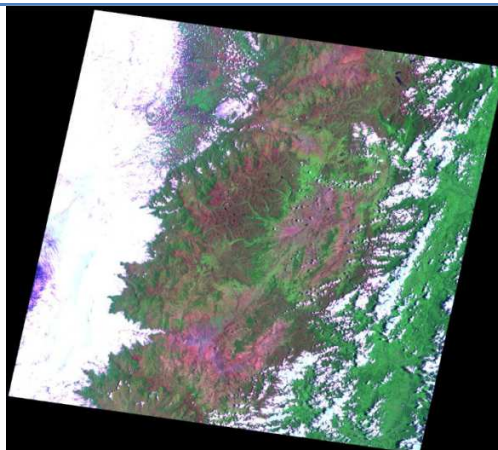
Elaborado por: Autores, 2013.

En la tabla 20, 21, 22 se especifican sus respectivos metadatos.

Tabla 20. Características de la imagen Landsat 5 TM, metadatos.

Satélite/Sensor	Landsat 5 TM
Obtención	http://glovis.usgs.gov/
Path, Row	10,62
Área de Mapeo	185 X 185 Km
Fecha Adquisición	26/03/1987
Resolución espacial B1, B2, B3	30 m
Resolución espacial B4, B5, B6, B7, B8, B9	120m

Fuente: (University of Maryland, 2013)

Tabla 21. Características de la imagen Landsat 7 ETM+, metadatos

Satélite/Sensor	Landsat 7 ETM+
Obtención	http://glovis.usgs.gov/
Path, Row	10,62
Área de Mapeo	185 X 185 Km
Fecha Adquisición	2/10/2001
Resolución espacial B1, B2, B3, B4, B5, B7	30 m
Resolución espacial B6	60 m
Resolución espacial B8	15 m

Fuente:(University of Maryland, 2013)

Cabe destacar que los archivos bajados se encuentran en extensión jpg, met y tif correspondientes a las vistas preliminares, metadatos y bandas comprimidas respectiva

Tabla 22. Características de la imagen Terra Aster, metadatos

Satélite/Sensor	Terra Aster
Obtención	CLIRSEN
Path, Row	10, 61
Área de Mapeo	60 X 60 Km
Fecha Adquisición	21/02/2007
Resolución espacial B1, B2, B3	15 m
Resolución espacial B4, B5, B6, B7, B8, B9	30 m
Resolución espacial B10, B11, B12, B13, B14	90m

Fuente: (CLIRSEN, 2012)

5.1.2 Preprocesamiento de Imágenes Satelitales.

Una vez obtenidas las imágenes con las cuales se va a trabajar es importante conocer el número de bandas que posee así como su información básica referente a la resolución radiométrica, temporal y espacial. Un punto importante que se debe revisar al obtener las imágenes es su metadato ya que este posee información relevante para la corrección atmosférica.

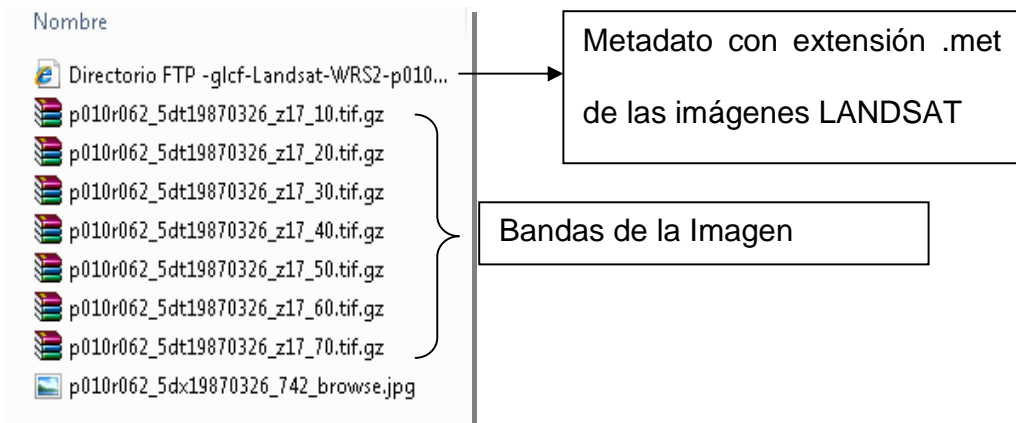


Figura 26. Obtención y extracción de las bandas de Landsat 5 TM.
Elaborado por: Autores, 2013

5.1.2.1 Unión de Bandas.

Para realizar el procesamiento de las imágenes es importante que todas las bandas que se encuentran en formato tiff sean unificadas en una sola imagen para esto vamos a utilizar el software Erdas- Interpreter- Utilities Layer stick.

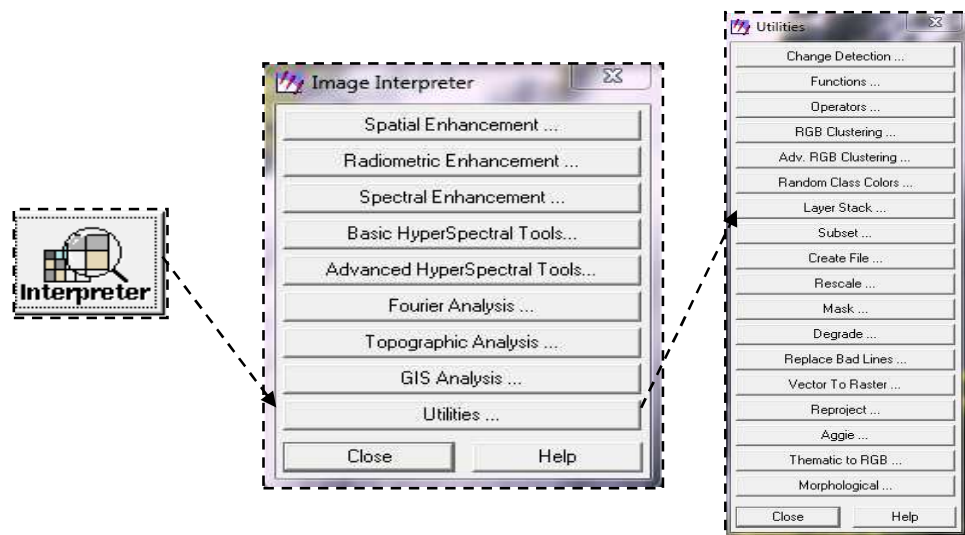


Figura 27. Herramientas usadas para la unión de Bandas.
Elaborado por: Autores, 2013.

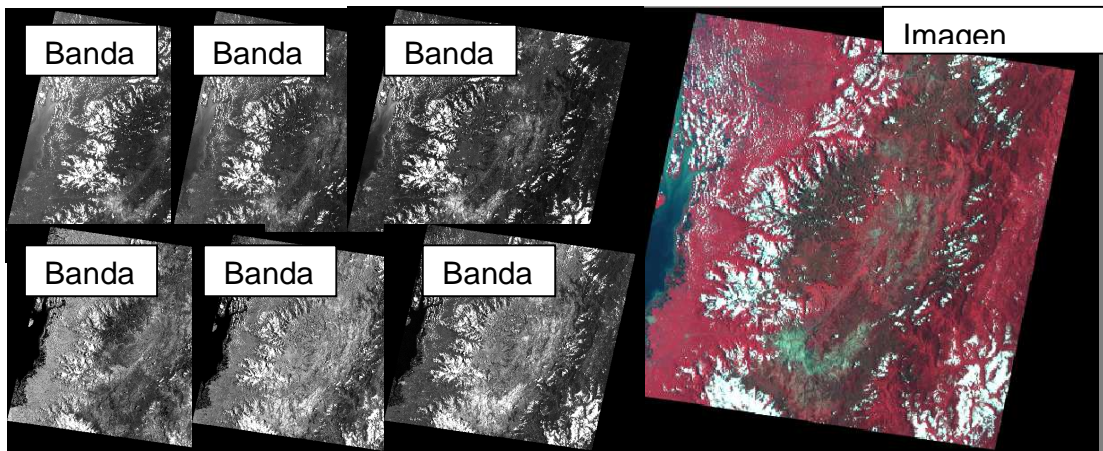


Figura 28. Unión de bandas de la imagen Landsat 5 TM de 1987.
Elaborado por: Autores, 2013.

5.1.2.2 Sinergismo.

El sinergismo es la función que nos permite fusionar imágenes de distintas resolución obteniendo una nueva imagen con la mejor resolución de las imágenes utilizadas.

En este caso se fusiono la imagen de Landsat 7 obtenida de la unión de las bandas 1, 2, 3, 4, 5,7 la cual posee una resolución espacial de 30 m con la imagen de Landsat 7 correspondiente a la banda 8 con una resolución espacial de 15 m obteniendo así una nueva imagen con una mejor resolución es decir la de la banda 8 como se muestra en la figura 29.

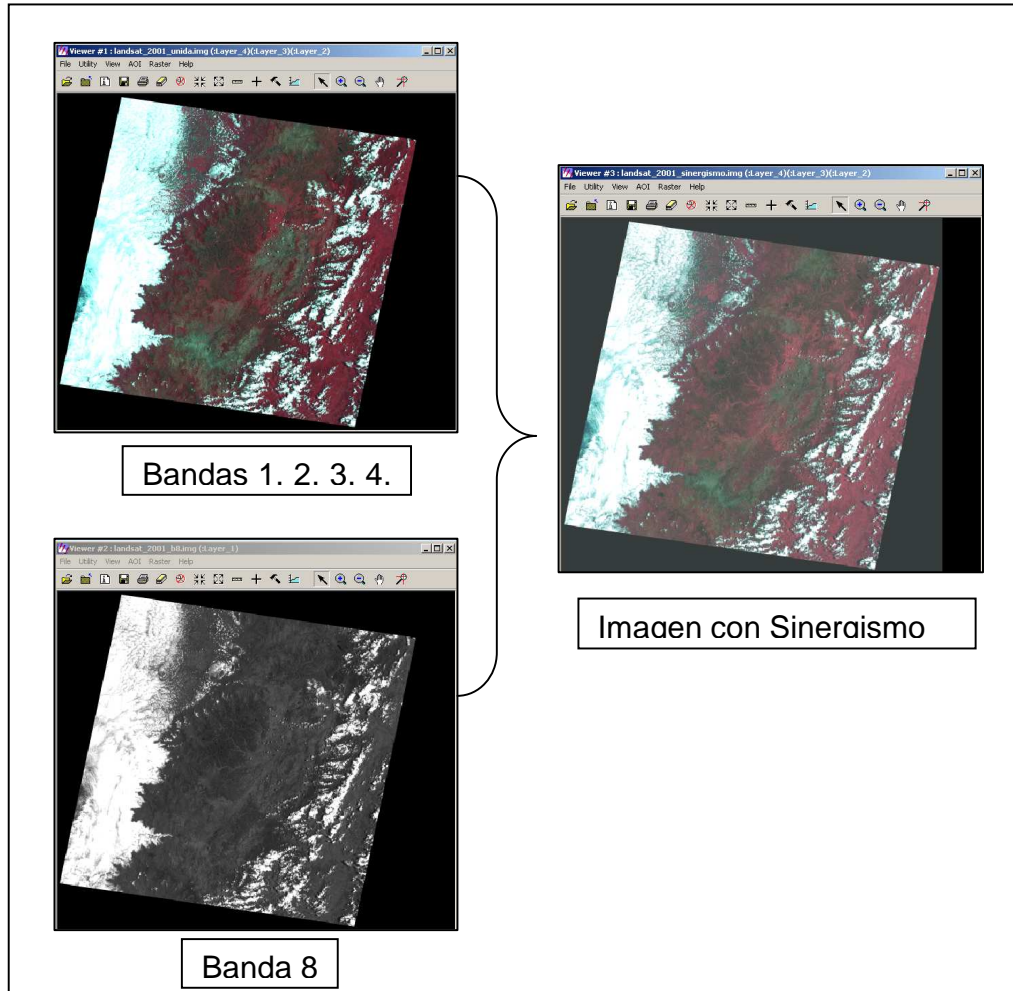


Figura 29. Imagen Landsat 7 con Sinergismo.
Elaborado por: Autores, 2013.

En la figura 30 se especifica las herramientas utilizadas para el sinergismo en el software ERDAS Imagine.

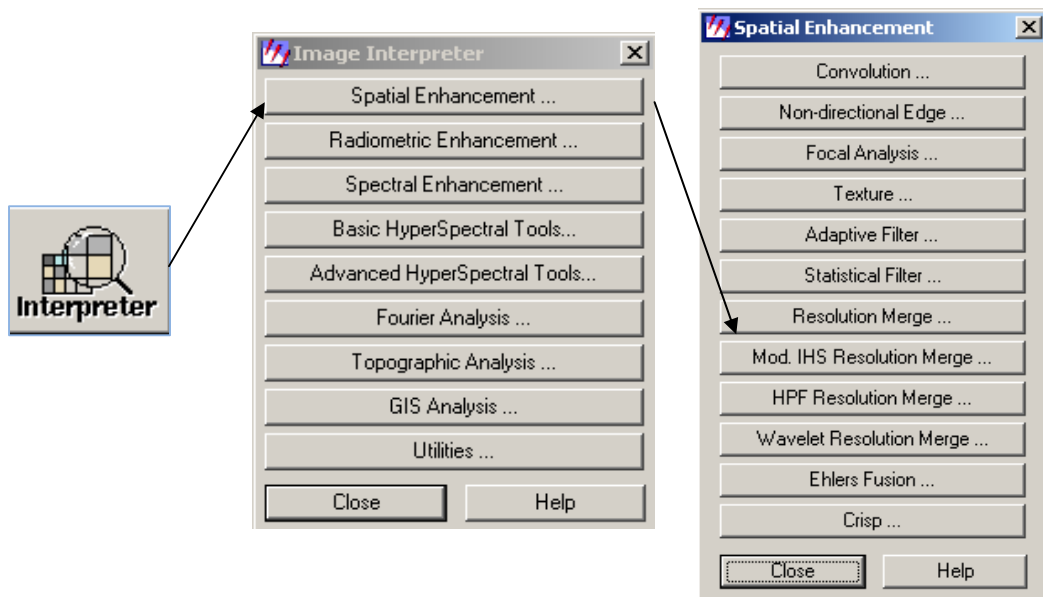


Figura 30. Imagen Landsat 7 con Sinergismo
Elaborado por: Autores, 2013.

5.1.2.3 Re proyección.

La cartografía base digital, imágenes satelitales y resultados obtenidos deben ser trabajadas en un mismo sistema de referencia con el fin de eliminar errores espaciales y obtener resultados más confiables. En el siguiente proyecto se va a trabajar en:

- Proyección: UTM, Zona 17 S
- Datum: WGS 84
- Unidad de medida: Metros

Para realizar la re proyección se uso el software Idrisi Selva debido a que las imágenes que tenemos se encuentran en WGS 84 Zona 17 Norte; por lo tanto vamos a cambiar a la zona 17 S que corresponde a la zona de estudio como se indica en la figura 31.

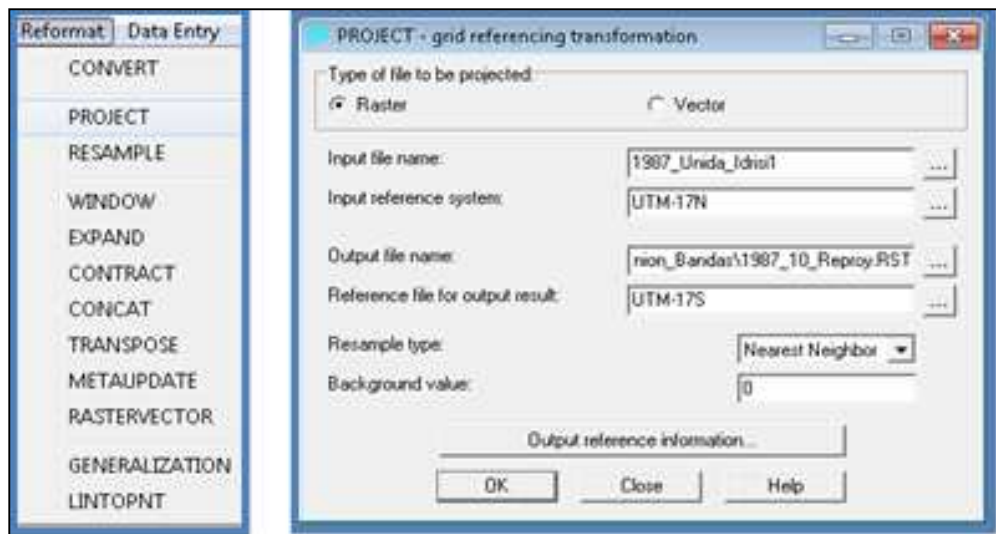


Figura 31. Herramientas para la re proyección de imágenes
Elaborado por: Autores, 2013.

5.1.2.4 Corrección de Imágenes.

Al efectuar una comparación multitemporal entre dos o más imágenes generalmente se compara el número digital pixel a pixel de las distintas fechas a utilizar; por lo tanto es importante realizar procesos previos al análisis multitemporal con el fin de eliminar cualquier anomalía de la imagen que puede ser en su localización es decir su georeferenciación o en la radiometría de sus pixeles con este preprocesamiento de las imágenes se logrará detectar los cambios reales en la cubierta y disminuir los errores de omisión y comisión.

Además se debe tomar en cuenta que existen otro tipo de problemas que por más insignificantes que parezcan producen una gran diferencia en el momento de realizar la comparación entre dos o más imágenes; por ejemplo si existe una cubierta de nubes en la imagen 1 que no se encuentre en la imagen

2 el software lo estimara como cambio en la cobertura, otro de los problemas frecuentes es tener imágenes de distintas épocas estacionarias como puede ser que la imagen 1 fue captada en una época seca y la imagen 2 fue captada en una época lluviosa de igual manera se detectara un cambio que no es representativo en términos de cambio de cobertura en un período de tiempo largo. Es por este motivo que se debe tratar que las imágenes a usar tengan el menor porcentaje de nubes en el área de estudio y que sea de la misma época del año, además de su georeferenciación y ajuste radiométrico.

- Corrección Atmosférica y Radiométrica.

Para hacer un análisis multitemporal de cobertura vegetal es importante corregir los errores debidos a la atmosfera, ya que este tipo de errores ocasionan la pérdida de información tanto en el espectro visible como en el infrarrojo y dado el estudio que se va a realizar es imprescindible tener la mejor calidad en los datos.

La respuesta radiométrica que llega el sensor del satélite desde la superficie se modifica en consecuencia de su paso por la atmósfera. Uno de los efectos más importantes de la atmósfera en espectro visible e infrarrojo cercano es por motivos de la dispersión ocasionada por las moléculas de gases (Dispersión de Rayleigh) que afecta más a las longitudes de onda corta como el azul que a las longitudes más largas como infrarrojo medio. Otro de los efectos atmosféricos es debido a la presencia de partículas de aproximadamente el mismo tamaño que las longitudes de onda como son los aerosoles pero estos son más

esporádicos y se presentan en días de atmosferas poco nítidas. “ROJAS, Santiago, Evaluación de metodologías para el procesamiento de imágenes satelitales para identificación de cambio de uso de suelo”

Además es fundamental homogenizar los niveles digitales de cada pixel para esto existen varios modelos que trasforman a valores de radiancia a reflectividad o parámetros físicos; ya que para la detección de cambios de cobertura vegetal esta transformación es de mucha importancia, especialmente cuando se va usar imágenes de distinta época y de distinto sensor; de esta manera se logrará identificar el mismo objeto en las distintitas épocas analizadas y se evitará errores de omisión y comisión.

Los valores de reflectividad van en un rango de 0 a 1 mientras que las imágenes crudas tienen un rango de 0 a 255. En conclusión la homogenización de estos valores tiene como objetivo principal asignar valores digitales a un mismo rango espectral por lo que se remueve el efecto producido por el ángulo solar.

Esta corrección se lo realizó en el software Idrisi Selva a través del módulo ATMOSC; con la ayuda de los metadatos (header) del sensor ingresamos los datos solicitados y obtenemos la imagen corregida atmosféricamente y transformada a valores de reflectividad. (En el Anexo D.1 se encontrara los valores ingresados para cada una de las imágenes a utilizar)

El módulo ATMOSC requiere que se ingrese la fecha y hora de la adquisición de la imagen, longitud de onda media de la banda a corregir, el

valor del pixel de un cuerpo que debería tener una reflectancia de cero, cada una de las bandas de la imagen a corregir, offset y gain correspondiente a la ganancia y sesgo de cada banda o también el valor de Lmin y Lmax (estos valores tienen que estar en las siguientes unidades mw.um/srad.cm^2 y se los encuentra especificados en el metadato de la imagen), ángulo de visión del satélite y ángulo de elevación del sol. En la figura 32 se muestra los datos ingresados de la imagen Landsat 5 de 1987.

Atmospheric correction model:		Radiance calibration option:	
<input type="radio"/>	Apparent reflectance model	<input type="radio"/>	Lmin/Lmax
<input type="radio"/>	Dark object subtraction	<input checked="" type="radio"/>	Offset/Gain
<input checked="" type="radio"/>	Cos(t) model	Offset:	-0.152
<input type="radio"/>	Full model	Gain:	.06024314
Year (yyyy):	1987	Month (mm):	03
Day (dd):	26	Dn max:	255
GMT (hh.h):	14.82	Satellite viewing angle (0 = vertical):	0.0
Wavelength of band center (microns):	0.485	Spectral solar irradiance (E ₀):	135.1
Dn haze:	53	Sun elevation (0 = at horizon):	52.4
Optical thickness:		Spectral diffuse sky irradiance:	0.0
Input image:	LANDSAT_19871	Output image:	D:\Maritza\Tesis\Análisis_

Figura 32. Datos en el Módulo ATMOSC, Imagen Landsat 1987, B1.
Elaborado por: Autores, 2013.

El módulo de ATMOSC dispone de cuatro modelos para realizar la corrección atmosférica y la transformación de radianza a reflectancia estos son: sustracción del objeto oscuro, Cost (Modelo de Chávez), un modelo completo

de ecuación de transferencia radiativa (FULL), y un modelo de reflectancia aparente (ARM). En cada uno de estos modelos, la entrada consiste en ingresar cada banda de la imagen y un conjunto de parámetros de condición atmosférica y de visualización, la salida es una imagen de reflectancia, expresados en formato de número real como un valor de 0,0 a 1,0.

- Substracción del objeto oscuro

Compensa las variaciones en la radiación solar según la época del año y el ángulo de elevación solar. Para ello, se requiere la misma estimación de la bruma (D_n) (por ejemplo en lagos), la fecha y hora de adquisición de la imagen, la longitud de onda central de la banda utilizada, la elevación del sol, y los parámetros de conversión de radiancia.

- Modelo Cost

El modelo Cost fue desarrollado por Chávez (1996) se basa en el principio del modelo sustracción del objeto oscuro pero además incorpora el procedimiento para estimar los efectos de la absorción por los gases atmosféricos y la dispersión de Rayleigh. No requiere de parámetros adicionales del modelo de sustracción del objeto oscuro. La ecuación desarrollada por Chávez (1996) es la siguiente

$$\rho_k = \frac{K\pi((L_{sen,k} - L_{a,k}) / \tau_{k,o})}{E_{o,k} \cos \theta_i \tau_{k,i} + E_{d,k}}$$

Donde:

p_k = es la reflectividad para la banda k

K = es un factor que tiene en cuenta la variación de la distancia Tierra-Sol, y se calcula a partir del día juliano (D) siguiendo la siguiente fórmula:

$$K = (1 + 0,0167 (\text{sen } (2\pi (D - 93,5) / 365)))^2$$

L_{sen} = es la radiancia en el sensor para esa banda;

L_{ak} = la radiancia atmosférica para esa banda;

$T_{k,o}$ = de transmisividad ascendente;

$E_{0,i}$ = es la irradiancia solar en el techo de la atmósfera;

θ_i = el ángulo cenital solar;

$\tau_{k,i}$ = la transmisividad para el flujo descendente, y

$E_{d,k}$ = la irradiancia difusa.

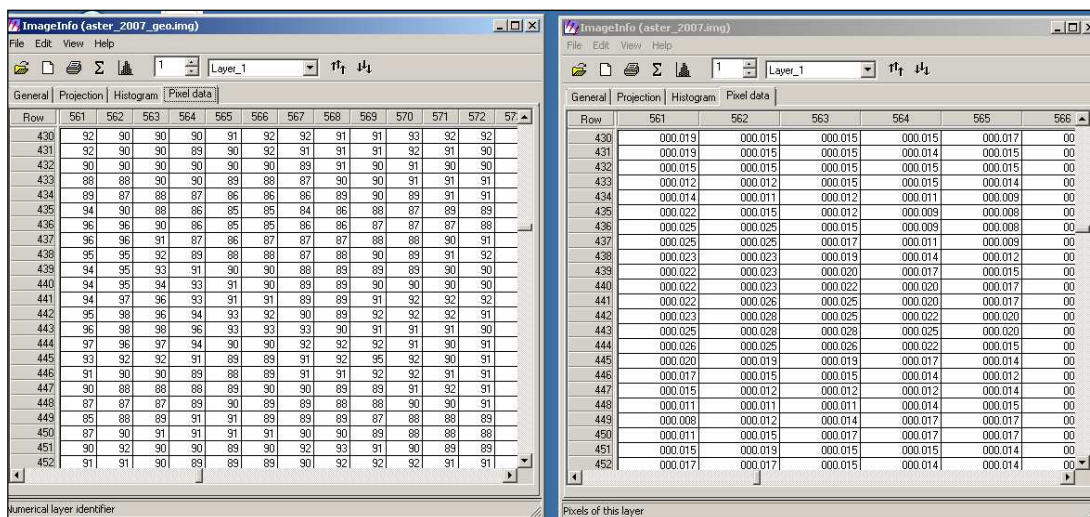
- Modelo de corrección completa

El modelo completo es el más exigente en términos de requisitos de datos; además de los parámetros necesarios para la sustracción del objeto oscuro y modelos cost, se requiere una estimación de diversos parámetros de la atmósfera que pueden afectar a la reflexión objeto satélite y la irradiancia espectral difusa.

- Modelo de reflectancia aparente

Raramente se utiliza ya que estima muy poco el efecto atmosférico sin embargo se lo puede usar como un medio de conversión en valores de reflectancia aproximados.

En la figura 33 se puede ver los valores de radianza y reflectancia efectuados en el software Idrisi Selva para la imagen Aster 2007



Número Digital de las bandas en crudo

Valores transformados a Reflectancia

Figura 33. Valores de radianza y reflectancia imagen ASTER 2007.
Elaborado por: Autores, 2013.

- Corrección Geométrica

Para realizar el análisis multitemporal con imágenes de distintas fechas es importante que tengan un gran ajuste en cuanto a su geometría es decir su posición; con esto se evitará los errores de omisión y comisión. La información captada por el sensor puede tener error de tipo sistemático y no sistemático.

Los de tipo sistemático son causados por la rotación de la tierra y la velocidad del sensor y pueden ser corregidos con información proveniente del sensor mientras que los no sistemáticos son efecto de la altitud y posición del sensor y para su corrección se necesita un número determinado de puntos de control.

El principio de la corrección geométrica es el de cambiar la posición del pixel es decir sus coordenadas pero no modifica su número digital.

Para hacer la corrección geométrica lo podemos hacer en base a otra imagen georeferenciada, a la cartografía de la zona o en campo a través de la toma de puntos de control; es importante que los puntos de control sean puntos que no tengan un dinamismo temporal, estos pueden ser cruces de camino, desembocaduras de ríos, infraestructura o cualquier otro objeto que no sea muy dinámico.

La calidad de la georeferenciación va a depender de la rigidez con la que se coloque estos puntos y de la ecuación de transformación a utilizar ya que esta nos indica el mínimo de puntos a ubicar; sin embargo es importante superar este mínimo y que los puntos se encuentren bien distribuidos alrededor de la imagen para obtener un buen resultado.

Generalmente se emplea transformaciones de tipo lineal o polinomio de grado uno; pero también se puede usar de tipo cuadrática o polinomio de grado dos; o de tipo cúbica o polinomio de grado tres. A continuación se especifica la ecuación usada para cada uno de estos casos.

$$\text{Transformación Lineal} \Rightarrow \begin{aligned} X &= A_c + B_f + C \\ Y &= D_c + E_f + F \end{aligned}$$

$$\text{Transformación Cuadrática} \Rightarrow \begin{aligned} X &= A_c + B_f + C_c^2 + D_f^2 + E_{cf} + F \\ Y &= G_c + H_f + I_c^2 + J_c^2 + K_{cf} + L \end{aligned}$$

Finalmente la transformación cúbica incluye ecuaciones del mismo tipo que la lineal y la cuadrática pero con factores elevados al cubo.

Para la georeferenciación de la imagen se procedió a utilizar un modelo polinomial de segundo orden tomando en cuenta que el número de puntos de control de acuerdo a la ecuación a utilizar debe ser mayor al número de parámetros a calcular; esto quiere decir que para una ecuación de primer orden se necesita como mínimo 6 puntos de control, para una de segundo orden 12, y para una de tercer orden 24; además de los puntos de control ubicados en campo se usa la cartografía de la zona como base.

Los puntos de control en campo fueron tomados en base a un GPS navegador ya que de acuerdo a las especificaciones técnicas del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) la precisión horizontal y vertical para una escala de 1:50000 que es el producto que se va a obtener de la cobertura vegetal son las siguientes:

- Precisión Horizontal: 0.3 mm por la escala gráfica

$$PH = 0.0003 \text{ m} \times 50.000$$

$$PH = 15 \text{ m.}$$

- Precisión Vertical: 1/4 del valor del intervalo de curva de nivel principal para escala 1:50.000.

$$PV = \frac{1}{4} * (40 \text{ m})$$

$$PV = 10 \text{ m.}$$

Por lo tanto un GPS navegador cumple con estas especificaciones y exigencias del objetivo.

En las figuras 34 se puede observar la ubicación de los puntos de control para la georeferenciación de la imagen ASTER 2007 y su error medio cuadrático.

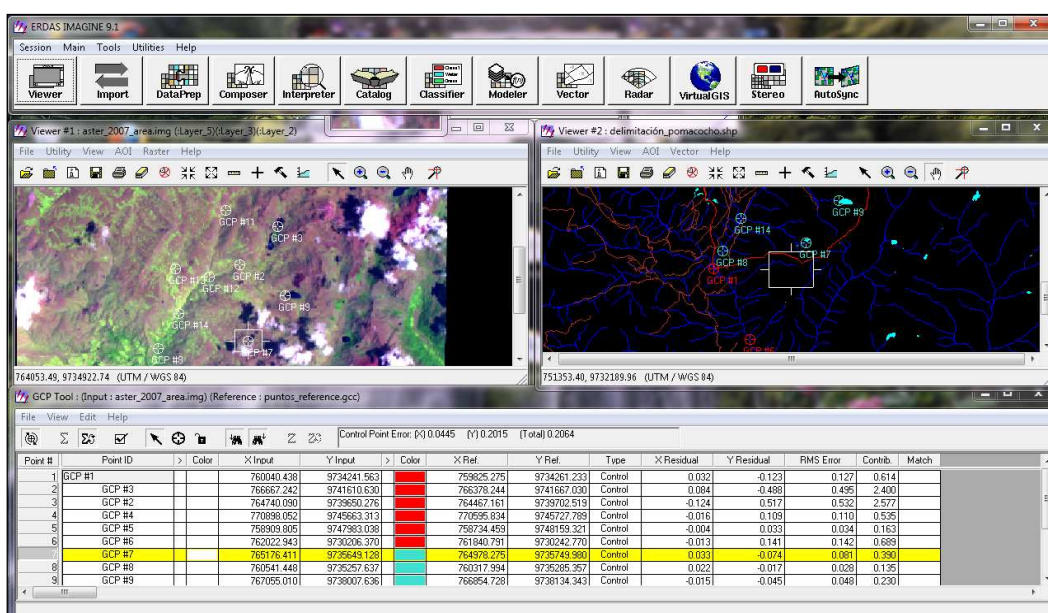


Figura 34. Puntos de control para la imagen Aster 2007.
Elaborado por: Autores, 2013.

Se debe tomar en cuenta el valor del error medio cuadrático (ECM) que se obtuvo luego de ubicar los puntos de control, en este caso se ubicó 25 puntos es decir se superó el mínimo de 12 con el fin de obtener mejores resultados y disminuir su ECM.

El ECM expresa la distancia existente en el sistema de unidades origen (píxeles), es decir que un error ECM de 3 significa que el píxel de referencia está tres píxeles alejado del transformado además es utilizado para saber si hay

que ampliar el número de puntos de control; la ecuación del ECM es la siguiente y el resultado de esta debe ser menor al tamaño del pixel.

$$ECM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X' - X)^2 + (Y' - Y)^2}{n}}$$

Donde:

X', Y' = Coordenadas estimadas.

X, Y = Coordenadas reales.

n = número de puntos de control

En la figura 35 podemos observar el error medio cuadrático que se obtuvo de la georeferenciación de la imagen ASTER 2007 y este fue de 0.1752 por lo que es un error muy aceptable para su transformación.

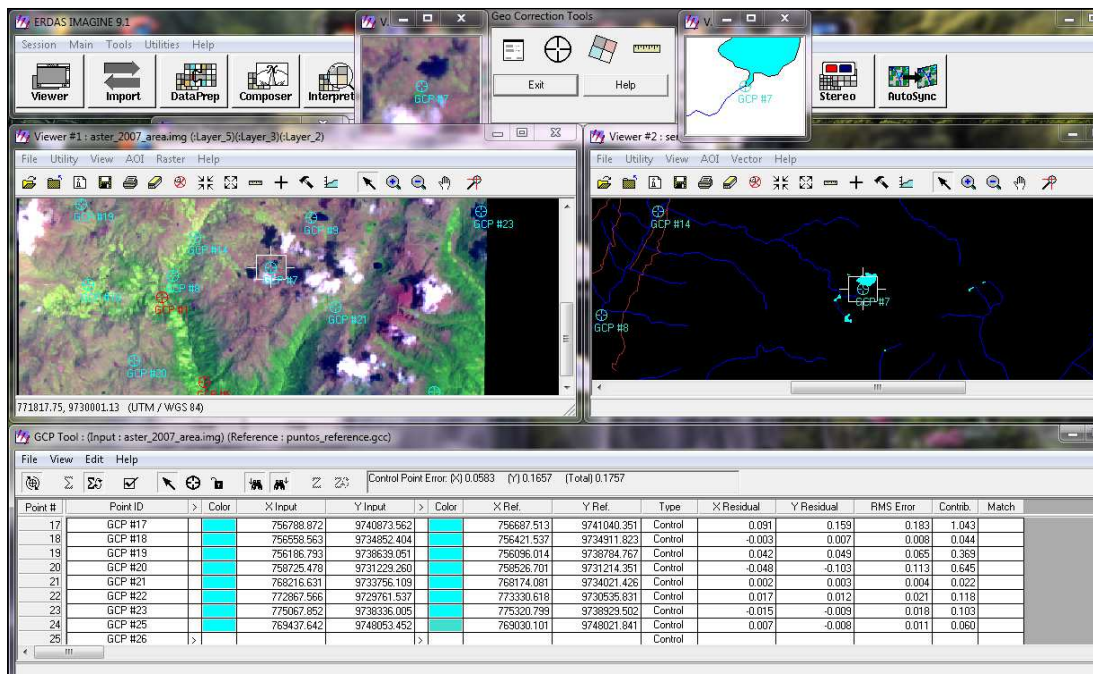


Figura 35. Error medio cuadrático, georeferenciación de la imagen ASTER 2007.

Fuente: ERDAS IMAGINE 9.1

5.1.3 Clasificación digital de Imágenes.

En este proceso los píxeles de cada imagen son asignados a una categoría específica según su intensidad radiométrica o firma espectral; el principio se basa en la homogeneidad es decir en encontrar características comunes entre los números digitales de los píxeles.

La clasificación digital consta de las siguientes fases:

- Fase de entrenamiento: Esta es la fase de definición digital de las categorías a usar en la clasificación. Los conocimientos del área de estudio así como los mapas temáticos que nos ayudan en la designación de las clases están dentro de esta fase de entrenamiento.
- Fase de asignación: En esta fase se agrupa los píxeles en cada una de las categorías escogidas en la fase de entrenamiento
- Comprobación y verificación de los resultados: Una vez realizado la clasificación de la imagen es importante realizar su respectiva verificación en campo.

Para la imagen ASTER 2007 se procedió a realizar el reconocimiento de campo para la fase de asignación, además se uso el mapa de cobertura vegetal proporcionada por SIGTIERRA como base para el análisis y previa comprobación de los resultados.



Figura 36. Comprobación de campo

Fuente: Autores, 2013

En la tabla 23 se muestra las categorías utilizada para este análisis; esta leyenda fue normalizada a partir de la leyenda temática de cobertura vegetal para escala 1:50.000 creada por el Instituto Espacial Ecuatoriano (EXCLIRSEN) con la ayuda de SIGAGRO (ANEXO C2)

Tabla 23. Leyenda temática de cobertura vegetal a escala 1:50000

Cobertura		Descripción	Simbología
Cuerpos de Agua	Natural	Laguna	Ang
Vegetación Natural	Pajonales	Páramo de Pajonal	VPpj
	Arbustiva	Vegetación Arbustiva	VM
	Pasto Natural	Pasto de uso Pecuario	PN
Pastos	Pasto Cultivado	Pasto de uso Pecuario	PC
Vegetación Arborea	Bosque Intervenido	Bosque con intervención del ser humano	Bi

Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano.

5.1.3.1 Descripción de las coberturas existentes en la zona.

- **Cuerpo de agua:** Representan superficies naturales que conforman la red hidrográfica de una zona geográfica y está constituido por vertientes, lagunas, ojo de agua, etc.



Figura 37. Cuerpo de agua
Fuente: Autores, 2013.

- **Páramo:** Es una formación altoandina de vegetación herbácea, en el Ecuador se extiende entre los 3200 y 4500 m se caracteriza por tener bajas temperaturas y alta humedad; en donde predominan especies como *Stipa ichu*, acompañados por gramíneas secundarias que pertenecen a los géneros *Festuca*; estos pueden estar intercalado con pequeñas manchas de bosques y/o arbustos. Existen diferentes tipos de páramos como por ejemplo: Páramo de pajonal, Páramo de frailejones, Páramo herbáceo de almohadillas, Páramo herbáceo de pajonal y almohadillas, Páramo pantanoso, Páramo seco, Páramo sobre arenales, Páramo arbustivo del sur, Superpáramo y Superpáramo azonal (Mena y Medina 2001).



Figura 38. Páramo
Fuente: Autores, 2013.

- Vegetación Arbustiva: Es una vegetación de matorral o chaparro densa, cuya composición florística no supera los 10 m de altura y la dimensión del grosor del tallo no es mayor a los 15 cm, estos se aprecian como característica fundamental entre la transición de bosques y páramos, es típico de los sistemas hidrográficos que se encuentran en relieves fuertes.



Figura 39. Vegetación Arbustiva
Fuente: Autores, 2013.

- **Pasto Natural:** Este tipo de cobertura, se desarrollan en climas húmedos y en suelos abruptos o sobre cangahua, corresponde a formaciones herbáceas de origen natural producto de la degeneración de los bosques naturales; paulatinamente se han ido constituyendo por especies de gramíneas donde su crecimiento es espontáneo, y los cuales no han recibido ningún tipo de tratamiento en su crecimiento, son designadas principalmente para la alimentación de animales.



Figura 40. Pasto Natural
Fuente: Autores, 2013.

- **Pasto Cultivado:** Este tipo de vegetación se encuentran sobre suelos volcánicos, están constituidas por especies herbáceas introducidas por el hombre; se utilizan con fines agropecuarios, requiriendo para su establecimiento y conservación labores de cultivo y manejo, lo cual facilite la regeneración de las especies introducidas, dentro de esta categoría encontramos especies de leguminosas y gramíneas; crecen en áreas sobre los 2800 y con la ayuda de riego proporcionan buenos pastos, en donde sus tallos pueden formar espesas cobertura que protejan bien al suelo y soporten el tránsito intenso del ganado teniendo

una muy alta capacidad para recuperarse en caso de deterioro, por lo que evitan el establecimiento de malezas, pero estos a su vez pueden ser muy agresivo para los cultivos o los pastizales de otras especies.



Figura 41. Pasto Cultivado
Fuente: Autores, 2013

- Vegetación Arbórea: Dentro de esa categoría se encuentra los bosques Intervenidos que mantiene remanentes de vegetación arbustiva, por la presencia antrópica a causa de la explotación de las principales especies madereras de la zona y al aumento de las actividades agropecuarias, debido a la quema y el incremento de pastos.



Figura 42. Vegetación Arbórea
Fuente: Autores, 2013

5.1.3.2 Metodología para la clasificación de las Imágenes Satelitales.

Una vez definidas las coberturas que se va usar se procedió a realizar una clasificación supervisada, una de las principales ventajas de este método es que permite una mayor intervención del operador a través de la identificación de un grupo de píxeles que representan una clase en el terreno; como se mencionó anteriormente esta caracterización se puede basar en información obtenida en otras fuentes o mediante el reconocimiento de campo; cuando ya se tiene todas las muestras de las clases a usar el programa asigna los píxeles con características similares a cada una de estas categorías.

Es importante la combinación de bandas para la detección de las distintas coberturas; para el análisis de cobertura vegetal según varios autores lo más recomendable es usar las bandas correspondientes al infrarrojo cercano y medio así como el espacio del espectro perteneciente al visible, con este principio para el caso de las imágenes Landsat la mejor combinación para la detección de cobertura vegetal es 4, 5, 3 respectivamente para RGB, y para la imagen Aster la combinación 3, 5, 2.

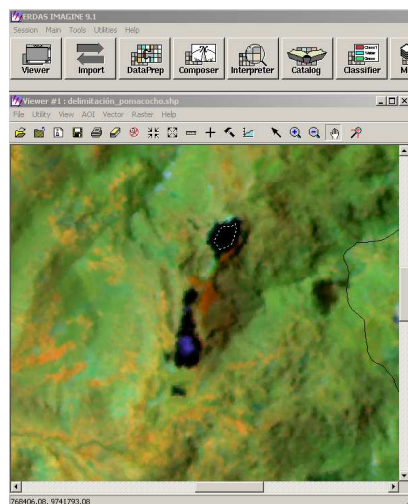
En la tabla 24 se puede visualizar la descripción del uso para cada banda de una imagen Landsat TM pudiendo ser estas generalizadas para otros sensores.

Tabla 24. Uso para cada banda de una imagen Landsat TM

Banda Espectral	Longitud de Onda	Descripción de las bandas del sensor Landsat TM
1	0.45 – 0.52 (Azul)	Tiene una máxima penetración en el agua, se usa para elaborar mapas de batimetría, adicionalmente se puede distinguir suelos de vegetación y vegetación decidua de coníferas
2	0.52 – 0.60 (Verde)	Alcanza una máxima reflectancia del verde en la vegetación, se puede valorar el vigor de la vegetación. No debe usarse solo esta banda porque tiene bajo contraste y es sensible a las nubes
3	0.63 – 0.69 (Rojo)	Absorbe la clorofila, se puede diferenciar los tipos de vegetación; indica de mejor manera la vegetación no arbórea en los bosques, no es recomendable para mostrar áreas quemadas, contrastes entre agua y vegetación decidua de coníferas.
4	0.76 – 0.90 (Infrarojo)	Se usa para determinar el contenido de biomasa y para determinar las líneas costeras; da un mayor contraste entre la vegetación decidua de coníferas, cuerpos de agua, áreas quemadas. Es menos efectiva que la banda TM3 para caminos, otros tipos de vegetación no arbórea.
5	1.55 – 1.75 (Infrarojo Medio)	Indica el contenido de humedad del suelo y la vegetación, es útil para apreciar caminos, claros, áreas quemadas, agua y presenta un buen contraste en la vegetación decidua de coníferas; penetra en nubosidad, pero es menos efectiva que la banda 3 para caminos y claros
6	10.4 – 12.5 (Termal)	Tiene una resolución de 120m. Esta región corresponde a la radiación termal (calor) emitida por el mapeos térmicos y se usa para estimar la humedad del suelo.
7	2.08 – 2.35 (Infrarojo Lejano)	Útil para discriminar minerales, tipos de roca y contenido de humedad de la vegetación. Esta banda está presente en la parte visible del espectro pero tiene una mayor habilidad para la penetración de la nubosidad que la banda 5. Es útil en combinación con la banda 4 para resaltar áreas quemadas.

Elaborado por: Autores, 2013

Una vez que se realizó la combinación de bandas se selecciona mediante la herramienta AOI las diferentes muestras de cobertura para la clasificación de cada una de las imágenes a usar en el proyecto.



Class #	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order
1	Cuencas de Agua	Blue	0.000	0.000	1.000	1	1
2	Parano	Green	0.000	0.292	0.000	2	2
3	Parano Cultivado	Yellow	1.000	0.642	0.000	3	3
4	Vegetación Adyuvante	Orange	0.627	0.322	0.176	4	4
5	Parano Natural	Red	1.000	0.843	0.000	5	5
6	Bosque Intervenido	Red	0.647	0.165	0.165	6	6

Figura 43. Cuencas visuales para la elaboración de las muestras de coberturas en el área de estudio.

Elaborado por: Autores, 2013.

Una vez seleccionadas las áreas de acuerdo a la tabla 5.5 correspondientes a la leyenda temática para este estudio es necesario realizar la evaluación de separabilidad de sus firmas, la misma que permite determinar que tan distintas son las firmas entre sí; mientras más unidas estén se trata de una cobertura

igual o muy similar, caso contrario si estas se encuentran separadas se puede hablar de coberturas distintas.

Esta evaluación se la puede hacer visualmente o mediante el cálculo de la distancia estadística entre firmas ya sea por el método de divergencia que evalúa el grado de separabilidad de los posibles pares de clases en un número constante de bandas, o el método de divergencia transformada sugerida por Jensen 2004, proporciona una reducción exponencial del peso conforme aumenta la distancia entre clases, presentando los valores de la divergencia en una escala que va del 0 al 2000; un valor de 2000 es indicativo de una excelente separación de firmas, arriba de 1900 es una buena separación y por debajo de 1700 es una pobre separación. “Bedón Fernando, Pinto Santiago, Evaluación de técnicas de detección de cambios del uso de la tierra a través del análisis multitemporal de imágenes satelitales en el cantón Daule”

La evaluación de separabilidad por divergencia utiliza la siguiente ecuación:

$$D_{ij} = \frac{1}{2} \text{tr} [(C_i - C_j) (C_i - C_j)^T] + \frac{1}{2} \text{tr} [(C_i - C_j) (m_i - m_j) (m_i - m_j)^T]$$

Y para divergencia transformada:

$$T_{dij} = 2 [1 - \exp (- D_{ij} / 8)]$$

Donde:

i, j = Medidas de las firmas que se están comparando

C_i = Matriz de covarianza de la firma i

m_i = Vector de medias de la firma i

m_j = Vector de medias de la firma j

tr = traza de los elementos de la diagonal de la matriz indicada

T = Matriz transpuesta

En la figura 44 se puede observar la separabilidad de las firmas de la imagen Landsat 1987 con su respectiva evaluación de divergencia transformada en donde se aprecia que los valores están dentro del rango de 1700 a 2000 lo cual indica una buena separabilidad entre las clases escogidas.

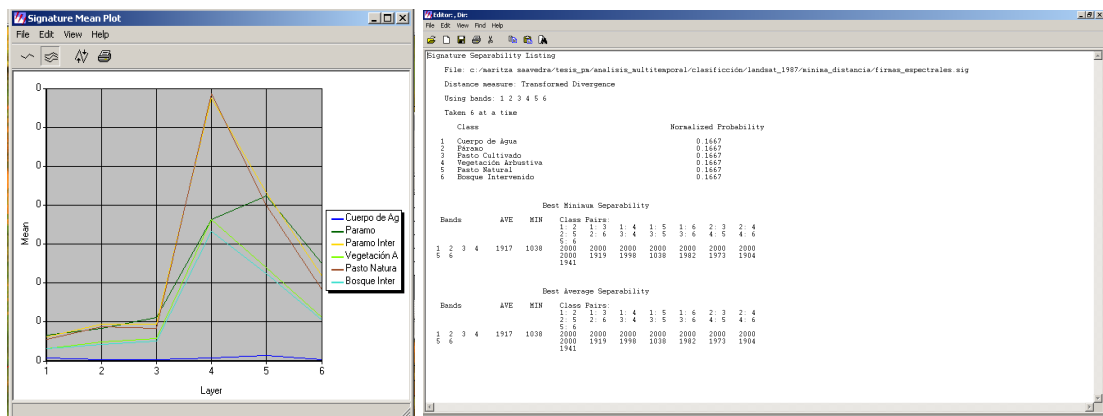


Figura 44. Evaluación de separabilidad de firmas.
Elaborado por: Autores, 2013.

Posteriormente se le especifica al programa que método de clasificación supervisada se va a utilizar; luego de varias pruebas con los distintos métodos que ofrece Erdas Imagen se decidió en el método del paralelepípedo con el algoritmo Mínima distancia.

- **Mínima Distancia:** Este algoritmo calcula la distancia espectral euclidiana es decir designa cada pixel a la categoría más cercana, basándose en el principio de la mínima distancia entre el pixel y el centroide de la clase para todas las bandas que intervienen en el análisis.

Puesto que en la clasificación supervisada el operador posee una gran capacidad de intervención con su conocimiento de la materia y del campo es importante que una vez clasificadas las imágenes se realice un proceso en el que se revise que no exista confusión de firmas espectrales en cuanto a objetos como nubes, bruma o sombras que no representen la realidad del terreno y esto se lo puede lograr a través de una recodificación manual y visual por parte de la persona encargada de la clasificación como se muestra en la figura 45.

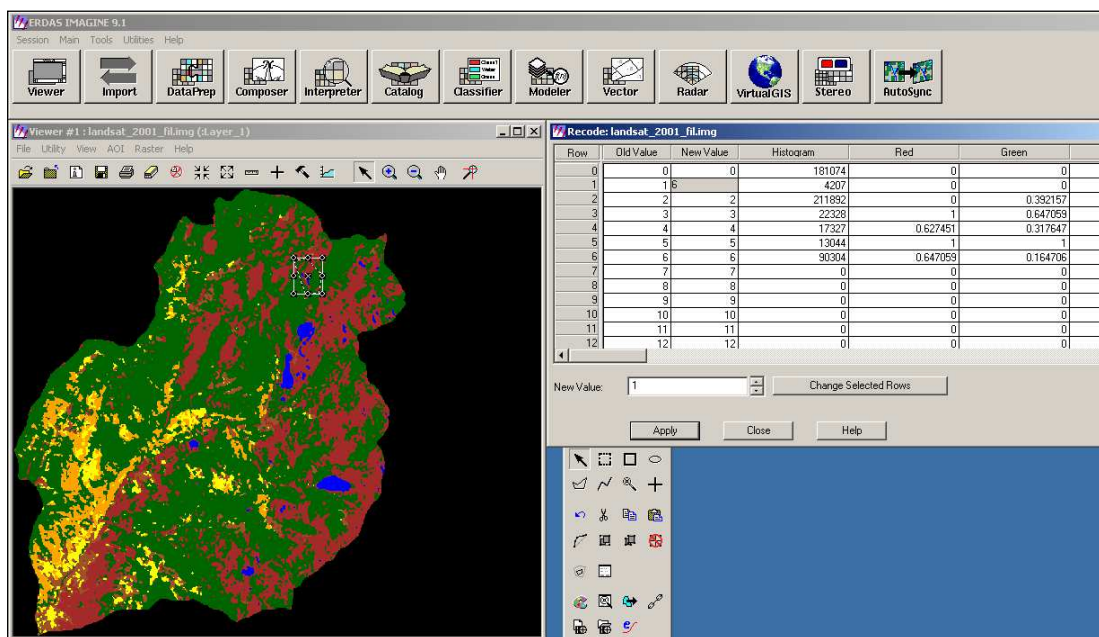
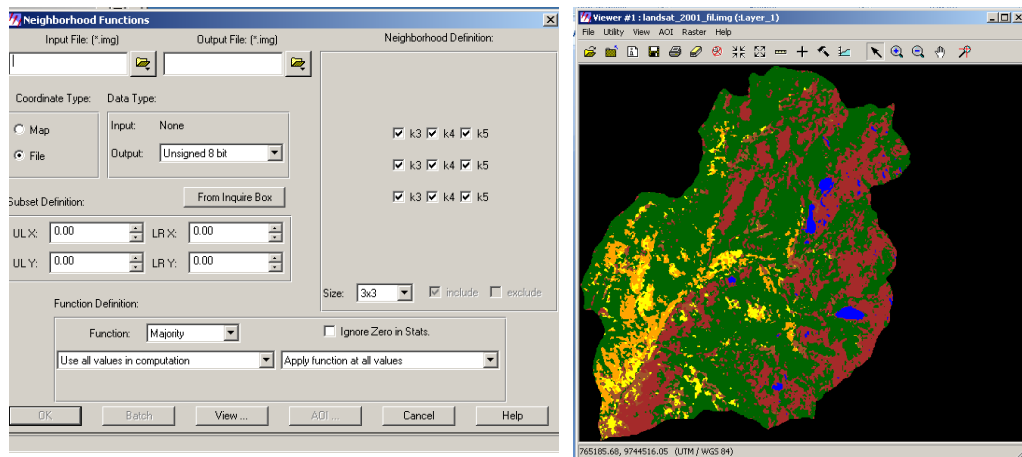


Figura 45. Procesamiento de Datos para Firmas Espectrales
Elaborado por: Autores, 2013.

Además es importante aplicar un filtro el cual elimine el efecto denominado sal y pimienta que en otras palabras son pixeles o áreas pequeñas dentro de una zona homogénea o área más grande lo que puede dificultar la interpretación de que cobertura realmente existe en el terreno, para solucionar este efecto se aplico el filtro denominado neighborhood con la opción majority (Funciones de vecindario), el mismo que posee el principio, que con la ayuda de una matriz kernell cada pixel es analizado con el pixel de su vecindario y su ubicación se determinará por el filtro que el usuario define, en este caso un kernell de 3 x3.



Herramienta de filtro neighborhood

Imagen filtrada

Figura 46. Filtro Neighborhood para la Detección de Cambios
Elaborado por: Autores, 2013.

Con la clasificación de imágenes satelitales se obtienen los siguientes resultados de cobertura vegetal.

- Cobertura Vegetal Año 1987.

Como se puede observar en el Anexo A.7 Mapa de Cobertura Vegetal para el Año 1987 y en la Tabla 25, el mayor porcentaje de cobertura vegetal es de páramo con 49.66%, seguido por vegetación arbórea con el 33.66%; pasto cultivado en un 8.53%; vegetación arbustiva 3.74%; pasto natural 2.26% y finalmente cuerpos de agua con el 2.15%.

Tabla 25. Cobertura Vegetal del año 1987.

Identificación	Cobertura	Área (Ha)	Porcentaje
1	Cuerpo de Agua	161.17	2.15
2	Páramo	3724.54	49.66
3	Pasto Cultivado	639.70	8.53
4	Vegetación Arbustiva	280.78	3.74
5	Pasto Natural	169.18	2.26
6	Vegetación Arbórea	2524.66	33.66
	Total	7500.00	100.00

Elaborado por: Autores, 2013.

- Cobertura Vegetal Año 2001.

Como se puede observar en el Anexo A.8 Mapa de Cobertura Vegetal para el Año 2001 y en la Tabla 26, el mayor porcentaje de cobertura vegetal corresponde a páramo con 57.83%, seguido por vegetación arbórea con el 24.91%; pasto cultivado en un 6.51%; vegetación arbustiva 5.15%; pasto natural 3.99% y finalmente cuerpos de agua con el 1.60%.

Tabla 26. Cobertura Vegetal del año 2001

Identificación	Cobertura	Área (Ha)	Porcentaje
1	Cuerpo de Agua	120.09	1.60
2	Páramo	4337.40	57.83
3	Pasto Cultivado	488.06	6.51
4	Vegetación Arbustiva	386.51	5.15
5	Pasto Natural	299.54	3.99
6	Vegetación Arbórea	1868.40	24.91
Total		7500.00	100.00

Elaborado por: Autores, 2013.

- Cobertura Vegetal Año 2007.

Como se puede observar en el Anexo A.9 Mapa de Cobertura Vegetal para el Año 2007 y en la Tabla 27, el mayor porcentaje de cobertura vegetal corresponde a páramo con 55.18%, seguido por vegetación arbórea con el 27.16%; pasto cultivado en un 10.50%; pasto natural 3.19%; vegetación arbustiva 2.35%; y finalmente cuerpos de agua con el 1.61%.

Tabla 27. Cobertura Vegetal del año 2007

Identificación	Cobertura	Área (Ha)	Porcentaje
1	Cuerpo de Agua	120.85	1.61
2	Páramo	4138.29	55.18
3	Pasto Cultivado	787.79	10.50
4	Vegetación Arbustiva	176.58	2.35
5	Pasto Natural	239.18	3.19
6	Vegetación Arbórea	2037.31	27.16
Total		7500.00	100.00

Elaborado por: Autores, 2013.

5.1.4. Detección de Cambios.

La detección de cambios se hizo para tres períodos: 1987-2001, 2001-2007, 1987-2007. Para realizar este objetivo primeramente se procedió a una reclasificación en el software Arcgis con el fin de que para cada imagen se tenga el mismo número de categorías y que cada uno de estos números tenga el mismo nombre en las tres imágenes. En la tabla 28 se expresa cada categoría con su número de identificación.

Tabla 28. Reclasificación de las imágenes

Identificación	Clases
0	Sin Cobertura
1	Cuerpo de Agua
2	Páramo
3	Pasto Cultivado
4	Vegetación Arbustiva
5	Pasto Natural
6	Bosque Intervenido

Elaborado por: Autores, 2013.

Posteriormente se procede con el álgebra de mapas, el mismo que permite cambiar los valores de las coberturas que intervienen en el análisis a través de operaciones matemáticas, y con esto se logra obtener una nueva cobertura con los fines requeridos; además con este método se puede tener todas las posibles combinaciones resultantes de la superposición de los años que intervienen para la detección de cambios.

Puesto que las imágenes reclasificadas tienen el mismo valor de identificación para cada una de las clases es importante realizar operaciones

matemáticas que permitan identificar los cambios respectivos de una a otra cobertura en los distintos años analizados.

Para esto se multiplica la imagen reclasificada perteneciente al primer año por un valor constante por ejemplo 100, de esta manera las clases se convertirán en 100, 200, 300, 400, 500 y 600 para la imagen 1; luego se suma la segunda imagen reclasificada y así se obtienen todas las posibles combinaciones. El siguiente ejemplo muestra lo anterior mencionado

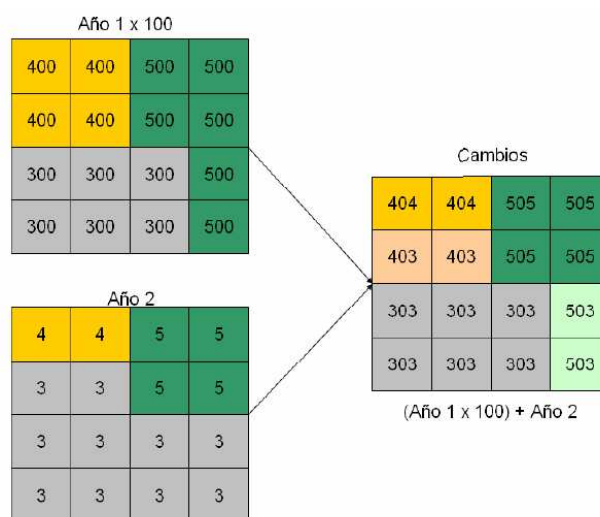


Figura 47. Clasificaciones de (año 1 y año 2) y la combinación de ambos raster en un nuevo mapa llamado CAMBIOS.

Fuente: (Beard, 2008)

El mapa de cambio tendrá estos valores; si la imagen 1 tiene un valor de 2 y la imagen 2 un valor de 200, estas coberturas representan pasto, por lo tanto si el mapa de cambio tiene un valor de 202 quiere decir que no hubo ninguna transición de cobertura en esa área geográfica, tanto el año 1 como año 2 tuvieron la cobertura de páramo; caso contrario si el resultado en el mapa de

cambios es de 203, quiere decir que hubo un cambio de páramo del año 1 a pasto cultivado en el año 2; de esta manera se interpreta todos los pixeles de la nueva imagen obtenida. Los resultados de la detección de cambio se muestran a continuación.

- Cambio de 1987-2001

Tabla 29. Áreas con Cambios de cobertura vegetal de 1987-2001

Nro.	Descripción de Coberturas	Área (Ha)	Porcentaje
1	Cuerpo Agua - Páramo	13.03	0.17
2	Cuerpo de Agua-Vegetación Arbustiva	4.66	0.06
3	Cuerpo de Agua- Vegetación Arbórea	62.80	0.84
4	Páramo-Cuerpo de Agua	12.49	0.17
5	Páramo-Pasto Cultivado	161.80	2.16
6	Páramo-Vegetación Arbustiva	114.91	1.53
7	Páramo- Pasto Natural	78.37	1.04
8	Páramo-Vegetación Arbórea	299.50	3.99
9	Pasto Cultivado- Páramo	258.82	3.45
10	Pasto Cultivado-Vegetación Arbustiva	27.16	0.36
11	Pasto Cultivado- Pasto Natural	75.85	1.01
12	Pasto Cultivado-Vegetación Arbórea	9.52	0.13
13	Vegetación Arbustiva-Cuerpo de Agua	4.48	0.06
14	Vegetación Arbustiva-Páramo	88.36	1.18
15	Vegetación Arbustiva-Pasto Cultivado	13.84	0.18
16	Vegetación Arbustiva-Pasto Natural	42.64	0.57
17	Vegetación Arbustiva-Vegetación Arbórea	31.21	0.42
18	Pasto Natural-Páramo	37.24	0.50
19	Pasto Natural-Pasto Cultivado	25.36	0.34
20	Pasto Natural-Vegetación Arbustiva	27.07	0.36
21	Pasto Natural-Vegetación Arbórea	6.19	0.08
22	Vegetación Arbórea-Cuerpo de Agua	19.15	0.26
23	Vegetación Arbórea-Páramo	892.87	11.90
24	Vegetación Arbórea-Pasto Cultivado	16.36	0.22
25	Vegetación Arbórea-Vegetación Arbustiva	104.20	1.39
26	Vegetación Arbórea-Pasto Natural	23.47	0.31
Total		2451.43	32.69

Elaborado por: Autores, 2013

Tabla 30. Áreas sin cambio de cobertura vegetal 1987-2001

Número	Descripción de Coberturas	Área (Ha)	Porcentaje
1	Cuerpo de Agua	78.65	1.05
2	Páramo	3048.92	40.65
3	Pasto Cultivado	271.61	3.62
4	Vegetación Arbustiva	107.72	1.44
5	Pasto Natural	76.67	1.02
6	Vegetación Arbórea	1645.01	19.53
Total		5048.57	67.31

Elaborado por: Autores, 2013

De acuerdo al Anexo A.10. Mapa de cambios de cobertura vegetal del año 1987-2001 se obtiene las siguientes áreas de cambio como se indica en la tabla

Tabla 31. Detección Cambios 1987-2001

Detección de Cambio	Área (Ha)	Porcentaje
Cambio	2451.43	32.69
Sin Cambio	5048.57	67.31
Total	7500.00	100.00

Elaborado por: Autores, 2013

En el período de 1987-2001 existe un porcentaje de 32.69% de áreas con cambio de cobertura vegetal y el 67.31% no experimenta cambio; las coberturas que más han tenido una transición son las siguientes: Vegetación Arbórea-Páramo (11.90%); Páramo-Vegetación Arbórea (3.99%); Pasto Cultivado-Páramo (3.45%); Páramo-Pasto Cultivado (2.16%); Páramo-Vegetación Arbustiva (1.53%); Vegetación Arbórea-Vegetación Arbustiva (1.39%);

Vegetación Arbustiva- Páramo (1.18%); Páramo- Pasto Natural (1.04%); Pasto Cultivado- Pasto Natural (1.01%).

- Cambio de 2001-2007

Tabla 32. Áreas con Cambios de cobertura vegetal de 2001-2007

Nro.	Descripción de Coberturas	Área (Ha)	Porcentaje
1	Cuerpo de Agua-Páramo	20.14	0.27
2	Cuerpo de Agua-Pasto Cultivado	4.44	0.06
3	Cuerpo de Agua-Vegetación Arbustiva	5.25	0.07
4	Cuerpo de Agua-Vegetación Arbórea	32.83	0.44
5	Páramo-Cuerpo de Agua	19.49	0.26
6	Páramo-Pasto Cultivado	358.18	4.78
7	Páramo-Vegetación Arbustiva	27.41	0.37
8	Páramo-Pasto Natural	71.19	0.95
9	Páramo-Vegetación Arbórea	807.75	10.77
10	Pasto Cultivado-Páramo	167.31	2.23
11	Pasto Cultivado-Vegetación Arbustiva	8.69	0.12
12	Pasto Cultivado-Pasto Natural	36.79	0.49
13	Pasto Cultivado-Vegetación Arbórea	24.98	0.33
14	Vegetación Arbustiva-Cuerpo de Agua	4.30	0.06
15	Vegetación Arbustiva-Páramo	128.30	1.71
16	Vegetación Arbustiva-Pasto Cultivado	30.67	0.41
17	Vegetación Arbustiva-Pasto Natural	41.11	0.55
18	Vegetación Arbustiva-Vegetación Arbórea	104.54	1.39
19	Pasto Natural-Páramo	76.19	1.02
20	Pasto Natural-Pasto Cultivado	77.38	1.03
21	Pasto Natural-Vegetación Arbustiva	26.73	0.36
22	Pasto Natural-Vegetación Arbórea	38.61	0.51
23	Vegetación Arbórea-Cuerpo de Agua	35.33	0.47
24	Vegetación Arbórea-Páramo	689.45	9.19
25	Vegetación Arbórea-Pasto Cultivado	71.40	0.95
26	Vegetación Arbórea-Vegetación Arbustiva	32.25	0.43
27	Vegetación Arbórea-Pasto Natural	8.89	0.12
Total		2949.62	39.33

Elaborado por: Autores, 2013.

Tabla 33. Áreas sin cambio de cobertura vegetal 2001-2007

Número	Descripción de Coberturas	Área (Ha)	Porcentaje
1	Cuerpo de Agua	57.77	0.77
2	Páramo	3054.61	40.73
3	Pasto Cultivado	249.24	3.32
4	Vegetación Arbustiva	79.93	1.07
5	Pasto Natural	81.17	1.08
6	Vegetación Arbórea	1027.67	13.70
Total		4550.38	60.67

Elaborado por: Autores, 2013.

De acuerdo al Anexo A.11. Mapa de cambios de cobertura vegetal del año 2001 - 2007 se obtiene las siguientes áreas de cambio como se indica en la tabla 34.

Tabla 34. Detección Cambios 2001-2007

Detección de Cambio	Área (Ha)	Porcentaje
Cambio	2949.62	39.33
Sin Cambio	4550.38	60.67
Total	7500.00	100.00

Elaborado por: Autores, 2013.

En el período de 2001-2007 existe un 39.33% de áreas con cambio de cobertura vegetal y el 60.67% no experimenta cambio; las coberturas que más han tenido una transición son las siguientes: Páramo-Vegetación Arbórea (10.77%); Vegetación Arbórea-Páramo (9.19%); Páramo-Pasto Cultivado (4.78%); Pasto Cultivado-Páramo (2.23%); Vegetación Arbustiva-Páramo

(1.71%); Vegetación Arbustiva-Vegetación Arbórea (1.39%); Pasto Natural-Pasto Cultivado (1.03%); Pasto Natural-Páramo (1.02%).

- Cambio de 1987-2007

Tabla 35. Áreas con Cambios de cobertura vegetal de 1987-2007

Nro.	Descripción de Coberturas	Área (Ha)	Porcentaje
1	Cuerpo de Agua-Páramo	17.00	0.23
2	Cuerpo de Agua-Vegetación Arbustiva	5.66	0.08
3	Cuerpo de Agua-Vegetación Arbórea	63.17	0.84
4	Páramo-Cuerpo de Agua	13.04	0.17
5	Páramo-Pasto Cultivado	301.13	4.02
6	Páramo-Vegetación Arbustiva	14.39	0.19
7	Páramo-Pasto Natural	65.06	0.87
8	Páramo-Vegetación Arbórea	551.33	7.35
9	Pasto Cultivado-Cuerpo de Agua	4.76	0.06
10	Pasto Cultivado-Páramo	212.84	2.84
11	Pasto Cultivado-Vegetación Arbustiva	17.90	0.24
12	Pasto Cultivado-Pasto Natural	52.28	0.70
13	Pasto Cultivado-Vegetación Arbórea	28.97	0.39
14	Vegetación Arbustiva-Páramo	86.93	1.16
15	Vegetación Arbustiva-Pasto Cultivado	29.15	0.39
16	Vegetación Arbustiva-Pasto Natural	46.88	0.63
17	Vegetación Arbustiva-Vegetación Arbórea	64.88	0.87
18	Pasto Natural-Páramo	34.01	0.45
19	Pasto Natural-Pasto Cultivado	51.38	0.69
20	Pasto Natural-Vegetación Arbustiva	15.74	0.21
21	Pasto Natural-Vegetación Arbórea	15.02	0.20
22	Vegetación Arbórea-Cuerpo de Agua	27.44	0.37
23	Vegetación Arbórea-Páramo	1014.92	13.53
24	Vegetación Arbórea-Pasto Cultivado	74.87	1.00
25	Vegetación Arbórea-Vegetación Arbustiva	70.46	0.94
26	Vegetación Arbórea-Pasto Natural	18.71	0.25
Total		2897.97	38.64

Elaborado por: Autores, 2013.

Tabla 36. Áreas sin cambio de cobertura vegetal 1987-2007

Número	Descripción de Coberturas	Área (Ha)	Porcentaje
1	Cuerpo de Agua	73.23	0.98
2	Páramo	2771.07	36.95
3	Pasto Cultivado	331.35	4.42
4	Vegetación Arbustiva	57.12	0.76
5	Pasto Natural	57.21	0.76
6	Vegetación Arbórea	1312.08	17.49
Total		4602.03	61.36

Elaborado por: Autores, 2013.

De acuerdo al Anexo A.12. Mapa de cambios de cobertura vegetal del año 1987 - 2007 se obtiene las siguientes áreas de cambio como se indica en la tabla 37.

Tabla 37. Detección Cambios 1987-2007

Detección de Cambio	Área (Ha)	Porcentaje
Cambio	2897.97	38.64
Sin Cambio	4602.03	61.36
Total	7500.00	100.00

Elaborado por: Autores, 2013.

En el período de 1987-2007 existe un 38.64% de áreas con cambio de cobertura vegetal y el 61.36% no experimenta cambio; las coberturas que más han tenido una transición son las siguientes: Vegetación Arbórea-Páramo (13.53%); Páramo-Vegetación Arbórea (7.35%); Páramo-Pasto Cultivado (4.02%); Pasto Cultivado-Páramo (2.84%); Vegetación Arbustiva-Páramo (1.16%); Vegetación Arbórea-Pasto Cultivado (1.00%).

CAPITULO VI

ANALISIS DE INFORMACION HIDROMETEOROLOGICA

6.1 Información Hidrometeorológica

Luego de una breve revisión de la información proporcionada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrografía (INAMHI); se observa la falta de estaciones cercanas a la zona de estudio, así como la discontinuidad de sus datos, por lo que es necesario realizar un análisis de cada una de las variables a utilizar en el modelo. En la tabla 38 y en la figura 48 se encuentran las estaciones hidrológicas y meteorológicas escogidas que están lo más cerca del área de estudio, además se determinó la ausencia total de alguna estación que se encuentre dentro de la microcuenca, esta falencia será un determinante posteriormente en la modelación con los softwares WEAP y HEC-HMS.

Tabla 38 Estaciones Hidrológicas y Meteorológicas.

Código	Nombre de la estación	Coordenadas		Altura	Tipo	Información disponible				
		Este	Norte			P.	V.	T.	H.R.	C.
H375	Chanchan DJ Huataxi	725762.6	9751149.0	1480	H	-	-	-	-	X
H467	Vendeleche en Hda. La Curia	736835.4	9716844.5	3020	H	-	-	-	-	X
H468	San Pedro en Ingapirca	778480.1	9726653.0	2700	H	-	-	-	-	X
H783	Ozogoche en los Lagos	766933.5	9750963.6	3756	H	-	-	-	-	X
M031	Cañar	729328.2	9717809.1	3083	M	X	X	X	X	-
M136	Chunchi	730919.8	9748345.9	2177	M	X	X	X	X	-
M399	Achupallas - Chimborazo	748196.2	9747767.0	3178	M	X	-	-	-	-
M403	Alausí	739524.2	9756721.2	2267	M	X	-	-	-	-
M405	Guasuntos	743506.7	9753427.8	2438	M	X	-	-	-	-
M497	Logroño	811184.0	9725410.6	612	M	X	-	-	-	-

P=Precipitación; V= Viento; T= Temperatura; H.R.= Humedad Relativa; C=Caudal

Elaborado por: Autores, 2013.

Como se puede observar en la tabla existen 4 estaciones hidrológicas y 6 estaciones meteorológicas alrededor de la cuenca en estudio de las cuales solo dos estaciones meteorológicas (Cañar y Chunchi) tienen datos de temperatura, humedad relativa y velocidad- dirección del viento.

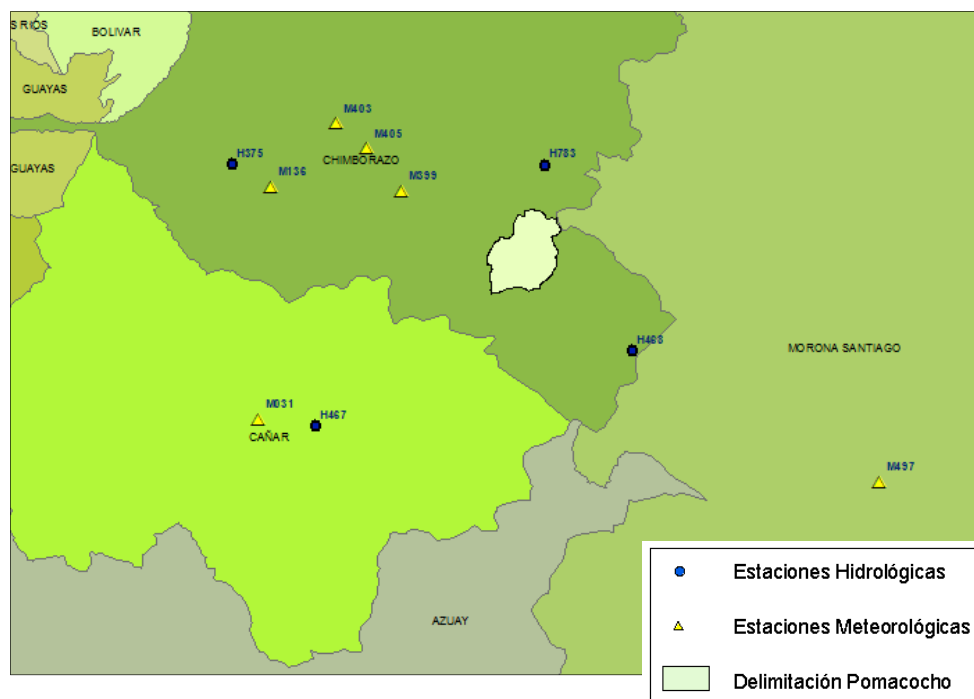


Figura 48. Estaciones meteorológicas e hidrológicas cercanas al área de estudio

Elaborado por: Autores, 2013.

6.2 Análisis temporal de la información Hidrometeorológica

En esta fase se realizará un estudio de los datos capturados por las estaciones hidrológicas y meteorológicas, tomando en cuenta su continuidad en la serie de datos históricos. Para una mejor ilustración de este análisis se representara en un gráfico el número de meses que cada estación obtuvo información por año, para las variables de precipitación, humedad relativa, temperatura, velocidad de viento y caudales medios mensuales. Los gráficos y las tablas de este análisis se podrán encontrar en el Anexo digital E.1 para

los datos meteorológicos, en el Anexo digital E.2 para los datos hidrológicos y los datos en crudo proporcionados por el INAMHI en el Anexo digital E.3.

En las tablas 39 y 40 se indica un resumen de los períodos en lo que se disponen de información; los cuales nos permitirán posteriormente tomar una decisión del período de tiempo a modelar en el software WEAP

Tabla 39. Períodos de tiempo con información meteorológica.

Código	Nombre de la estación	Series de tiempo			
		Precipitación	Temperatura	Humedad Relativa	Velocidad del viento
M031	Cañar	1960-2009	1960-2008	1982-2008	1982-2008
M136	Chunchí	1963-2009	1969-2008	1982-2008	1982-2008
M399	Achupallas	1964-2009	-	-	-
M403	Alausí	1964-2009	-	-	-
M405	Guasuntos	1982-2009	-	-	-
M497	Logroño	1982-2009	-	-	-

Elaborado por: Autores, 2013.

Tabla 40. Períodos de tiempo con información hidrológica

Código	Nombre de la Estación	Series de tiempo Caudal
H375	Chanchan	1991-2008
H467	Vendeleche	1987-2007
H468	San Pedro en Ingapirca	1989-2006
H783	Ozogoche en los Lagos	1993-2008

Elaborado por: Autores, 2013.

Como se puede observar el período más continuo, aunque con datos faltantes de ciertos meses corresponde a los años de 1987-2007; como primer análisis se podría escoger estos meses para trabajar en la modelación de caudales, sin embargo es necesario realizar el estudio para el

relleno de datos y así obtener el período de tiempo más adecuado en la modelación.

6.3 Análisis de variabilidad espacial

Este análisis es muy importante realizarlo previo a la elaboración de bandas de elevación, necesarias para la alimentación del modelo WEAP.

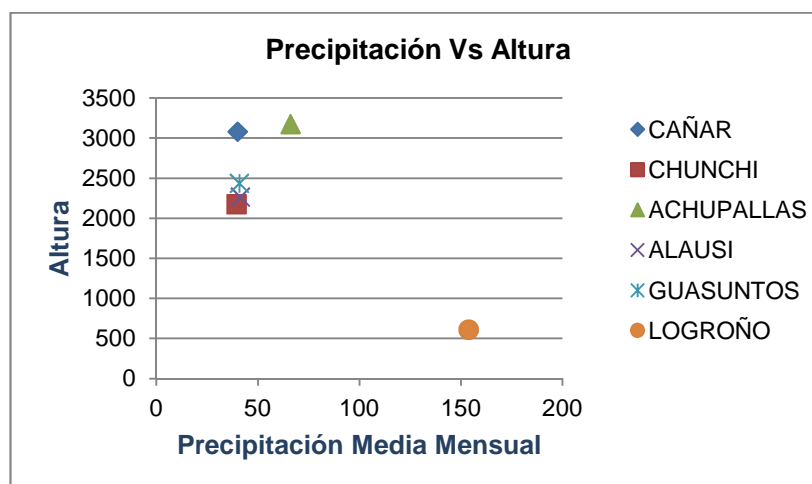
6.3.1 Relación entre Altura y Precipitación.

Tabla 41. Análisis Altura vs Precipitación.

Código	Nombre de la Estación	Altura	Precipitación Media mensual (mm)
M031	Cañar	3083	39.94
M136	Chunchí	2177	39.4
M399	Achupallas – Chimborazo	3178	66.0
M403	Alausí	2267	41.3
M405	Guasuntos	2438	40.8
M497	Logroño	612	153.7

Elaborado por: Autores, 2013.

Figura 49. Diagrama Precipitación vs Altura



Elaborado por: Autores, 2013.

En la gráfica anterior se ilustra la variabilidad espacial de la altura de cada una de las estaciones con su dato de precipitación media mensual; en el que se puede observar que las estaciones de Cañar, Chunchi, Achupallas, Alausí y Guasuntos que se encuentran en una altura entre 2000 y 3500

msnm tienen una precipitación de 30 a 40 mm; mientras que la estación de Logroño que tiene una altura de 612 msnm tiene una precipitación de 153 mm, esto se debe a la lejanía entre el resto de las estaciones, por lo tanto tiene diferente clima y diferente régimen de precipitación.

- Descripción del Régimen de Precipitación.

Para el análisis del régimen de precipitación en cada una de las estaciones cercanas a la microcuenca en estudio se utilizó como dato el promedio multimensual de esta variable; a través del gráfico que se obtenga de este análisis se determinará si las estaciones en mención tienen un régimen unimodal o bimodal.

A continuación se muestra la tabla 42 con los datos usados para el gráfico del régimen de precipitación de cada estación.

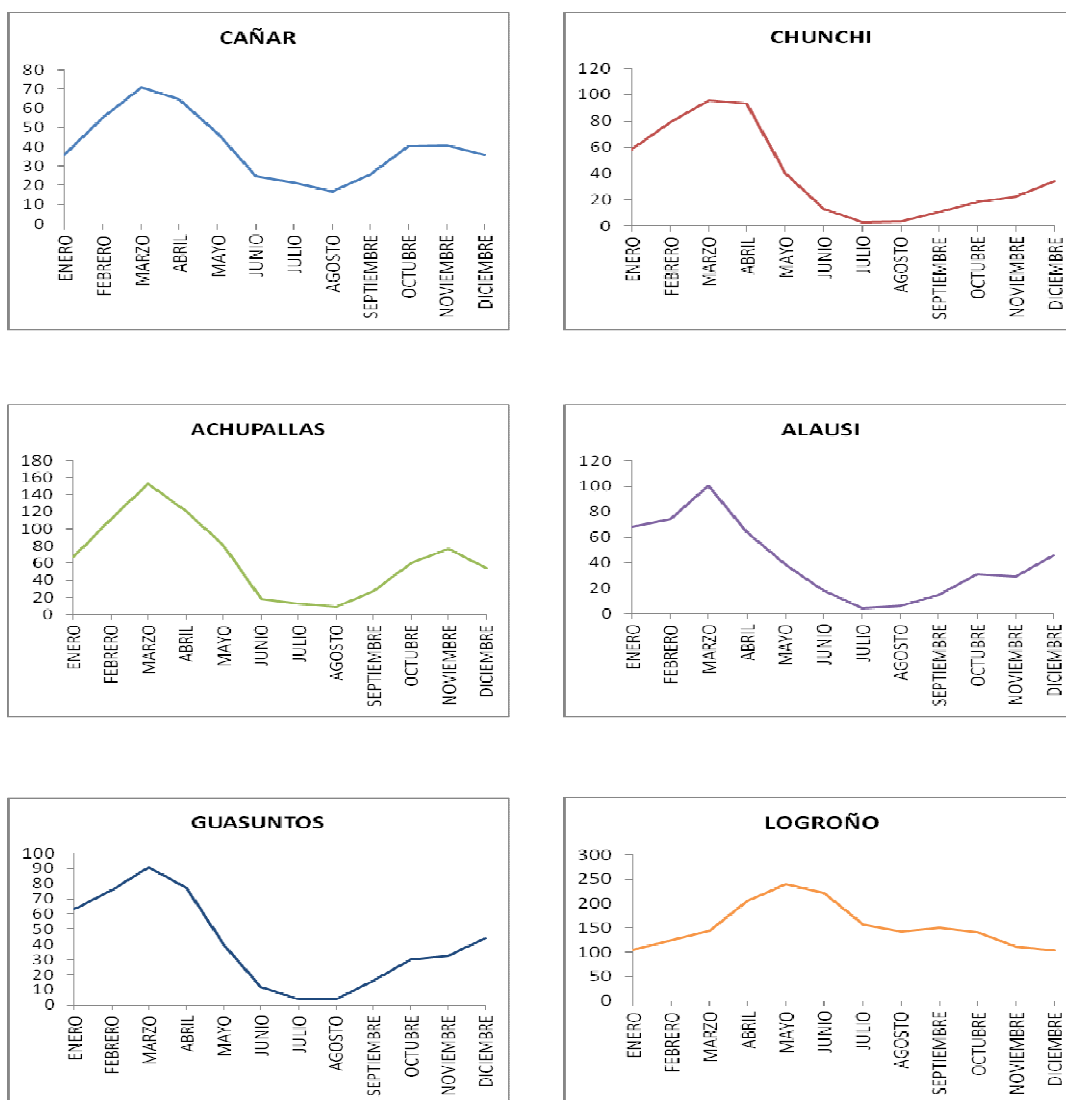
Tabla 42. Variación estacional de precipitaciones mensuales

Mes	Estaciones Meteorológicas					
	Cañar	Chunchí	Achupallas	Alausí	Guasuntos	Logroño
Enero	35.925	58.5	67.1	68.4	63.2	105.1
Febrero	55.092	79.2	111.6	74.6	75.7	124.3
Marzo	70.958	95.8	152.7	100.5	90.7	143.5
Abril	64.915	93.2	120.5	63.9	77.4	205.1
Mayo	46.88	40.4	80.9	38.7	39.6	239.2
Junio	24.535	13.1	18.4	18.2	12.1	221.8
Julio	21.413	3.4	12.8	4.6	3.7	157.3
Agosto	16.77	3.7	9	6.3	4.1	142.7
Septiembre	25.683	10.8	26.8	14.8	16.1	149.8
Octubre	40.404	18.4	60.6	31.1	29.8	140.3
Noviembre	40.848	22.7	77	29.2	32.5	111.9
Diciembre	35.898	34.2	54.2	45.5	44.2	102.8
SUMA	479.32	473.4	791.6	495.8	489.1	1843.8

Elaborado por: Autores, 2013.

En la figura 50, de las seis estaciones escogidas se puede observar que cinco de estas poseen un régimen bimodal (Cañar, Chunchí, Achupallas, Alausí y Guasuntos) con una época lluviosa y seca, siendo en estas cinco estaciones el mes de marzo el que posee el registro de máxima precipitación y el mes de agosto el de mínima. Lo que en la estación Logroño por encontrarse alejada del resto de estaciones, su época de máxima precipitación es el mes de mayo y el de mínima en diciembre.

Figura 50. Variación estacional de Precipitaciones Mensuales



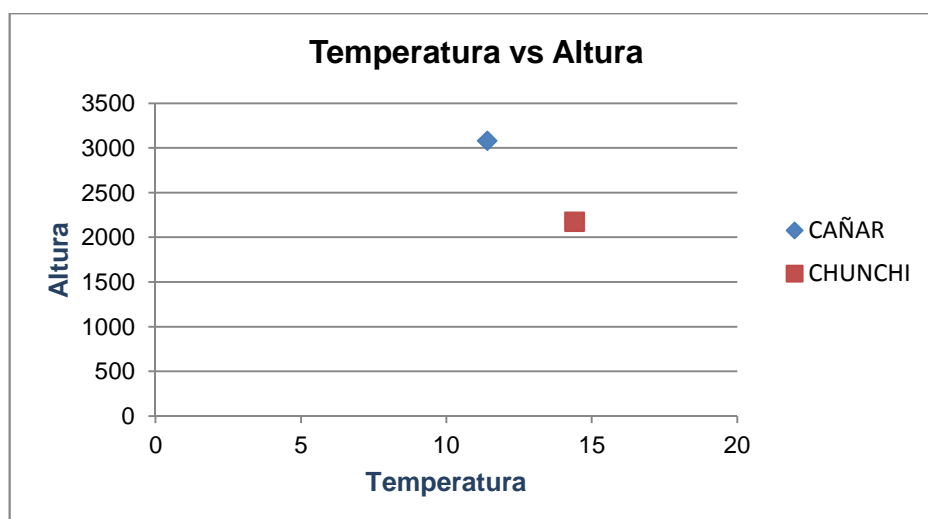
Fuente: INAMHI

Elaborado por: Autores, 2013.

De las seis estaciones escogidas se puede observar que cinco de estas poseen un régimen bimodal (Cañar, Chunchí, Achupallas, Alausí y Guasuntos) con una época lluviosa y seca, siendo en estas cinco estaciones el mes de marzo el que posee el registro de máxima precipitación y el mes de agosto el de mínima. Lo que en la estación Logroño por encontrarse alejada del resto de estaciones, su época de máxima precipitación es el mes de mayo y el de mínima en diciembre.

6.3.2 Relación entre Altura y Temperatura.

Figura 51. Relación de Altura con Temperatura



Elaborado por: Autores, 2013.

Al igual que con la variable de precipitación es importante realizar un análisis espacial con la temperatura; de las estaciones cercanas al área de estudio solo dos de estas poseen datos de temperatura. De lo que se puede observar en el gráfico 6.3 la temperatura decrece conforme aumenta la altura. El análisis espacial de las variables meteorológicas se encuentra en el Anexo digital E.4.

6.4 Análisis de la Curva de Doble Masa.

El análisis de la curva de doble masa se realiza para saber la consistencia de las serie de valores y mediante esta tener más confiabilidad en los datos que pueden tener errores en su obtención ya sea por causas naturales o por la intervención del ser humano.

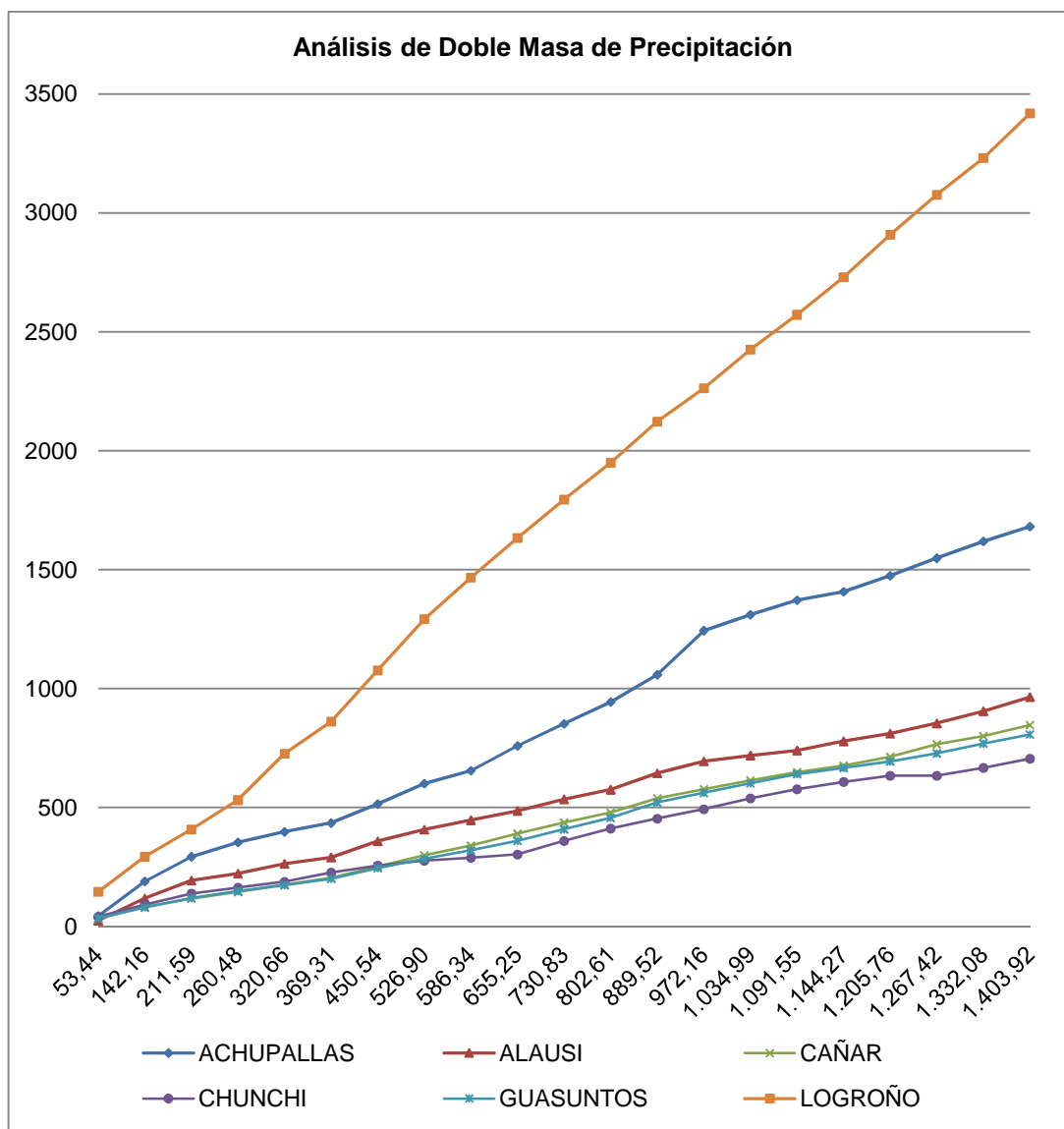
Los errores que pueden presentarse son de tipo inconsistente que se relaciona al momento de la toma de datos o al cambio geográfico de la estación; y la falta de homogeneidad, que se asocia a la tala incontrolada o inundaciones.

El análisis de la curva de doble masa se basa en graficar en los ejes de coordenadas los acumulados de cada una de las estaciones en estudio; si la gráfica posee quiebres cada uno de estos represente heterogeneidad en la serie de datos.

6.4.1 Curva de Doble Masa de Precipitación.

Los resultados del análisis de doble masa de la variable precipitación de las seis estaciones escogidas que se ilustra en la figura 52 revelaron los siguientes resultados: La estación de Logroño es la que se encuentra más alejada del la microcuenca en estudio sin embargo posee datos más homogéneos y confiables debido a que su curva de doble masa es una línea casi recta que unicamente tiene dos quiebres.

Figura 52. Curva de doble masa para la variable precipitación.

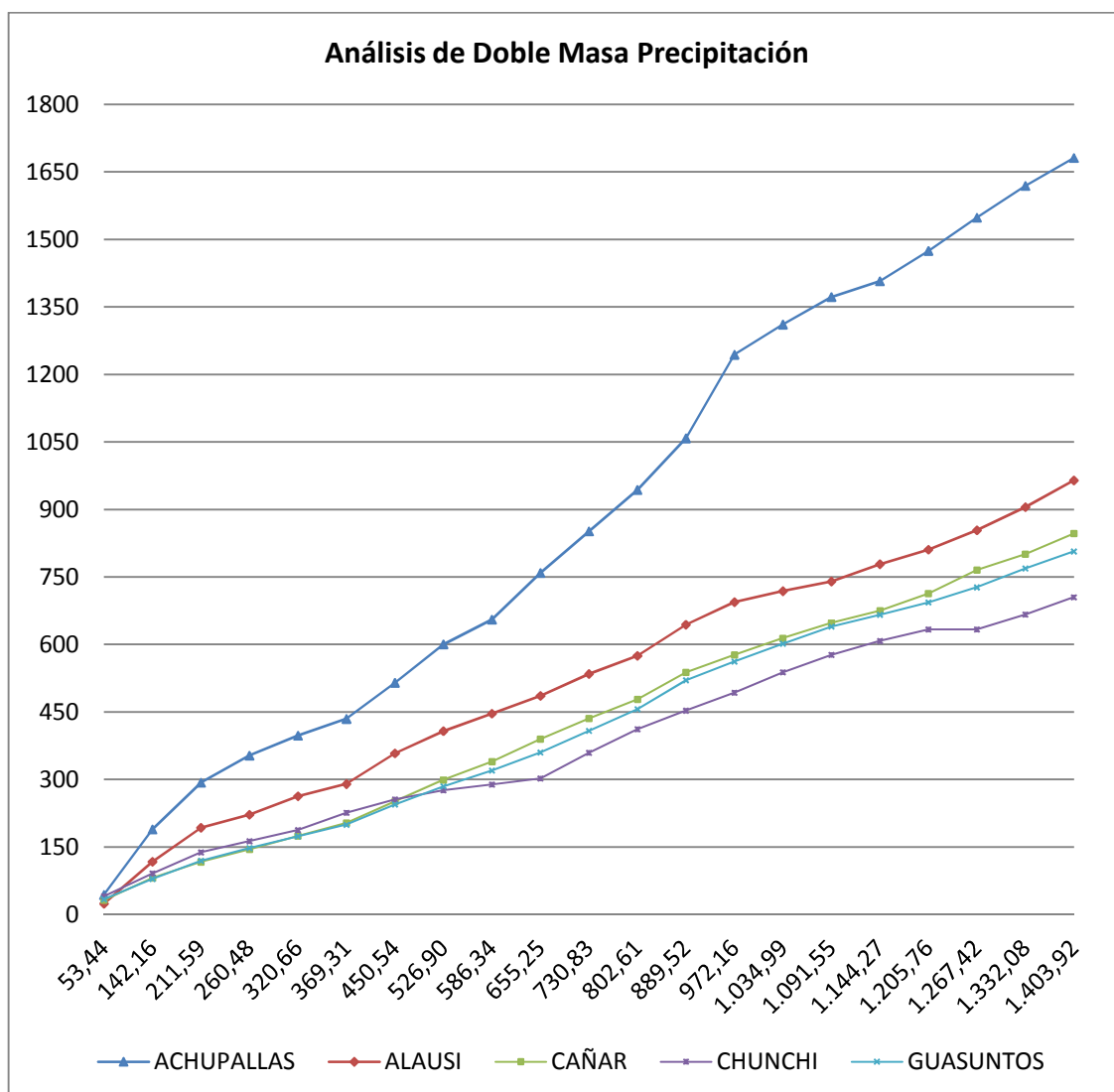


Fuente: INAMHI

Elaborado por: Autores, 2013.

Para una mejor ilustración se muestra la ampliación en la figura 53 de las cinco estaciones restantes; se le omite de este gráfico a la estación de Logroño que ya fue analizada con anterioridad.

Figura 53. Ampliación de la gráfica de Análisis de doble masa de Precipitación



Fuente INAMHI

Elaborado por: Autores

En la tabla 43 se presenta el análisis de doble masa de las estaciones en estudio

Tabla 43. Resultados del análisis de doble masa

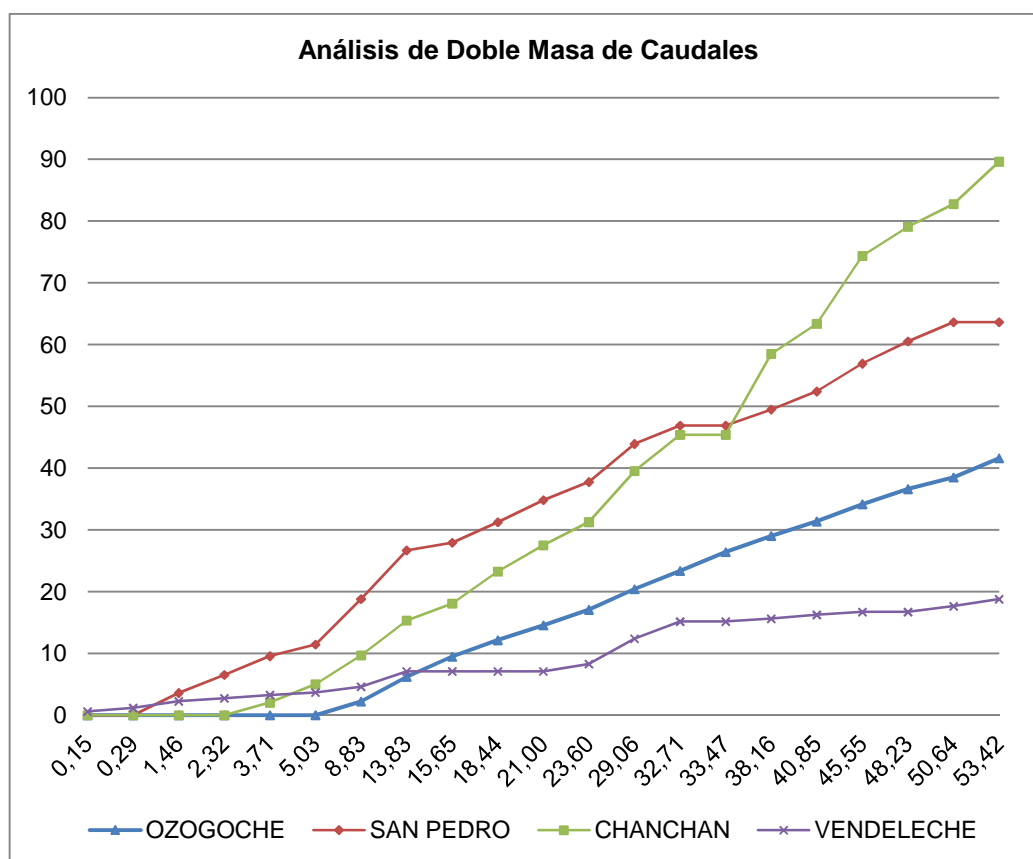
Estación	Numero de Quiebres	Observaciones
Achupallas	3	Es una estación representativa debido a que no posee muchos quiebres
Alausí	5	Esta estación posee 5 quiebres sin embargo es la más cercana a la microcuenca en estudio
Cañar	3	La estación de Cañar es representativa en este estudio ya que únicamente posee 3 quiebres en su recta
Chunchí	3	Es una estación representativa ya que posee muy pocos quiebres lo cual nos indica una buena homogeneidad
Guasuntos	4	La estación de Guasuntos posee 4 quiebres sin embargo se puede decir que tiene cierta proporcionalidad con Cañar

Elaborado por: Autores, 2013.

6.4.2 Curva Doble Masa de Caudales

El mismo procedimiento que se realizó para el análisis de doble masa en la variable precipitación se sigue para los caudales de cada estación hidrológica a utilizar.

El figura 54 y la tabla 44 muestran los resultados de este análisis para las cuatro estaciones hidrológicas consideradas en este estudio.

Figura 54. Análisis de doble masa para la variable caudales.

Fuente: INAMHI

Elaborado por: Autores, 2013.

Tabla 44. Resultados del análisis de doble masa para caudales

Estación	Número de Quiebres	Observaciones
Ozogoche	3	La estación de Ozogоче es muy representativa ya que posee un número reducido de quiebres y además se encuentra más cerca a la microcuenca de estudio
San Pedro	5	Esta estación posee 5 quiebres sin embargo puede ser utilizada para el ajuste de caudales en el modelo
Chanchan	5	Chanchan se encuentra un poco alejada a la microcuenca de estudio posee cinco quiebres y datos faltantes
Vendeleche	2	Esta estación es muy representativa ya que posee el menor número de quiebres con relación a las estaciones anteriores

Elaborado por: Autores, 2013.

Los datos usado para el analisis de doble masa de caudales y precipitación se encuentra en el Anexo digital E.5.

6.5 Relleno de datos faltantes.

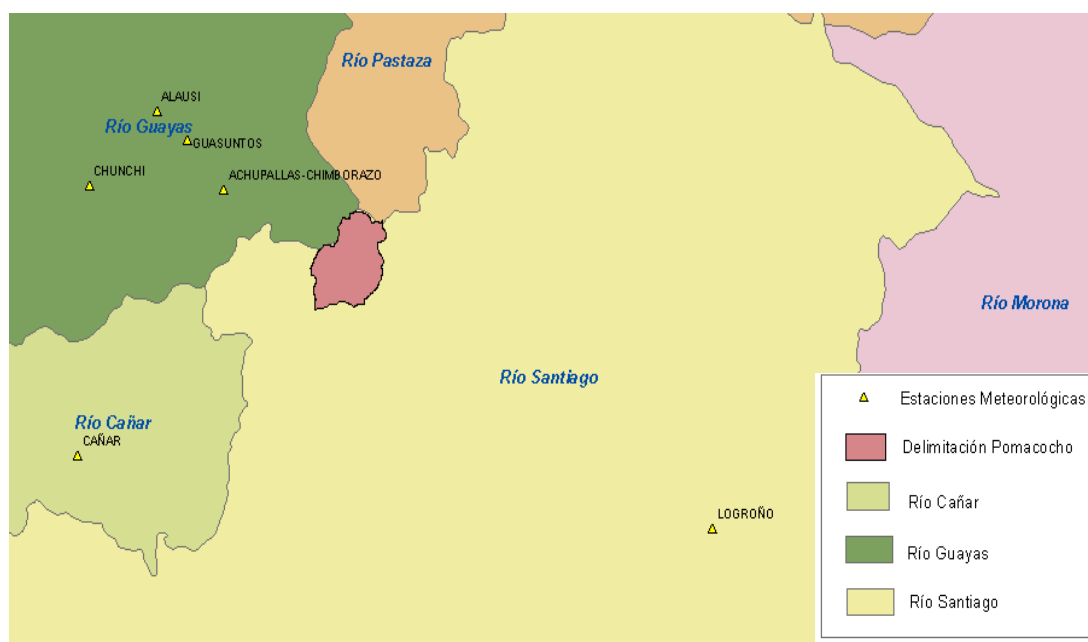
El análisis de doble masa nos revela la estación base que se puede usar en el relleno de datos de acuerdo a la confiabilidad y homogeneidad de los mismo; en este caso se determina que no es posible realizar este proceso con las estaciones cercanas a la microcuenca en estudio, ya que estas estaciones pertenecen a diferentes cuencas según la clasificación del INAMHI; al estar en diferente cuencas quiere decir que cada estación tiene diferente regimen por lo tanto sería erróneo rellenar datos de una estación que pertenece a la cuenca del Río Guayas que tiene un régimen costa con una estación de la cuenca del Río Upano-Santiago con un régimen del oriente.

En la tabla 45 y la figura 55 se muestra cada estación meteorológica y la cuenca a la que pertenece.

Tabla 45. Estaciones meteorológicas y cuenca a la que pertenece

Código	Nombre de la Estación	Cuenca
M031	Cañar	Cañar
M136	Chunchí	Guayas
M399	Achupallas – Chimborazo	Guayas
M403	Alausí	Guayas
M405	Guasuntos	Guayas
M497	Logroño	Santiago

Elaborado por: Autores, 2013.

Figura 55. Estaciones meteorológicas y cuencas a la que pertenecen

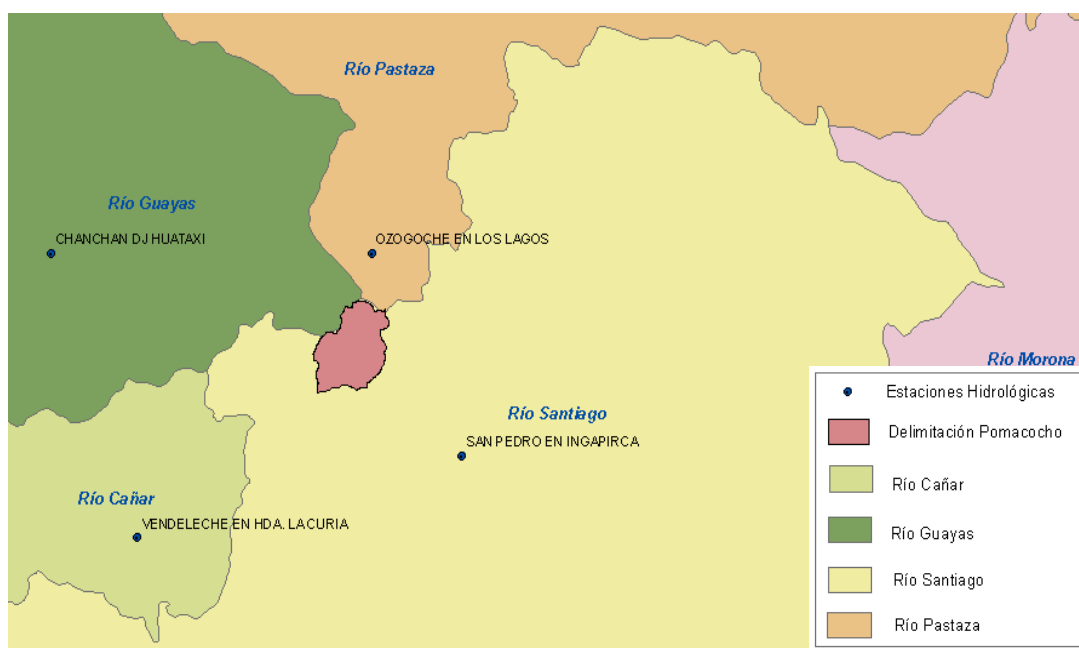
Elaborado por: Autores, 2013.

En la tabla 46 y la figura 56 se muestra cada estación hidrológicas y la cuenca a la que pertenecen.

Tabla 46. Estaciones hidrológicas y cuenca a la que pertenece

Código	Nombre de la estación	Cuenca
H375	Chanchan dj Huataxi	Guayas
H467	Vendeleche en Hda. La Curia	Cañar
H468	San Pedro en Ingapirca	Cañar
H783	Ozogoche en los Lagos	Pastaza

Elaborado por: Autores, 2013

Figura 56. Estaciones hidrológicas y cuenca a la que pertenecen

Elaborado por: Autores, 2013

Por este motivo se procedió a pedir el relleno de datos realizado por el INAMHI ya que dicha institución realiza este proceso a través de las estaciones que están dentro de un mismo régimen, es decir dentro de una misma cuenca.

En la tabla 47 se detallará el período temporal del relleno de cada estación cercana a la microcuenca de estudio proporcionada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

Tabla 47. Temporalidad rellenada de las estaciones hidrológicas

Código	Nombre estación	Series de tiempo de caudal rellenado
H375	Chanchan Dj Huataxi	1991-2008
H467	Vendeleche en Hda. La Curia	1982-2008
H468	San Pedro en Ingapirca	1982-2008
H783	Ozogoché en los Lagos	1965-2008

Elaborado por: Autores, 2013.

Tabla 48. Temporalidad rellenada de estaciones meteorológicas

Código	Nombre Estación	Series De Tiempo Rellenadas		
		Precipitación	Temperatura	Humedad Relativa
M031	Cañar	1971-2010	1958-2011	1982-2008
M136	Chunchí	1971-2010	1976-2010	1982-2010
M399	Achupallas	1971-2010	-	-
M403	Alausí	1971-2010	-	-
M405	Guasuntos	1982-2010	1982-2011	-
M497	Logroño	1982-2008	-	-

Elaborado por: Autores, 2013.

De acuerdo con los datos rellenados proporcionados por el INAMHI se determina que la mejor época para trabajar en el modelo es de 1991 hasta 2000; puesto que en este período se encuentran los datos completos y validados tanto de la variable precipitación como de caudales y corresponden a una temporalidad de diez años; dato que es adecuado para realizar un modelo.

CAPITULO VII

CAUDALES

7.1 Modelación de Caudales

7.1.1 Modelo WEAP.

Los pasos a seguir para modelar en software WEAP son los siguientes:

7.1.1.1. Definición del Estudio

El software WEAP será usado en este proyecto para modelar la microcuenca del Río Pomacocho; y mediante los resultados obtenidos proponer el mejor plan para el aprovechamiento del recurso hídrico

Para realizar la modelación es necesario recopilar información hidrometeorológica como:

- Información mensual de temperatura.
- Precipitación mensual
- Humedad relativa mensual
- Velocidad del viento mensual
- Caudales mensuales

Esta información fue auspiciada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Es importante una coincidencia entre la serie de datos climáticos y la serie de datos de caudales ya que esta coincidencia nos permitirá realizar la calibración del modelo, y que los datos de caudales

del software tenga una buena correlación con los datos de caudales observados.

Por otro lado es necesario información del tipo de cobertura vegetal existente en la zona de estudio; esta información se obtuvo en el Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca (MAGAP), así como de los resultados de la clasificación digital de la imagen Aster 2007; por ser esta la más actual en este estudio.

7.1.1.2 Alimentación de la Información en el Modelo Hidrológico.

El área de estudio corresponde a la Microcuenca del Río Pomacocho, el mismo que fue delimitado por la divisoria de aguas, mediante las curvas de nivel y el río principal. Para la alimentación del modelo se requiere de información meteorológica y de cobertura vegetal de la zona.

Como primer paso para estimar el balance hídrico es importante determinar bandas de elevación y zonas homogéneas en la delimitación de la microcuenca.

Para elaborar las bandas de elevación se procede a una clasificación de las alturas cada 500 metros metodología propuesta en el Informe Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos de la cuenca del río Paute, Santiago 2009.

Luego de realizar un raster de alturas de la microcuenca en estudio, se determina que la elevación mínima corresponde a 3120 msnm y la máxima a 4400 msnm; a partir de este rango se realiza la separación de las bandas de elevación cada 500 metros a través de una interpolación en SIG.

En la tabla 49 y en la figura 57 se muestra las bandas de elevación obtenidas en la delimitación de la Microcuenca del Río Pomacocho.

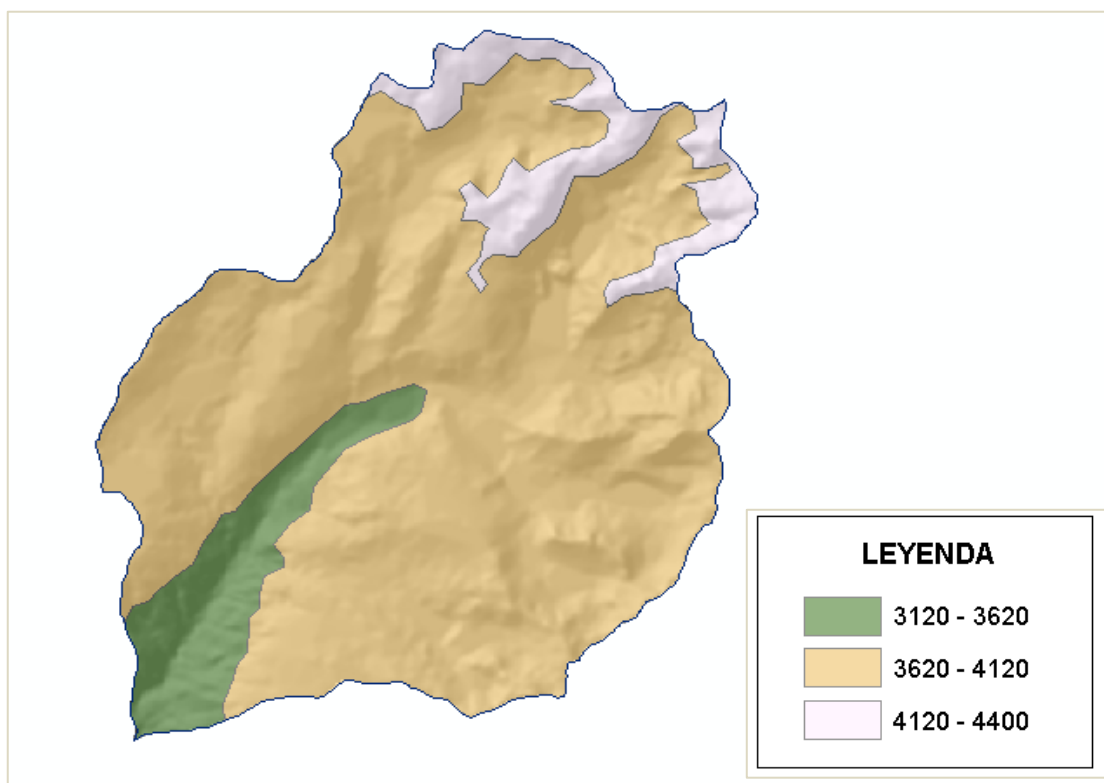


Figura 57. Bandas de Elevación de la Microcuenca del Río Pomacocho

Elaborado por: Autores, 2013.

Tabla 49. Área de cada banda de elevación

Bandas de Elevación	Rango de Altura	Área (Km ²)
Banda 1	3120-3620	8.61
Banda 2	3620-4120	58.97
Banda 3	4120-4620	7.42
Área Total		75.00

Elaborado por: Autores, 2013.

Cada una de estas bandas de elevación posee un punto central, al cual en el software WEAP se lo conoce como Catchment; por lo tanto el siguiente

paso en la alimentación del modelo es obtener los catchments de cada banda de elevación.

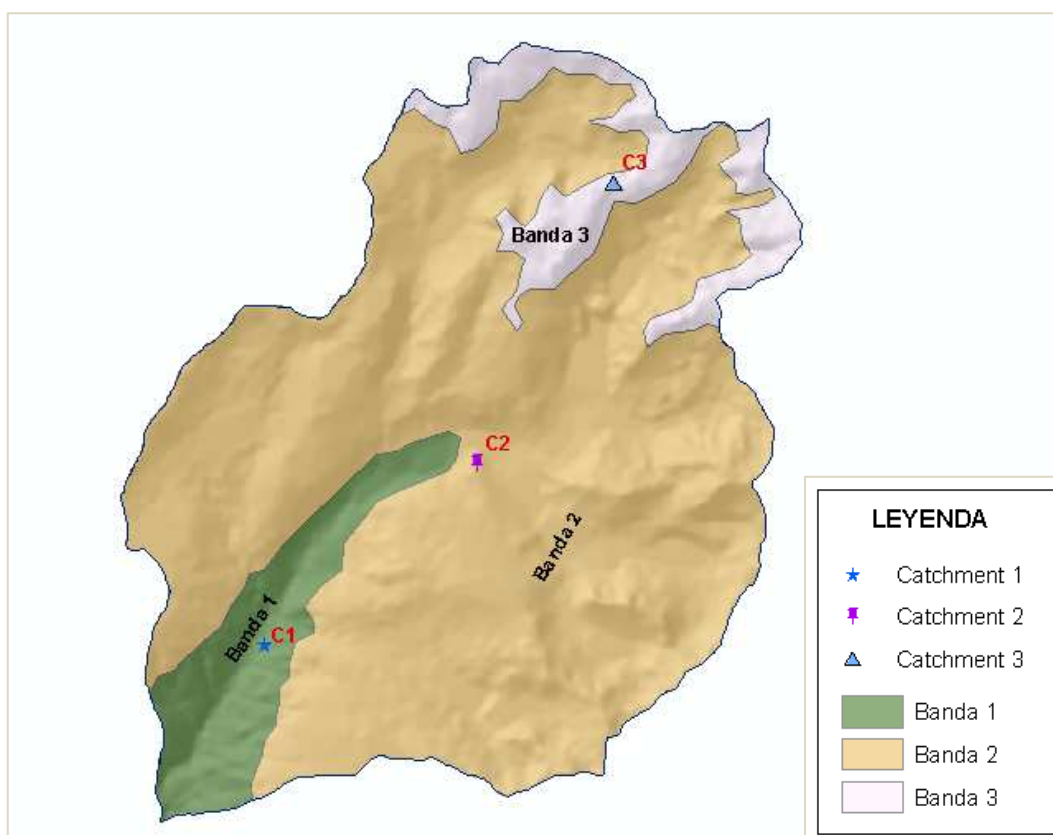


Figura 58. Catchments para cada banda de elevación.

Elaborado por: Autores, 2013

- Zonas Homogéneas:
 - Precipitación.

Para las zonas homogéneas hemos utilizado el promedio mensual de precipitación (equivalente a la media anual dividida para doce) de cada una de las estaciones cercanas al área de estudio; puesto que no se encontró ninguna estación dentro de la microcuenca las ecuaciones para las series de tiempo serán trabajadas con las estaciones alrededor de la misma.

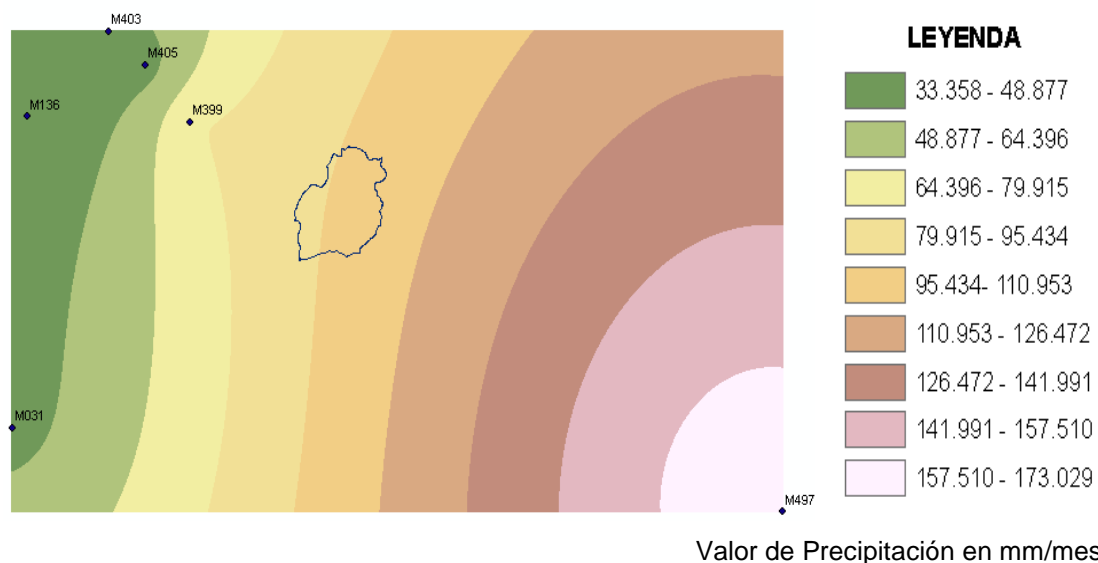


Figura 59. Zonas homogéneas de precipitación para la microcuenca.

Elaborado por: Autores, 2013.

Como se puede observar en la figura 59 la microcuenca del Río Pomacocho se encuentra en dos zonas correspondientes al rango de (79.915 -95.434)mm/mes y (95.334 - 110.953) mm/mes de precipitación.

- Temperatura

Puesto que únicamente se tienen 3 estaciones que presentan valores de temperatura cercanas a la microcuenca de estudio; no se puede realizar las zonas homogéneas por el método de interpolación como se realizó para la variable de precipitación, por este motivo se usará la ecuación lineal de la gráfica altura vs temperatura de estas tres estaciones; en donde T_{1Z} representará la temperatura media anual y Z será la elevación; esta metodología es propuesta en la tesis Modelación Hidrológica de la Cuenca Alta y Media del Río Pastaza aplicando el Modelo de Simulación WEAP, de (Lema & Plaza, 2009)

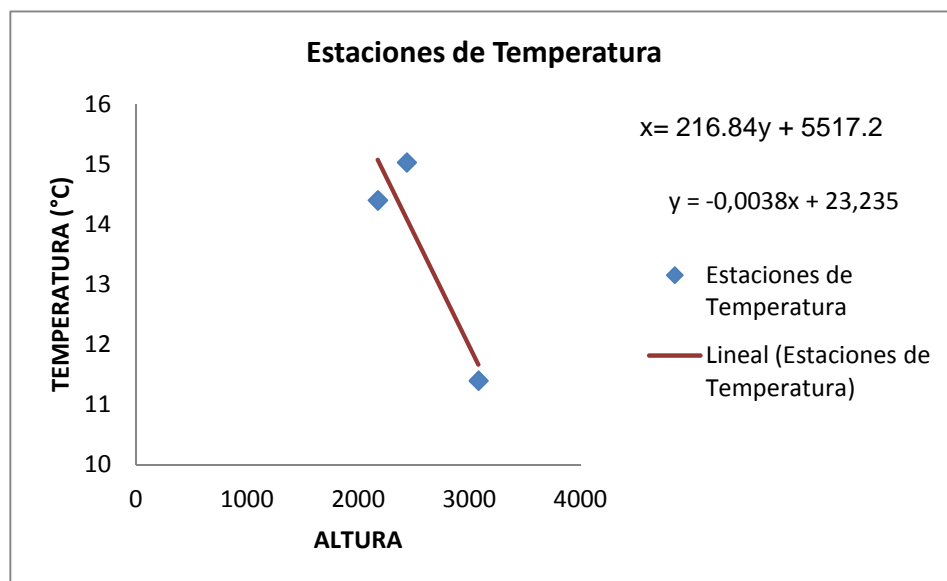


Figura 60. Ecuación lineal obtenida de la temperatura.

Elaborado por: Autores, 2013.

Por lo tanto:

$$T1Z = -0.0038Z + 23.235$$

Siendo Z la elevación del punto medio de la microcuenca.

Remplazando datos tenemos:

$$T1Z = -(0.0038)(3660) + 23.235$$

$$T1Z = 9.327 \text{ (Temperatura media anual)}$$

La temperatura media anual representa una zona homogénea correspondiente a 9.327°C en el área de la microcuenca.

- Caudales

Para obtener las zonas homogéneas de la variable caudal se procedió a realizar una interpolación; es decir el mismo procedimiento que se utilizó para la variable de precipitación.

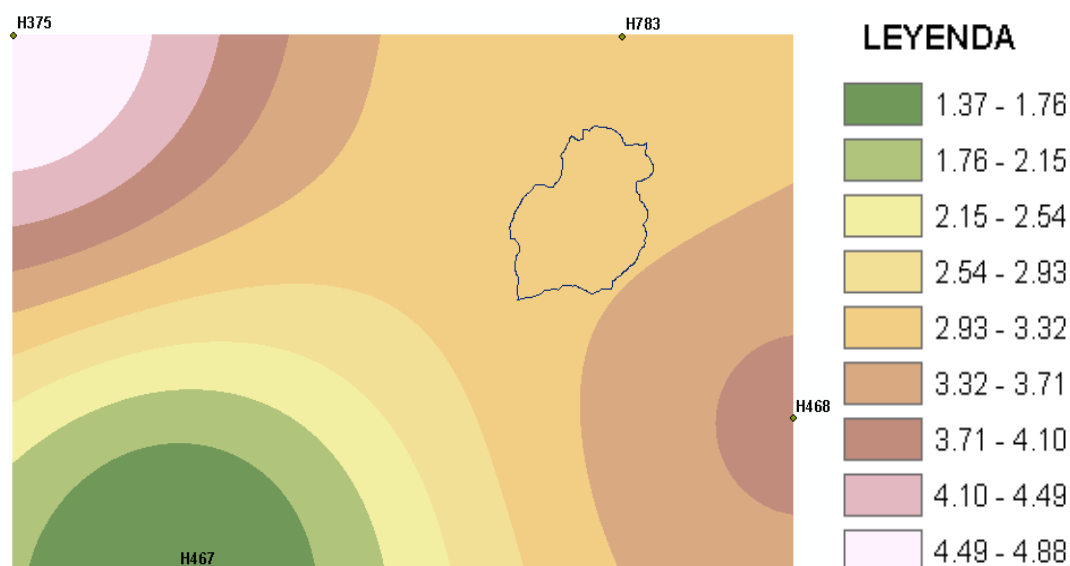


Figura 61. Rendimiento de la Microcuenca del Río Pomacocho (75 Km²)

Elaborado por: Autores, 2013.

Como se puede observar en la figura 61. la microcuenca del Río Pomacocho se encuentra en una zona correspondiente al intervalo de (2.93-3.32)m³/s.

- Series de Tiempo para cada banda de elevación

En las series de tiempo se identificará la estación más cercana al centroide de cada banda o la que tenga mejor información.

- Precipitación

Para calcular las series de tiempo correspondiente a la variable de precipitación se utilizará la siguiente ecuación:

$$P_c = P_e * F$$

Donde:

P_c= Precipitación mensual del catchment.

P_e= Precipitación mensual de la estación.

F= Factor de ajuste de precipitación y se calcula a través de la siguiente ecuación (Garcés & Ruiz, 2011):

$$F = \frac{Llzc}{Llze}$$

Donde:

Llzc= Precipitación media anual del catchment por isoyetas.

Llze=Precipitación media anual de la estación por isoyetas.

Al no tener estaciones en las zonas homogéneas dentro de la Microcuenca del Río Pomacocho se utilizará la estación más cercana al centroide de cada uno de los catchments.

Tabla 50. Series de tiempo para la variable precipitación,

Serie de tiempo de la variable Precipitación							
Banda - Catchment	Estación	Pe	Llzc	Llze	F	Pc	Observación
1 - 1	Cañar	43.4	87.6	41.1	2.1	92.5	Base
	Logroño	173.0	87.67	165.2	0.5	91.7	—
2 - 2	Chunchí	32.2	103.1	41.1	2.5	80.9	Base
	Achupallas	78.2	103.1	72.1	1.4	111.8	Base
	Alausí	45.9	103.1	41.1	2.5	115.2	—
	Guasuntos	41.5	103.1	41.1	2.5	104.2	—
3 - 3	Chunchí	32.2	103.1	41.1	2.5	80.9	Base
	Achupallas	78.2	103.1	72.1	1.4	111.8	Base
	Alausí	45.9	103.1	41.1	2.5	115.2	—
	Guasuntos	41.5	103.1	41.1	2.5	104.2	—

Elaborado por: Autores, 2013.

- Temperatura

Para obtener las series de tiempo de temperatura se utiliza la siguiente ecuación (Garcés & Ruiz, 2011):

$$Tc = Te * Fct * Ft$$

En donde:

T_c = Temperatura mensual del catchment

T_e = Temperatura mensual de la estación.

F_{ct} = Factor de temperatura correspondiente a la ecuación de la línea de tendencia

F_t = Factor de temperatura el mismo que se obtiene de la diferencia entre la altura de cada catchment con la altura de la estación índice.

Tabla 51. Serie de tiempo para la variable temperatura

Serie de Tiempo de Temperatura								
Banda - Catchment	Estación	T_e	F_{ct}	A_c	A_e	F_t	T_c	Observación
1-1	Cañar	11.6	9.3	3370	3083	287	31292.3	Base
	Chunchí	10.7	9.3	3370	2177	1193	119282.6	—
	Guasuntos	15.0	9.3	3370	2438	932	130652.2	—
2-2	Cañar	11.6	9.3	3870	3083	787	85808.6	Base
	Chunchí	10.7	9.3	3870	2177	1693	169275.3	—
	Guasuntos	15.0	9.3	3870	2438	1432	200744.6	—
3-3	Cañar	11.6	9.3	4370	3083	1287	140324.9	Base
	Chunchí	10.7	9.3	4370	2177	2193	219268.0	—
	Guasuntos	15.0	9.3	4370	2438	1932	270837.0	—

Elaborado por: Autores, 2013

- Caudal

La metodología usada para la series de caudales es muy similar a la que se empleo en la series de tiempo de precipitación. A continuación se especifica las formulas aplicadas para este fin.

$$C_c = C_e * F$$

Donde:

C_c = Caudal mensual del catchment

C_e = Caudal mensual de la estación.

F = Factor de ajuste del caudal es mismo que obtenida a través de la siguiente ecuación (Garcés & Ruiz, 2011).

$$F = \frac{C_{d c}}{C_{d e}}$$

$C_{d c}$ = Caudal promedio anual del catchment calculada con la isoyeta.

$C_{d e}$ = Caudal promedio anual de la estación calculada con la isoyeta.

7.1.1.3 Método para la Simulación en la Microcuenca

En el software WEAP existe diferentes métodos de simulación, la elección de uno de ellos dependerá de la complejidad del estudio a realizar y la disponibilidad de información. Para el desarrollo de este proyecto se ha escogido el método de Precipitación - Esguerrimiento también conocido como Modelo de Humedad del Suelo.

El método de precipitación esguerrimiento es el más complejo dentro del software, utiliza datos de suelo y climatológicos.

- Datos de uso de suelo

Para conocer el uso de suelo se realizó una intercepción entre el shape de cobertura vegetal correspondiente al año 2007; el cual fue obtenido en el Capítulo V correspondiente a clasificación digital de imágenes, por ser el

más reciente en este estudio, con el shape de las bandas de elevación; de esta manera se conoce el tipo de cobertura vegetal para cada banda.

A cada cobertura se le reasigna un tipo para el modelo WEAP; esta reclasificación se basa en el documento Modelación Hidrológica de la Cuenca Alta y Media del Río Pastaza Aplicando el Modelo de Simulación WEAP de (Lema & Plaza, 2009)

Tabla 52. Cobertura Vegetal para el software WEAP

Identificación	Cobertura	Tipo Cobertura en WEAP
1	Cuerpo de Agua	Cuerpo de agua
2	Páramo	Páramo
3	Pasto Cultivado	Cultivos Pasto
4	Vegetación Arbustiva	Pasto
5	Pasto Natural	Pasto
6	Vegetación Arbórea	Bosque

Elaborado por: Autores, 2013.

Posteriormente se obtiene el área de cada una de las coberturas en los catchments determinados anteriormente.

Tabla 53. Cobertura Vegetal de la Microcuenca para WEAP

Banda - Catchment	Cobertura WEAP	Área (Ha)
1 - 1	Páramo	105.37
	Cultivos Pasto	180.23
	Pasto	215.25
	Bosque	242.51
2 - 2	Cuerpo de Agua	232.52
	Páramo	3549.94
	Cultivos Pasto	617.47
	Pasto	210.23
3 - 3	Bosque	1419.55
	Cuerpo de Agua	27.23
	Páramo	416.93
	Cultivos Pasto	22.60
	Pasto	28.77
	Bosque	231.40
Total Áreas en la Microcuenca		7500.00

Elaborado por: Autores, 2013.

- Parámetros para el método humedad suelo requeridos por WEAP.
- Altura: Es importante conocer la altura de cada catchment determinados anteriormente y clasificarlos en alto medio o bajo según la tabla 54.

Tabla 54. Clasificación de altura para cada catchment.

Clasificación de altura para cada catchment	
Alto	3000 metros
Medio	Entre 3000 y 200 metros
Bajo	Menos a 2000 metros

Fuente: (Lema & Plaza, 2009)

En la tabla 55 se encuentra la clasificación de altura correspondiente a cada catchment determinados anteriormente.

Tabla 55. Altura para cada catchment de la Microcuenca.

Bandas - Catchments	Altura	Clasificación
1 - 1	3420	Alto
2 - 2	3700	Alto
3 - 3	4200	Alto

Elaborado por: Autores, 2013.

- Kc: Coeficiente de cultivo para cierto tipo de tierra. (Uso consuntivo que depende de la estacionalidad de tiempo o clima). Representa los efectos causados por la evapotranspiración vegetal y del suelo razón por la cual este parámetro está en función del tipo de cobertura vegetal, además es importante ya que nos permite conocer la humedad de suelo que se requiere para obtener una mejor producción de biomasa de cultivos.

Tabla 56. Kc para los diferentes tipos de uso de suelo.

Tipo de Uso de Suelo	Kc
Área Urbana_Degradada	1
Bosque	Variación mensual
Cultivos	
Cultivos Frutales	Variación mensual
Cultivos Maíz	Variación mensual
Cultivos Pasto	1
Cultivos Plantación	Variación mensual
Páramo	1
Pasto	1
Rocas	0.1
Tierras_infértiles	1

Fuente: (Lema & Plaza, 2009)

A continuación se detalla los valores de Kc para cada una de las coberturas existentes en la microcuenca del Río Pomacocho.

Tabla 57. Kc para cada tipo de uso de suelo de la Microcuenca.

Banda - Catchment	Cobertura WEAP	Kc
1 - 1	Páramo	1
	Cultivos Pasto	1
	Pasto	1
	Bosque	Variación Mensual
2 - 2	Páramo	1
	Cultivos Pasto	1
	Pasto	1
	Bosque	Variación Mensual
3 - 3	Páramo	1
	Cultivos Pasto	1
	Pasto	1
	Bosque	Variación Mensual

Elaborado por: Autores, 2013.

Para la cobertura bosque cuyo factor Kc depende de su variación mensual, este valor puede ser obtenido de la tabla 58.

Tabla 58. Kc para la cobertura Bosque.

Variación Mensual	Bosque	Cultivos		
		Frutales	Maíz	Plantación
Enero		0.7	0.36	1.3
Febrero	0.8	0.8	0.53	1.3
Marzo	0.9	0.9	0.7	1.3
Abril	1	1	0.86	1
Mayo	1.1	1.1	1	0.8
Junio	1.1	1.1	1.05	0.8
Julio	1.1	1.1	1.04	0.8
Agosto	1	1.1	0.92	0.8
Septiembre	1	1	0.77	0.8
Octubre	0.9	0.9	0.6	0.8
Noviembre	0.8	0.8	0.46	0.8
Diciembre	0.7	0.7	0.26	1.3

Fuente: (Lema & Plaza, 2009)

- Sw Capacidad de agua en la zona de la raíz: Se refiere al agua que mantiene la capa superficial del suelo y es medida en mm. Al igual que el factor Kc el factor Sw esta determinado para cada tipo de cobertura vegetal y se lo detalla en la siguiente tabla.

Tabla 7.11: Sw para los diferentes tipos de uso de suelo.

Tipo de Uso de Suelo	Sw
Área Urbana_Degradada	600
Bosque	750
Cultivos	
Cultivos Frutales	500
Cultivos Maíz	1000
Cultivos Pasto	950
Cultivos Plantación	700
Páramo	300
Pasto	950
Rocas	100
Tierras Infértiles	250

Fuente: (Lema & Plaza, 2009)

A continuación se especifica cada uno de los valores de Sw determinados para cada cobertura vegetal presentes en el área de estudio.

Tabla 59. Sw para cada tipo de uso de suelo de la Microcuenca.

Banda – Catchment	Cobertura WEAP	Sw
1 - 1	Páramo	300
	Cultivos Pasto	950
	Pasto	950
	Bosque	750
2 - 2	Páramo	300
	Cultivos Pasto	950
	Pasto	950
	Bosque	750
3 - 3	Páramo	300
	Cultivos Pasto	950
	Pasto	950
	Bosque	750

Elaborado por: Autores, 2013.

- Dw Capacidad de agua profunda: Es el agua que mantiene la capacidad de la capa profunda del suelo medida en mm, se determina para cada uno de los catchments y no esta en función del tipo de suelo o cobertura vegetal. Este parámetro se lo ignora en caso de que exista un caudal de retorno a un nudo de agua subterránea.

Tabla 60. Dw en función a la altura del catchment.

	Dw
Alto	2000
Medio	8000
Bajo	15000

Fuente: (Lema & Plaza, 2009)

Para la microcuenca del Río Pomacocho los valores de Dw son los que se indican en la tabla 61.

Tabla 61. Dw para cada catchment en la Microcuenca.

Bandas - Catchments	Clasificación	Dw
1 – 1	Alto	2000
2 – 2	Alto	2000
3 - 3	Alto	2000

Elaborado por: Autores, 2013

- Z1 inicial: Corresponde al almacenaje relativo expresado como porcentaje del almacenaje total efectivo de la capacidad de agua en la zona de la raíz (S_w). El valor de Z1 es constante para los diferentes tipos de cobertura siendo este correspondiente al 35%, excepto para los diferentes tipos de cultivo que poseen otros valores que se expresa a continuación.

Tabla 62. Z1 para cada Tipo de Uso de Suelo

Cultivos	Z1
Frutales	65
Maíz	75
Pasto	60
Plantación	70

Fuente: (Lema & Plaza, 2009)

Para el caso del área de la Microcuenca del Río Pomacocho solo existen cultivos de pasto por lo que el valor correspondiente de Z1 para toda la delimitación es de 60.

- Z2 inicial: Corresponde al almacenaje relativo expresado como porcentaje del almacenaje total efectivo de la capacidad de agua profunda (D_w); su valor no varía por el tipo de suelo y es rechazo en caso de que exista una relación de escurrimiento- infiltración al nudo de agua subterránea; al igual que el parámetro Z1 tiene un valor constante correspondiente al 35% y valores variables de

acuerdo a cada cultivo. Siendo para toda la delimitación de la Microcuenca en estudio un valor de 50 correspondiente al cultivo de pasto.

Tabla 63. Z2 para cada Tipo de Uso de Suelo

Cultivos	Z2
Frutales	50
Maíz	50
Pasto	50
Plantación	40

Fuente: (Lema & Plaza, 2009)

- Kd Conductividad profunda: conductividad longitud-tiempo de la capa saturada es decir $Z2=1$ expresada en milímetro por día; interviene en la transmisión del caudal base y es directamente proporcional a este; se lo determina para cada catchment.

Tabla 64. Kd en función a la altura de catchment

Cultivos	Kd
Alto	100
Medio	50
Bajo	30

Fuente: (Lema & Plaza, 2009)

Los valores para la Microcuenca en estudio se encuentran en la tabla 65.

Tabla 65. Kd para cada catchment de la Microcuenca.

Bandas - Catchments	Clasificación	Kd
1 - 1	Alto	100
2 - 2	Alto	100
3 - 3	Alto	100

Elaborado por: Autores, 2013.

- LAI Leaf área index: El índice de área foliar es usado para observar el comportamiento del escurrimiento superficial el cual

debe decrecer si los valores de este índice son altos. Va en un rango de 0.1 a 10 y está en función del tipo de suelo, en la tabla 66 se muestra estos valores.

Tabla 66. LAI para cada Tipo de Uso de Suelo

Tipo de Uso de Suelo	LAI
Área Urbana_Degradada	2
Bosque	5
Cultivos	
Cultivos Frutales	5
Cultivos Maíz	4
Cultivos Pasto	3
Cultivos Plantación	4
Páramo	3.5
Pasto	3
Rocas	1
Tierras Infértiles	1.6

Fuente: (Lema & Plaza, 2009)

Los valores para la microcuenca del Río Pomacocho se encuentran en la tabla 67.

Tabla 67. LAI para cada tipo de uso de suelo de la Microcuenca.

Banda - Catchment	Cobertura WEAP	LAI
1 - 1	Páramo	3.5
	Cultivos Pasto	3.0
	Pasto	3.0
	Bosque	5.0
2 - 2	Páramo	3.5
	Cultivos Pasto	3.0
	Pasto	3.0
	Bosque	5.0
3 - 3	Páramo	3.5
	Cultivos Pasto	3.0
	Pasto	3.0
	Bosque	5.0

Elaborado por: Autores, 2013.

- Ks Conductividad en la zona de la raíz: Conductividad d la zona de la raíz a la saturación es decir con un valor de $z_1=1$, este parámetro varía según el tipo de uso de suelo y cobertura vegetal. Los valores de Ks se expresan a continuación.

Tabla 68. Ks para cada tipo de uso de suelo

Tipo de Uso de Suelo	Ks
Área Urbana_Degradada	150
Bosque	150
Cultivos	
Cultivos Frutales	150
Cultivos Maíz	150
Cultivos Pasto	150
Cultivos Plantación	150
Páramo	300
Pasto	150
Rocas	150
Tierras Infértiles	150

Fuente: (Lema & Plaza, 2009)

En la tabla 69 se encuentran los valores de Ks para la Microcuenca.

Tabla 69. Ks para cada tipo de uso de suelo en la Microcuenca

Banda - Catchment	Cobertura WEAP	Ks
1 - 1	Páramo	300.0
	Cultivos Pasto	150.0
	Pasto	150.0
	Bosque	150.0
2 - 2	Páramo	300.0
	Cultivos Pasto	150.0
	Pasto	150.0
	Bosque	150.0
3 - 3	Páramo	300.0
	Cultivos Pasto	150.0
	Pasto	150.0
	Bosque	150.0

Elaborado por: Autores, 2013.

- RRF Dirección del flujo preferente: Reparte el caudal entre caudal poco profundo y caudal hacia la capa de agua subterránea es

decir que controla la respuesta del escurrimiento superficial; está en función del uso del suelo y si tiene un valor de 1 quiere decir que es 100% horizontal o si posee un valor de 0 es 100% vertical por lo tanto este parámetro está relacionado a factores como pendiente del terreno y área foliar. Los valores de RRF se encuentran a continuación.

Tabla 70. RRF en función a la altura del catchment

Cultivos	RRF
Alto	0.4
Medio	0.2
Bajo	1

Fuente: (Lema & Plaza, 2009)

Los valores de RRF para la microcuenca del Río Pomacocho son:

Tabla 71. RRF para cada catchments en la Microcuenca

Bandas - Catchments	Clasificación	RRF
1 - 1	Alto	0.4
2 - 2	Alto	0.4
3 - 3	Alto	0.4

Elaborado por: Autor, 2013.

- pfd Dirección de flujo preferente: Es usado en el reparto de flujo entre el estrato de la raíz al agua subterránea, varía de acuerdo a la cobertura vegetal y sus valores va de 0-1 siendo 0 una dirección 100% vertical del flujo y 1 una dirección 100% horizontal. En la tabla 72 se expresa los posibles valores para el parámetro pfd.

Tabla 72. pfd en función de la altura de los catchment

Cultivos	pfd
Alto	0.6
Medio	0.4
Bajo	0.15

Fuente: (Lema & Plaza, 2009)

Los valores de pfd para la microcuenca son los siguientes.

Tabla 73. pfd para cada catchment de la Microcuenca

Bandas - Catchments	Clasificación	Pfd
1 - 1	Alto	0.6
2 - 2	Alto	0.6
3 - 3	Alto	0.6

Elaborado por: Autores, 2013.

Para el ingreso de estos parámetros en WEAP se puede usar ciertas claves denominadas Key assumptions; las cuales nos permiten realizar funciones básicas y mecanizar el ingreso de estos datos.

Tabla 74. Expresión para el ingreso en el software de las claves.

Supuesto Clave	Expresión
Kc	Key\Kc\ (Tipo de cobertura vegetal)
Sw FactorSw	Key\Sw\ (Tipo de cobertura vegetal) Key\Sw\ (Clasificación por altura)
Dw	Key\Dw\ (Clasificación por altura)
Z1 (Pasto)	Key\Z1\Pasto
Kd Factor Kd	Key\Kd\ (Clasificación por altura) Key\FactorKd\ (Clasificación por altura)
LAI	Key\LAI\ (Tipo de cobertura vegetal)
Ks FactorKs	Key\Ks\ (Tipo de cobertura vegetal) Key\Ks\ (Clasificación por altura)
RRF FactorRRF	Key\RRF\ (Clasificación por altura) Key\FactorRRF\ (Clasificación por altura)
pfd Factor pfd	Key\pfd\ (Clasificación por altura) Key\Factorpfd\ (Clasificación por altura)

Fuente: (Lema & Plaza, 2009)

- Datos Climáticos

El software WEAP permite importar datos desde Excel con el fin de facilitar la alimentación de información, para esto es importante que el archivo sea grabado con extensión csv y que tenga el siguiente formato:

Tabla 75. Formato para el ingreso de datos climáticos

		# de Columna						
Año	Mes	1	2	3	4	5	6	7
Estaciones Base de Temperatura (°C)		TM	TM 008					
Humedad Relativa (%)		M004	M008					
Velocidad del Viento(m/s)								
1982	1							
1982	2	VALORES PROPORCIONADOS POR EL	VALORES PROPORCIONADOS POR EL	VALORES PROPORCIONADOS POR EL	VALORES PROPORCIONADOS POR EL	VALORES PROPORCIONADOS POR EL	VALORES PROPORCIONADOS POR EL	VALORES PROPORCIONADOS POR EL
1982	3	INAMHI	INAMHI	INAMHI	INAMHI	INAMHI	INAMHI	INAMHI
1982	4							
1982	5							
1982	6							
1982	7							
1982	8							
1982	9							
1982	10							
1982	11							
1982	12							
.....							
.....							
.....							
.....							
n	n							

Fuente: (Garcés & Ruiz, 2011)

De esta manera se ingresan las variables correspondientes a precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento; además se requiere que estos datos sean grabados dentro de una carpeta ubicada en archivos de programa-WEAP para que dicho software pueda reconocerlos. Cada una de las variables tiene que ser ingresadas mediante una expresión que se detalla a continuación.

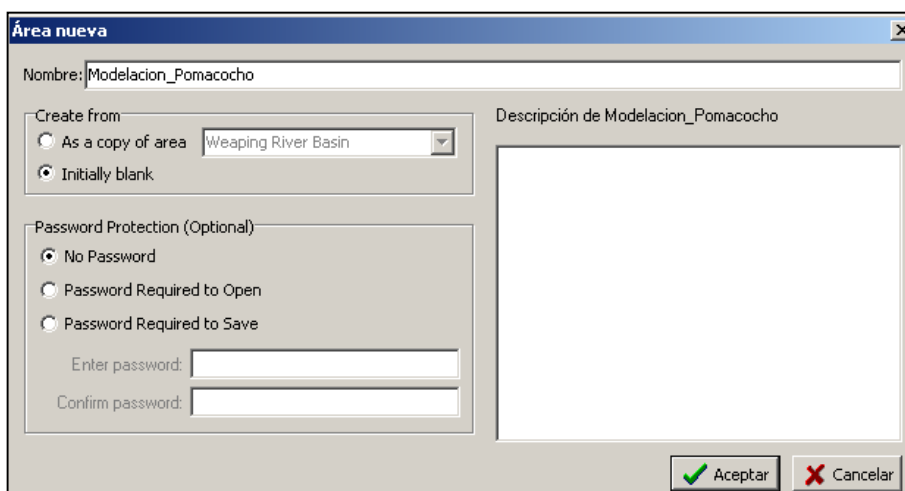
Tabla 76. Expresión para el ingreso de datos climáticos.

Parámetro Meteorológico	Expresión
Temperatura	ReadFromFile (((Carpeta de datos)\(Archivo CSV de la estación base).CSV,(#de columna) +Key\FromTemp\Nombre del catchement)
Humedad	ReadFromFile (((Carpeta de datos)\(Archivo CSV de la estación base).CSV,(#de columna)
Viento	ReadFromFile (((Carpeta de datos)\(Archivo CSV de la estación base).CSV,(#de columna)

Fuente: (Garcés & Ruiz, 2011)

En el Anexo digital F.1 se encuentran los datos climáticos ingresados en el software WEAP. A continuación se indica de una manera breve los pasos a seguir para modelar en el software WEAP.

1.- Se crea una nueva área de trabajo.

**Figura 62.** Pantalla de nueva área de trabajo del software WEAP

Elaborado por: Autores, 2013.

2.- Se selecciona a nivel regional cual va a ser el area que se va a trabajar para este caso se selecciono el Ecuador y a mas detalle la provincia de Chimborazo.

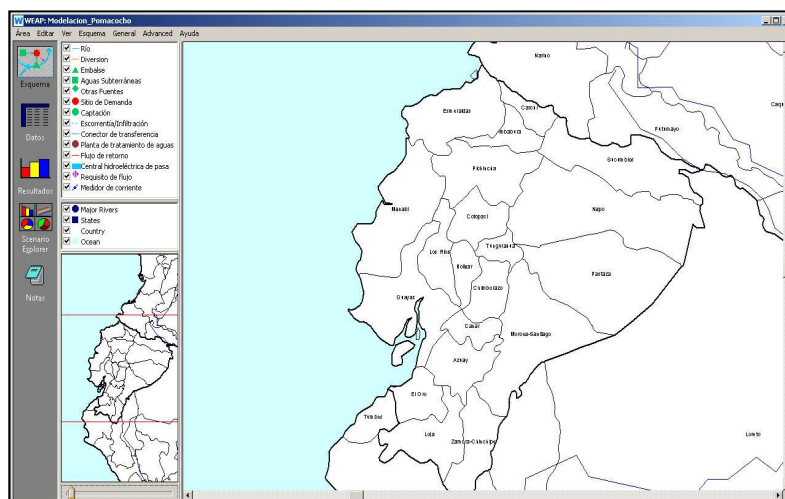


Figura 63. Selección del área de trabajo en WEAP

Elaborado por: Autores, 2013.

3.- Se añade el área de estudio conjuntamente con la microcuenca a modelar.

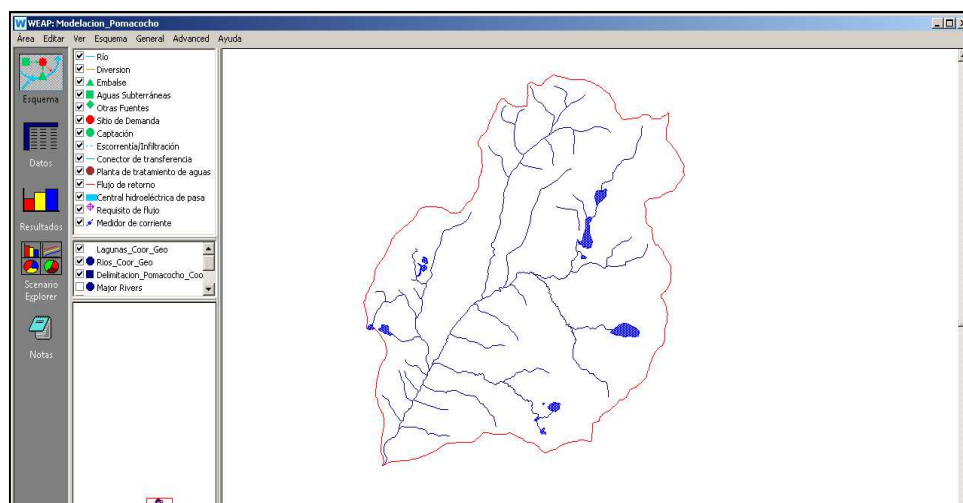


Figura 64. Shp de la microcuenca en estudio en WEAP

Elaborado por: Autores, 2013.

4.- Posteriormente se establece los años a modelar

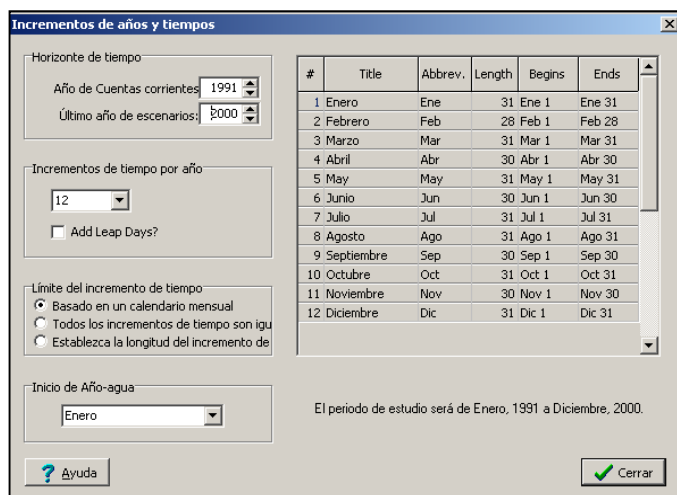


Figura 65. Selección de años a modelar en WEAP

Elaborado por: Autores, 2013.

5.- Como el objetivo es modelar caudales se crea los puntos de captaciones y de aforo; los puntos de captaciones representan los lugares representativos del área de la microcuenca en donde van a ser ingresados los datos de uso de suelo; y el punto de aforo esta expresado por las coordenadas de donde se tiene datos de aforo en la medición de caudales.

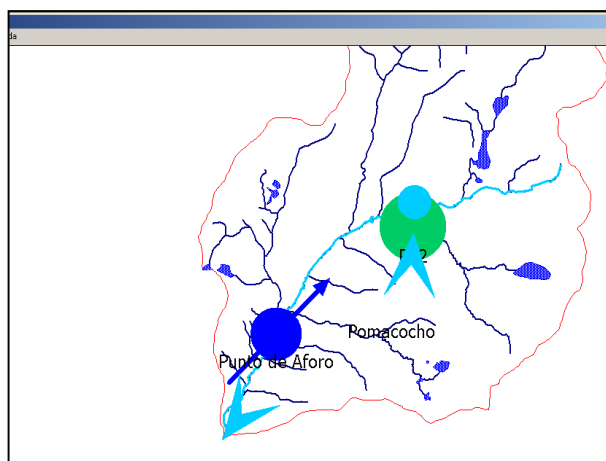


Figura 66. Creación de punto de aforo y catchments en WEAP

Elaborado por: Autores, 2013.

6.- Se escoge el método a ser usado para la modelación de la micocuenca; en este caso se eligió el método de Precipitación - Esguerrimiento también conocido como Modelo de Humedad del Suelo.

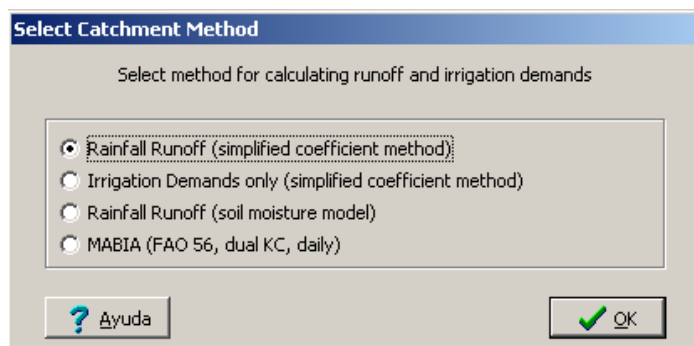


Figura 67. Selección del método a modelar en WEAP

Elaborado por: Autores, 2013.

7.- Se ingresan los datos de suelo a través de los key assumptions

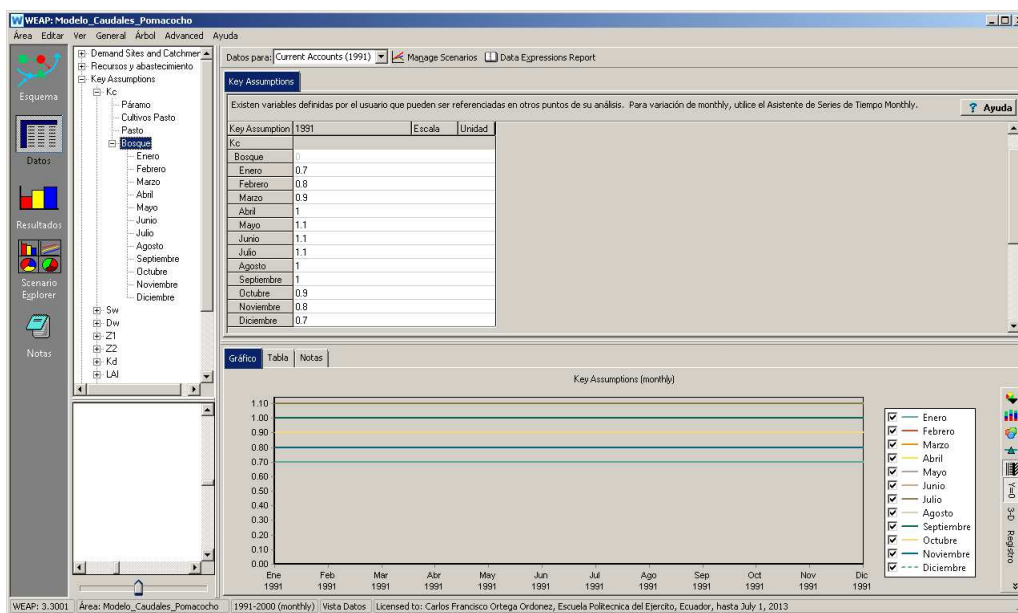


Figura 68. Ingreso de datos de suelo en WEAP

Elaborado por: Autores, 2013.

8.- Finalmente los datos de clima (precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad de viento) y caudales mediante las expresiones indicadas anteriormente.

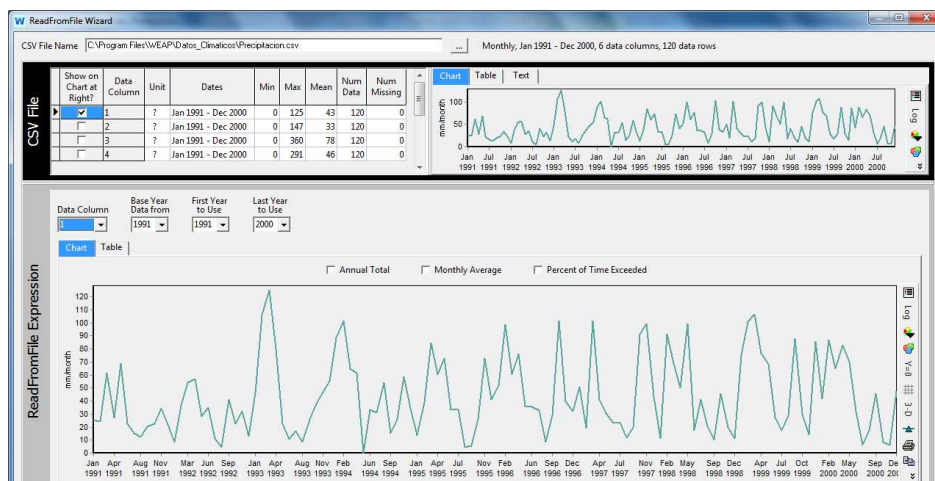


Figura 69. Ingreso de datos de clima en WEAP.

Elaborado por: Autores, 2013

9.- Se obtiene el modelo de la microcuenca.

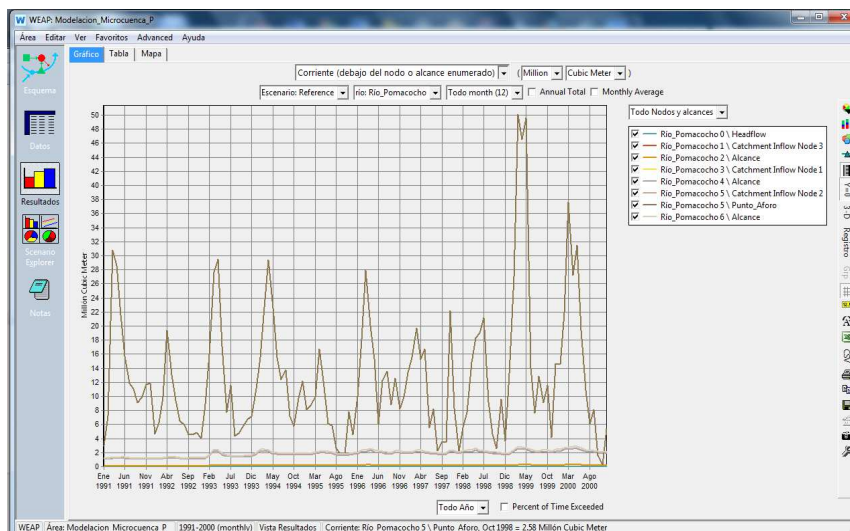


Figura 70. Modelo de caudales sin calibrar en WEAP.

Elaborado por: Autores, 2013

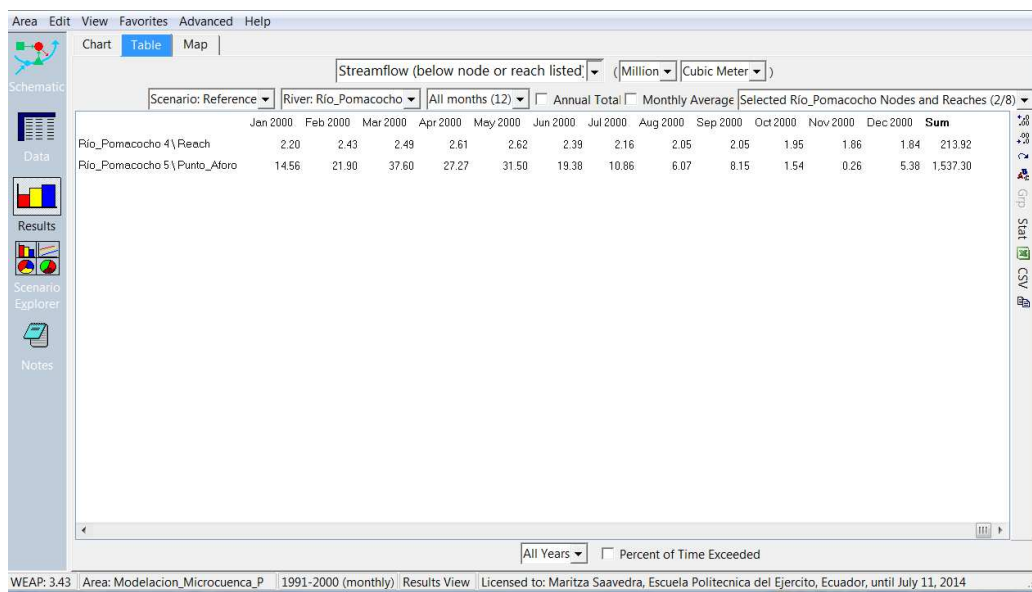


Figura 71. Valores de caudales sin calibrar en WEAP

Elaborado por: Autores, 2013.

Como se puede observar en la figura 70 y 71 se obtiene caudales de cada mes en el período de 1991-2000, período escogido para la modelación. Estos resultados están sin calibrar; motivo por el cual la curva de aforo no coincide en ningún punto con la curva modelada.

A continuación se detalla el proceso para calibrar el modelo.

7.1.1.4 Calibración del Modelo.

La calibración del modelo se divide en dos procesos fundamentales uno realizado en el software WEAP y otro realizado de manera manual; y tiene como fin garantizar el mejor ajuste de los datos modelados versus los observados.

El proceso realizado en el software consiste en variar los valores de los factores Sw , RRF , Multiplicador Ks , Kd , pfd y Dw ; según su sensibilidad al modelo.

La tabla 77 muestra los valores de los factores mencionados, con los cuales se obtuvo la mejor calibración del modelo

Tabla 77. Factores de corrección para la calibración del modelo

Factor	Valor
Sw	15000
RRF	0.01
Multiplicador Ks	0.000001
Kd	10
pdf	0.000001
Dw	10

Elaborado por: Autores, 2013.

El proceso manual se lo realiza a través del Bias y Nash. El Bias es un medidor estadístico que proviene de la siguiente fórmula:

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{s,i} - Q_{o,i})^2}{n}$$

Donde:

Q_s_i= Caudales simulados para cada paso de tiempo i

Q_o_i=Caudales observados para cada paso de tiempo i

n= Número de datos para la correlación

Mientras menor es el valor de Bias existe mejor correspondencia entre los datos observados y simulados, este valor puede ser positivo o negativo, que indica una sobre estimación o sub estimación respectivamente de los datos observados.

El Nash corresponde a otro medidor estadístico, cuyo valor mientras más se acerca a uno existe mayor correlación entre los datos observados y simulados. Se lo expresa a través de la siguiente fórmula:

$$Ef = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{s,i} - Q_{o,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - \bar{Q}_o)^2}$$

Donde:

$Q_{s,i}$ = Caudales simulados para cada paso de tiempo i

$Q_{o,i}$ = Caudales observados para cada paso de tiempo i

n = Número de datos para la correlación.

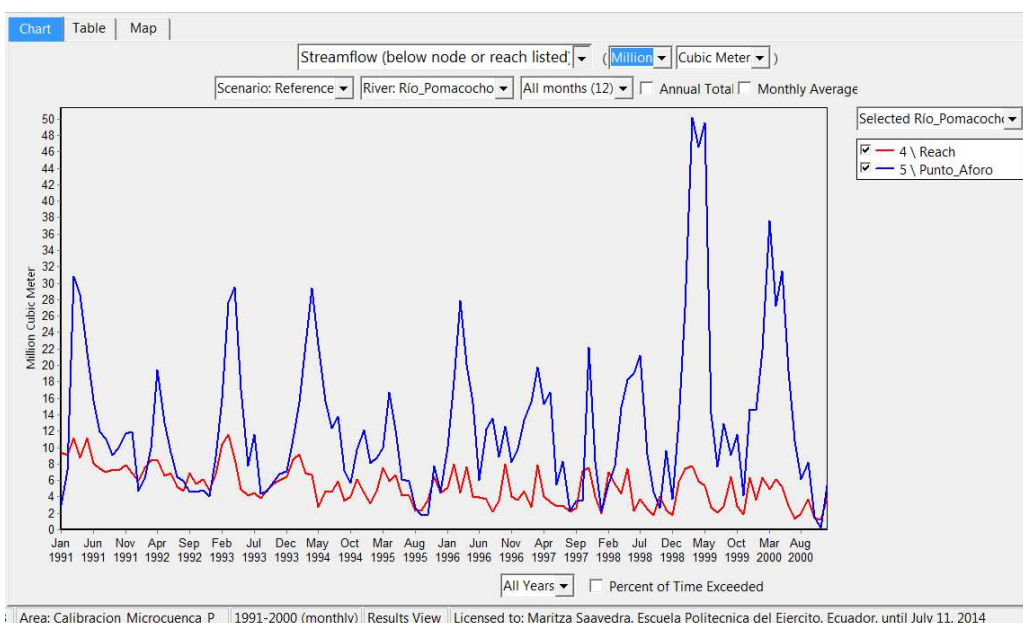


Figura 72. Diagrama de caudales calibrados en WEAP

Elaborado por: Autores, 2013.

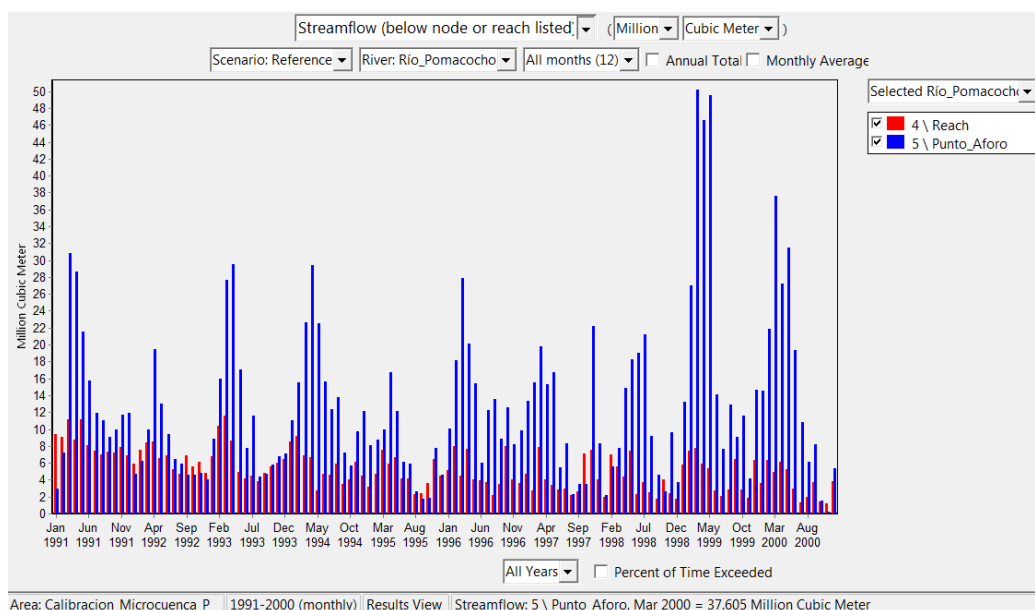


Figura 73. Diagrama de barras de caudales calibrados en WEAP

Elaborado por: Autores

Las figuras 72 y 73 nos muestran los resultados arrojados por el WEAP luego de una calibración; tanto la línea como la barra de color azul representan el alcance es decir lo que se modelo, y las barras y líneas de color rojo representan los aforos.

Se puede observar que el mayor caudal se encuentra en los años de 1999 y 2000, cabe recalcar que estos resultados están dados en medidas de volumen.

La eficiencia de la mejor calibración del modelo se lo obtiene con el cálculo del Bias y Nash; los valores que se obtuvo de estos indicadores estadísticos son los siguientes.

Bias= -58.7888532

Nash= 0.999997491

Al ser el Bias negativo nos indica una subestimación de los datos y mientras más bajo sea este valor existe una mejor correspondencia, por lo que esta calibración se la puede considerar aceptable con este medidor estadístico.

En cuanto al Nash mientras más se acerque a uno existe una mejor correlación por lo tanto la calibración también es aceptable para este medidor estadístico. En el Anexo digital F.2 se puede observar el cálculo respectivo.

7.1.1.5 Escenarios Futuros.

Los escenarios futuros tienen como fundamento representar impactos futuros de una región geográfica específica a través de la relación de variables climáticas observadas y proyectadas.

Para este estudio se ha decidido obtener los datos del modelo PRECIS “Providing Regional Climates for Impacts Studies”, modelo climático regional que tiene una resolución aproximada de 50 Km en lo horizontal es decir de $0.44^\circ \times 0.44^\circ$ es utilizado para la generación de proyecciones futuras; dentro del modelo PRECIS se utiliza el modelo ECHAM A2 cuyos datos comprenden desde el año de 1991 hasta el año 2099; siendo el periodo a modelar desde el 1991- al 2020.

Los datos del modelo ECHAM A2 expresan los valores de cambio en porcentaje, razón por la cual se utiliza el dato medio de cada variable por mes para obtener los nuevos datos de las variables escogidas. Los datos originales de Precis Echam A2 se encuentran en el Anexo digital F.3 En la

tabla se puede ver un ejemplo de los datos Precipitación Echam de un área específica.

Tabla 78. Ejemplo de datos Precipitación - Echam de la variable

Year,Month	-6.5_-81.5	-6.5_-81.25	-6.5_-81	-6.5_-80.75	-6.5_-80.5	-6.5_-80.25	-6.5_-80	-6.5_-79.75	-6.5_-79.5	-6.5_-79.25	-6.5_-79	-6.5_-78.75	-6.5_-78.5	-6.5_-78.25
1991/1	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.6	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
1991/2	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.6	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
1991/3	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.6	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
1991/4	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.6	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
1991/5	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.6	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
1991/6	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.6	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
1991/7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.6	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
1991/8	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.6	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
1991/9	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.6	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
1991/10	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.6	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
1991/11	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.6	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
1991/12	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.6	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
1992/1	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.1	-0.3	0.1	0.3	0.5	0.5
1992/2	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.1	-0.3	0.1	0.3	0.5	0.5
1992/3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.1	-0.3	0.1	0.3	0.5	0.5
1992/4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.1	-0.3	0.1	0.3	0.5	0.5
1992/5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.1	-0.3	0.1	0.3	0.5	0.5
1992/6	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.1	-0.3	0.1	0.3	0.5	0.5
1992/7	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.1	-0.3	0.1	0.3	0.5	0.5
1992/8	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.1	-0.3	0.1	0.3	0.5	0.5
1992/9	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.1	-0.3	0.1	0.3	0.5	0.5
1992/10	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.1	-0.3	0.1	0.3	0.5	0.5
1992/11	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.1	-0.3	0.1	0.3	0.5	0.5
1992/12	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.1	-0.3	0.1	0.3	0.5	0.5

Fuente: PACC - PRECIS
Elaborado por: Autores, 2013.

Para procesar los datos obtenidos en el modelo Precipitación Echam y utilizarlos para la generación de escenarios futuros en el modelo WEAP se siguió una serie de procesos que se detallan a continuación:

- Escoger los datos a ser utilizados de acuerdo a la latitud y longitud del área de estudio y de las estaciones que se usaron para el modelo WEAP.
- Calcular los valores de cada una de las variables con un dato conocido, para este proyecto se utiliza el dato medio mensual de cada una de las variables en cada año a modelar.

- Mediante la siguiente fórmula se calcula un valor de ajuste

$$\delta P_m^{ip} = \frac{\bar{P}_{PRECISBL,m}^{ip}}{\bar{P}_{Obs,m}^{ip}}, \quad \delta T_m^{it} = \bar{T}_{PRECISBL,m}^{it} - \bar{T}_{Obs,m}^{it}$$

Donde:

PRECISBL= datos climatológicos simulados con el PRECIS.

Obs= datos climatológicos observados por estaciones.

Finalmente con este valor de ajuste se obtienen los datos que van a ser ingresados en WEAP con el mismo formato que se detallo anteriormente para ingresar datos meteorológicos en el software. Los datos ajustados ECHAM A2 se encuentran en el Anexo digital F.4 El proceso a seguir para crear escenarios futuros en el software WEAP es el mismo que se siguió para el proceso de modelación, con la única diferencia que en los datos climáticos se ingresaran los datos PRECIS especificados anteriormente. A continuación se observa la generación de escenarios futuros.

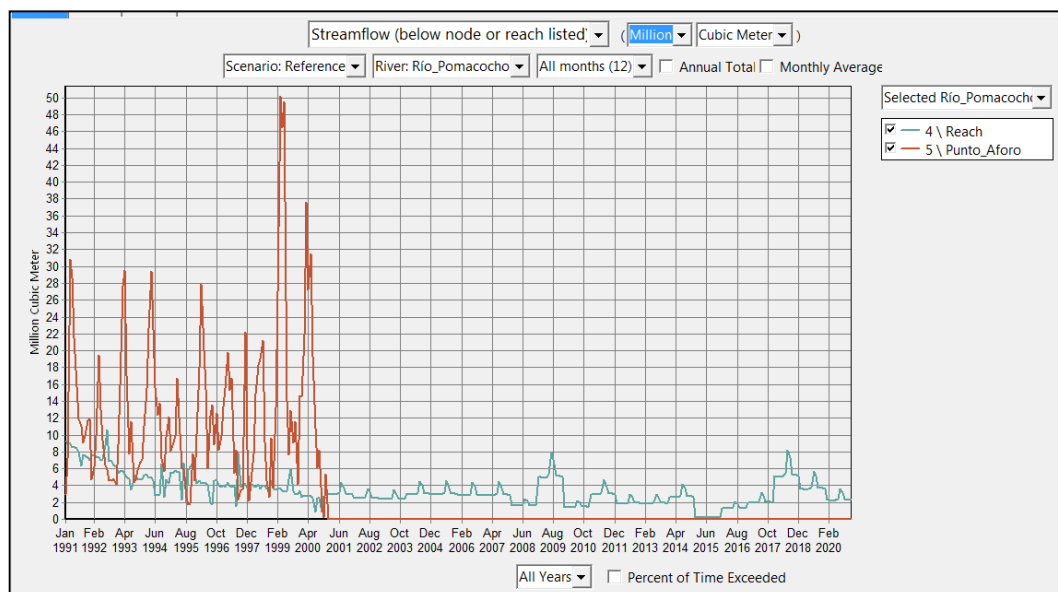


Figura 74. Diagrama de escenarios futuros en WEAP.

Elaborado por: Autores, 2013.

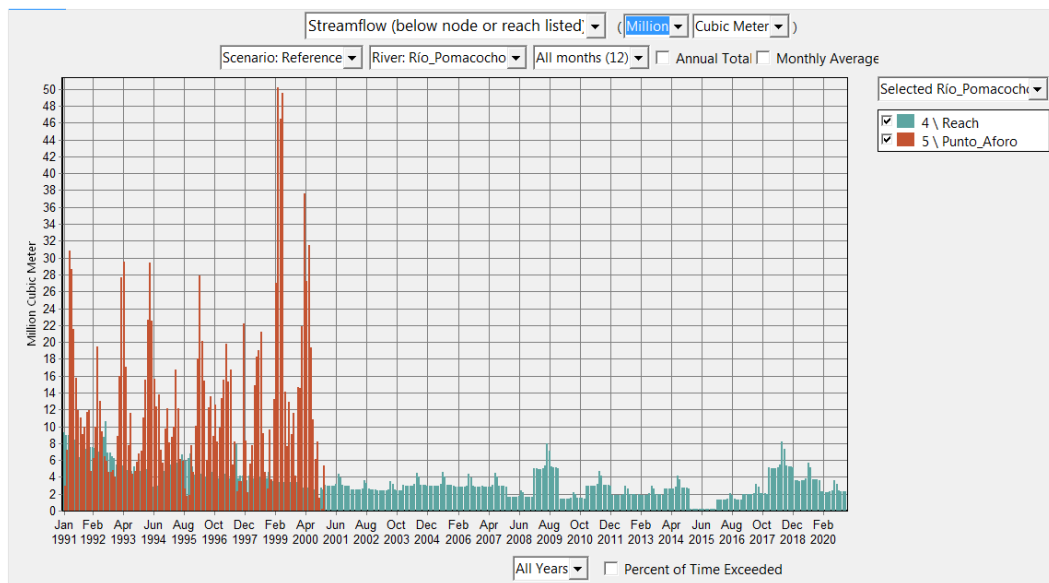


Figura 75. Diagrama de barras de escenarios futuros en WEAP.

Elaborado por: Autores, 2013.

En la predicción de escenarios futuros según la figura 74 y 75 se observa que tienden a disminuir la generación de caudales, esto se puede deber a diferentes causas como por el ejemplo el calentamiento global, deforestación y pérdida de cobertura vegetal; teniendo que posiblemente se tendrá una pequeña crecida aunque no significativa entre los años de 2018 y 2020.

7.1.2 Modelo Hidrológico HEC – HMS.

El modelo hidrológico HEC – HMS permite simular la respuesta que tendrá una determinada cuenca en su escurrimiento superficial como producto de una precipitación. Para este estudio se realizará la modelación de caudales picos en la Microcuenca del Río Pomacocho con el método denominado número de curva. Estos modelos son muy útiles para el diseño de obras de infraestructura (puentes, alcantarillas, represas, etc.).

Los datos que se requiere ingresar para la alimentación del modelo son los siguientes:

7.1.2.1 Número de Curva.

El método a usar para modelar la microcuenca del Río Pomacocho es SCS Curver Number; este método fue desarrollado por el Servicio de Conservación de suelos de los Estados Unidos.

Este método se lo usa para determinar la precipitación neta o precipitación en exceso a partir de los parámetros de la cuenca y datos de precipitación.

El número de curva es un parámetro empírico que resulta de la combinación del tipo de suelo, cobertura vegetal y grupo hidrológico de suelo.

7.1.2.2 Cobertura Vegetal.

La cobertura vegetal del área de estudio fue detallada anteriormente en el Capítulo V Análisis Multitemporal de la Microcuenca del Río Pomacocho.

7.1.2.3 Grupo Hidrológico del suelo.

El grupo hidrológico está en función a la textura del suelo; puesto que en el área de estudio el mayor porcentaje del suelo corresponde a Inceptisoles-Andepts-Cryandepts, (Capítulo III), los mismo que poseen una predominancia de textura franco a franco limosas, se determina que el grupo hidrológico de la microcuenca es de tipo B (Suelo Permeable).

Tabla 79. Grupo Hidrológico del suelo a través de su textura

Tipos de Suelo	Textura del Suelo
A	Suelos muy permeables: Arenas con poco limo y arcilla
B	Suelos permeables: Arenas finas y limos
C	Suelos impermeables: Arenas muy finas, limos, suelos con alto contenido de arcilla
D	Suelos muy impermeables: Arcillas en grandes cantidades; suelo poco profundos con subhorizontes de roca sana

Fuente: (Aparicio, 1992)

Con estos datos se termina que el Numero de Curva a usar en la alimentación del modelo HEC - HMS es de 86; valor determinado mediante la tabla 80.

Tabla 80. Número de la Curva

Uso de la tierra y cobertura	Tratamiento del suelo	Pendiente del terreno	Tipos de Suelos			
			A	B	C	D
Sin cultivo	Surcos rectos	-----	77	86	91	94
	Surcos rectos	>1	72	81	88	91
Cultivos en surcos	Contorneo	<1	67	78	85	89
		>1	70	79	84	88
	Terrazas	<1	65	75	82	86
		>1	66	74	80	82
Cereales	Surcos rectos	<1	62	71	78	81
		>1	65	76	84	88
	Contorneo	<1	63	75	83	87
		>1	63	74	82	85
Terrazas	<1	61	73	81	84	
	>1	61	72	79	82	
Leguminosas o praderas con rotación	Surcos rectos	<1	59	70	78	81
		>1	66	77	85	89
	Contorneo	<1	58	72	81	85
		>1	64	75	83	85
Terrazas	<1	55	69	78	83	
	>1	63	73	80	83	
Pastizales	-----	<1	51	67	76	80
		>1	68	79	86	89
	Contorneo	<1	39	61	74	80
		>1	47	67	81	88
Pradera permanente	-----	<1	6	35	70	79
		>1	30	58	71	78
Bosques Naturales	Muy ralo	-----	56	75	86	91
	Ralo	-----	46	68	78	84
	Normal	-----	36	60	70	77
	Espeso	-----	26	52	62	69
	Muy espeso	-----	15	44	54	61
Caminos	terracería	-----	72	82	87	89
	superficie dura	-----	74	84	90	92

Fuente: (Aparicio, 1992).

Para comprobar este resultado se utilizó un programa desarrollado conjuntamente por la Universidad Técnica Particular de Loja, Pontificia Universidad Católica del Ecuador y la Universidad Nacional de Chimborazo, llamado Laboratorio Virtual de Hidrología (Hydrovelab), proyecto financiado por CEDIA (<http://www.hydrovlab.utpl.edu.ec/hydrovlexperimentos/error.aspx>).

En el cual a través de los datos especificados anteriormente se obtiene el número de curva, la precipitación efectiva y la retención superficial, como un agregado a este estudio.

b.utpl.edu.ec/hydrovlexperimentos/simulación/lluviaEscorentia/NumeroCurva.aspx

INFILTRACION NÚMERO DE LA CURVA

[DESCARGAR MANUAL](#)
[VIDEO TUTORIAL](#)

DATOS DE ENTRADA

ÁREA DE LA CUENCA Ad (km ²)	72.7
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL L (km)	13.95
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE J (m / m)	0.0577
PRECIPITACIÓN TOTAL Pt (mm)	118.1

DETERMINAR EL NÚMERO DE LA CURVA (CN)

VER TABLA CN ▶

<p>USO DE LA TIERRA Y COBERTURA</p> <p>Tratamiento del suelo</p> <p><input checked="" type="radio"/> Surcos radiales</p> <p><input type="radio"/> Contorneo</p> <p><input type="radio"/> Terrazas</p> <p><input type="radio"/> No definido</p> <p><input checked="" type="radio"/> CN1 SUELOS SECOS</p> <p style="text-align: center;">72</p> <p>PRECIPITACIÓN EFECTIVA Pe (mm)</p> <p style="text-align: center;">79.8</p> <p>RETENCIÓN SUPERFICIAL (mm)</p> <p style="text-align: center;">38.31</p> <p style="text-align: center;">EJEMPLO</p>	<p>Sin cultivo</p> <p>Pendiente del terreno (%)</p> <p><input type="radio"/> > 1</p> <p><input type="radio"/> < 1</p> <p><input checked="" type="radio"/> No definido</p> <p><input checked="" type="radio"/> CN2 SUELO INTERMEDIO</p> <p style="text-align: center;">86</p>	<p>Tipo de suelo</p> <p><input type="radio"/> Tipo A</p> <p><input checked="" type="radio"/> Tipo E</p> <p><input type="radio"/> Tipo C</p> <p><input type="radio"/> Tipo D</p> <p><input checked="" type="radio"/> CN3 SUELO HÚMEDO</p> <p style="text-align: center;">93</p> <p style="text-align: center;">LIMPIAR</p>
---	--	---

Copyright © 2009-2011 Hydrovlab UTPL. All Rights Reserved.

Figura 76. Infiltración Número de Curva

Elaborado por: Autores, 2013.

7.1.2.4 Porcentaje de Impermeabilidad

Para saber el porcentaje de impermeabilidad se utiliza el mapa hidrogeológico explicado en el capítulo III correspondiente a caracterización

del recurso, el mismo que nos da la permeabilidad del suelo y mediante una diferencia se obtiene el porcentaje de impermeabilidad. El cálculo de impermeabilidad lo podemos encontrar en el Anexo digital F.5.

7.1.2.5 Datos del Pluviógrafo.

Debido a que el software HEC-HMS modela los caudales pico a través de los datos de precipitación de un día, se requiere datos de pluviógrafos los cuales no existen en la zona de estudio debido a su cese de funcionamiento; motivo por el cual se decide generar estos datos a través de la metodología aplicada por el Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM) y el Instituto Espacial Ecuatoriano.

Esta metodología se basa en hacer una zonificación en zonas pluviométricas homogéneas debido a la gran variedad de regiones climáticas existentes. En la figura 7.21 se puede observar las estaciones y su respectiva zona pluviométrica.

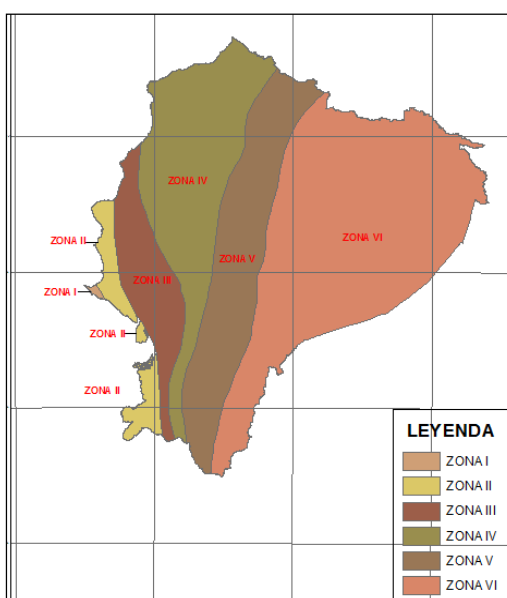


Figura 77. Zonificación de Zonas Pluviométricas del Ecuador.

Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano. **Elaborado por:** Autores, 2013

Zona I (Muy seca): Cubre apenas una pequeña parte de la península de Santa Elena, Las estaciones más representativas de esta zona son Salinas, La Libertad y Ancón.

Zona II (Seca): Cubre aproximadamente de 30 a 50 Km de ancho; sus estaciones más representativas son Manta, Playas, Machala y Zapotillo.

Zona III (Occidental de transición): Tiene un ancho máximo de 100Km. Sus estaciones más representativas son: Portoviejo, Guayaquil y Pasaje.

Zona IV (Occidental Húmeda): Va de norte a sur a lo largo de la cordillera, posee cierto grado de heterogeneidad debido a la orografía de este sector, posee un reducido número y distribución geográfica de estaciones, razón por la cual no permite realizar una relación entre altitud y lluvia. Sus estaciones más representativas son: Pichilingue, Puerto Ila, Santo Domingo, Lita, Portovelo, El Corazón.

Zona V: (Callejón Interandino): En esta región se toma las estaciones ubicadas en el callejón interandino (estaciones lluviosas en los períodos de Enero a Mayo y de Octubre a Noviembre).

Zona VI: (Oriental Húmeda): Pertenece a la región amazónica la misma que está influenciada por masas de aire húmedo continental. Está constituido por las estaciones septentrionales de Tena, Tiputini y Putamayo; y por las estaciones de Pastaza, Limoncocha, Zamora y el Puyo.

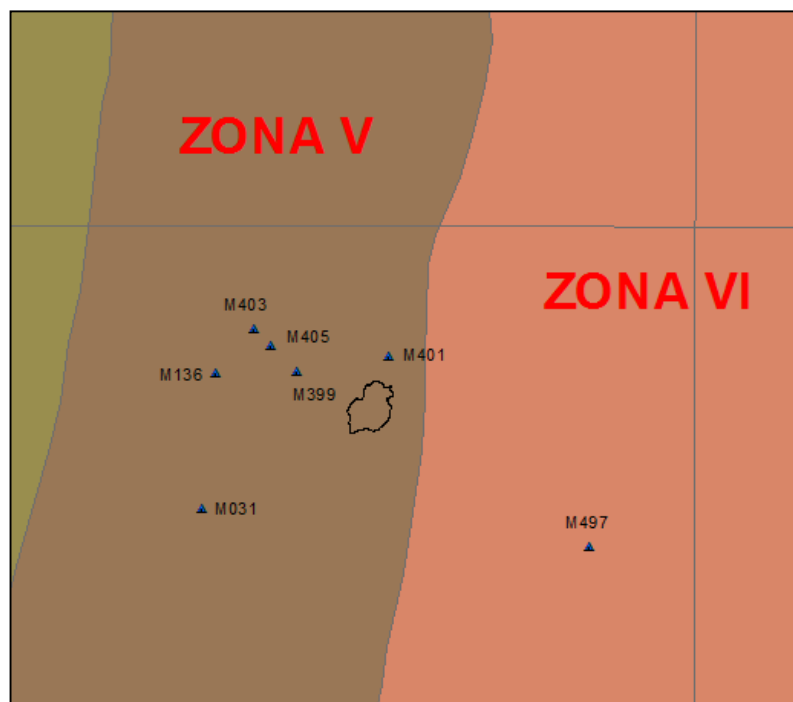


Figura 78. Zonas Pluviométricas de las estaciones en estudio

Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano. **Elaborado por:** Autores, 2013

Las estaciones de la zona de estudio se encuentran en la zona V (seis estaciones) y VI (una estación). Posteriormente se aplicará las fórmulas determinadas por la ORSTON para cada zona de estudio y se calcula las intensidades cada 5 min hasta una hora de intensidad.

Tabla 7.34. Fórmulas realizadas por la ORSTON para el cálculo de intensidades para cada zona.

Parámetro	Zona V	Zona VI	
	T < 1 Hora	T < 15 Minutos	T 15 Minutos – 1 Hora
I1	$I1 = 0.61 Hm^{-3}$	$I1 = 0.66 * Hm$	$I1 = 0.50 * Hm$
I2	$I2 = I1 + 4$	$I2 = I1 + 7$	$I2 = I1 + 7$
I3	$I3 = 0.6950 * Hm^{-6}$	-	-
a1	$a1 = 0.0085 * I1 - 0.726$	$a1 = -0,250$	$a1 = -0,49$
a2	$a2 = -0.009 * I3 - 0.673$	-	-
b1	$b1 = -0.005 I1 + 0.281$	$b1 = 0,105$	$b1 = 0,11$
b2	$b2 = 0.508 * b1 + 0.001$	$b2 = 0,06$	$b2 = 0,055$

Fuente: (Pourrut, 1995)

$$I = K * t^{a1} * HM^n$$

Donde:

I= Intensidad de frecuencia mediana

t= Tiempo de duración

$$K = I1(I3 * 24^{(a2+1)})^{-n} \quad n = \frac{b1}{b3}$$

$$Hm = 0.025 * Pm - 0.007^a + 33$$

Pm= Mediana de la estación pluviométrica

A= Altura de la estación

Aplicando estas fórmulas se obtiene la Intensidades para una hora con variación de 5 minutos para cada una de las estaciones pluviométrica

Tabla 7.35. Intensidades cada 5 min para el área de estudio

ZONA V								
Estaciones (Código)								
	M031	M136	M399	M401	M403	M405	M497	
Intensidad	I_5	59.6	63.8	72.1	45.2	67.8	64.4	101.2
	I_{10}	38.6	41.6	47.6	28.5	44.5	42.1	85.1
	I_{15}	30.0	32.4	37.4	21.7	34.8	32.8	80.1
	I_{20}	25.0	27.1	31.5	18.0	29.2	27.5	69.6
	I_{25}	21.8	23.6	27.5	15.5	25.5	23.9	62.3
	I_{30}	19.4	21.1	24.7	13.7	22.9	21.4	57.0
	I_{35}	17.6	19.2	22.5	12.4	20.8	19.5	52.9
	I_{40}	16.2	17.7	20.8	11.3	19.2	17.9	49.5
	I_{45}	15.1	16.4	19.4	10.5	17.9	16.7	46.7
	I_{50}	14.1	15.4	18.2	9.8	16.8	15.6	44.4
	I_{55}	13.3	14.5	17.2	9.2	15.8	14.7	42.4
I_{60}	12.6	13.8	16.3	8.7	15.0	14.0	40.6	
Altura	3045	2245	3313	3740	2335	2544	635	
P. mediana	501.1	348.5	792.4	393.2	446.1	445.3	1952.6	

Elaborado por: Autores, 2013.

Con todos estos datos se procede a ingresarlos en el software HEC-HMS para obtener el modelo de caudales pico. El procedimiento a seguir en el software es el siguiente:

1.- Crear un nuevo proyecto.

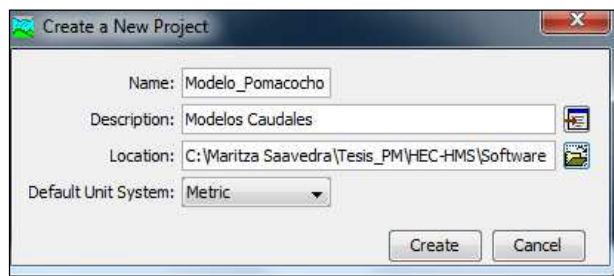


Figura 79. Pantalla de nuevo proyecto en el software HEC-HMS

Elaborado por: Autores, 2013.

2.- Definir el modelo de la cuenca (Basin Model Manager)

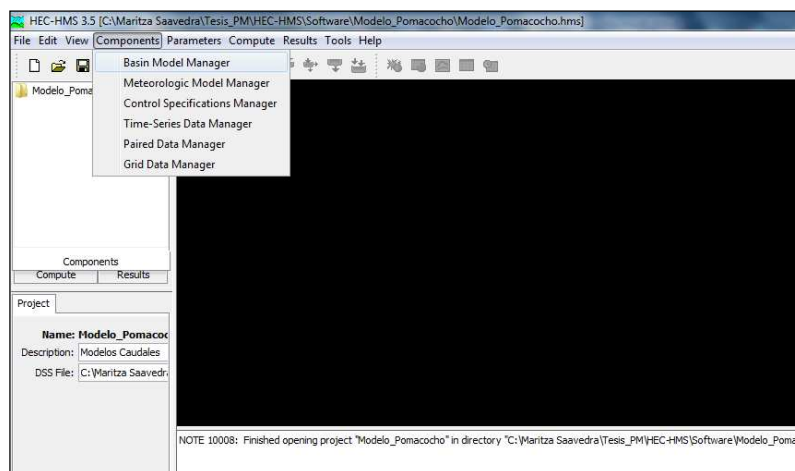


Figura 80. Definición del modelo de la cuenca en HEC-HMS

Elaborado por: Autores, 2013

3.- Cargar el shp de la delimitación de la microcuenca, Ríos y Lagunas

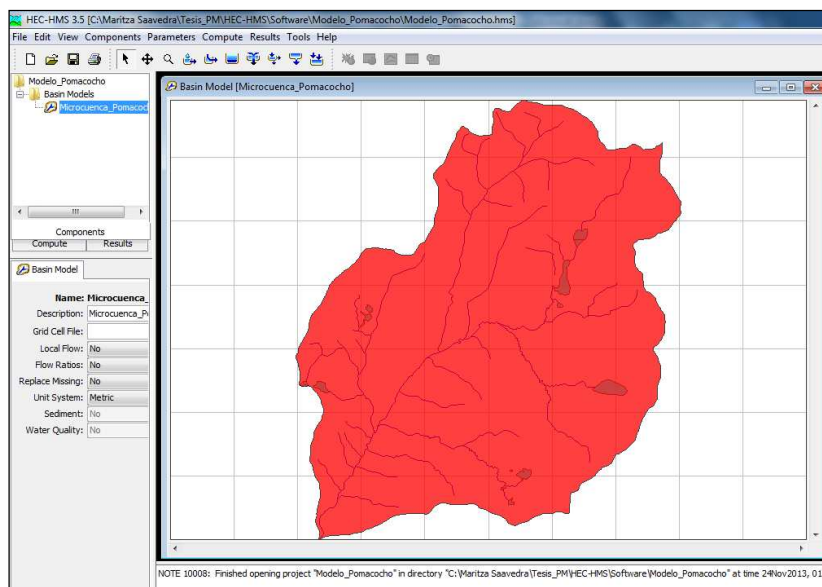


Figura 81. Adición de shp del área de estudio en HEC-HMS

Elaborado por: Autores, 2013.

4.- Crear los elementos de hidrológicos y conectarlos entre si.

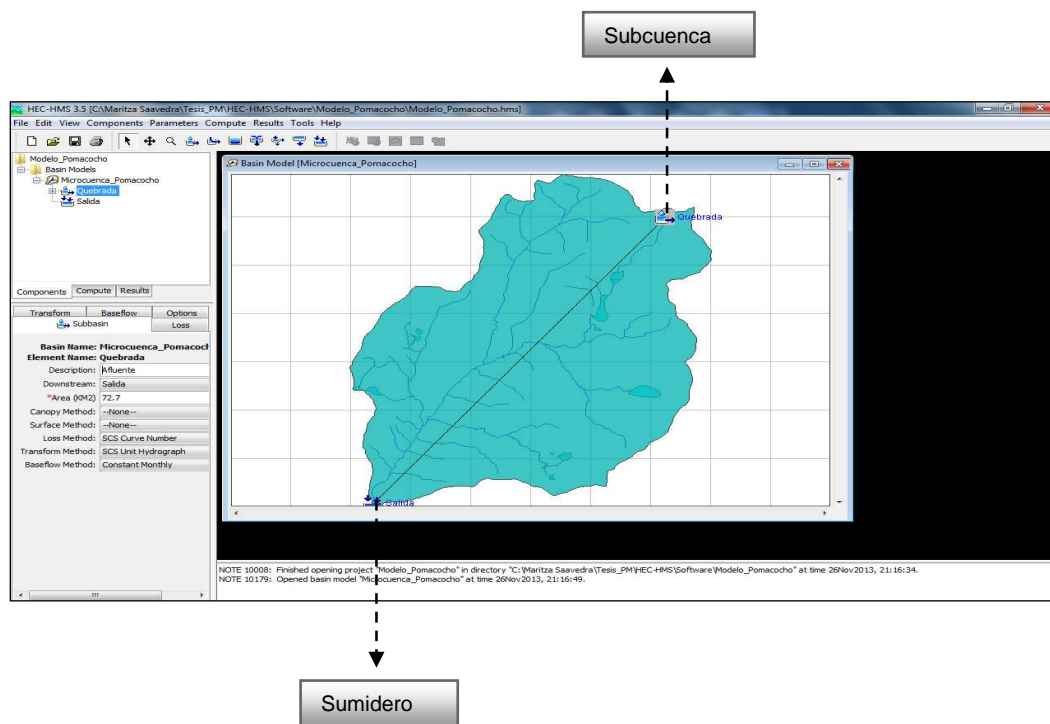


Figura 82. Definición de elementos hidrológicos en HEC-HMS

Elaborado por: Autores, 2013.

5.- Incluir datos del modelo de la cuenca (Area y método a usar)

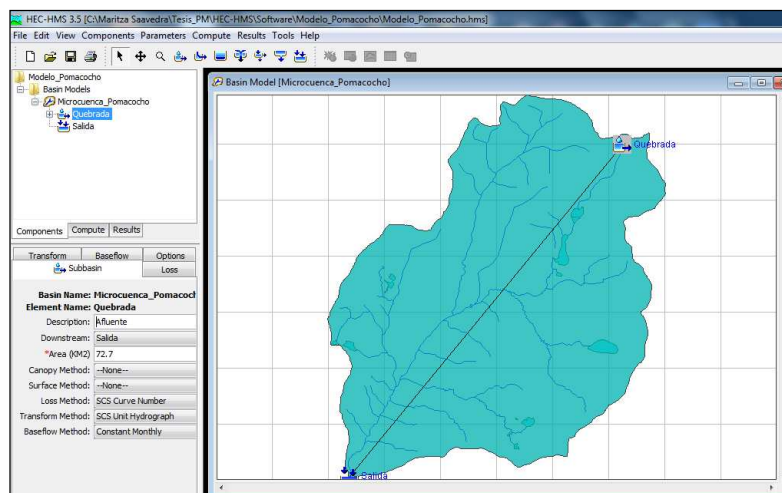


Figura 83. Definición del área y método para modelar en HEC - HMS

Elaborado por: Autores, 2013.

6.- Ingresar el número de curva y porcentaje de impermeabilidad

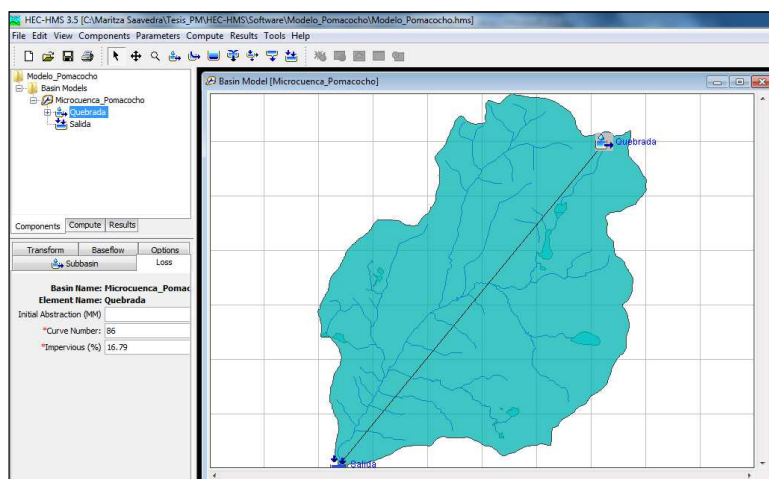


Figura 84. Ingreso de los datos número de curva y porcentaje de impermeabilidad en HEC-HMS.

Elaborado por: Autores, 2013.

7.- Definir el tiempo de concentración

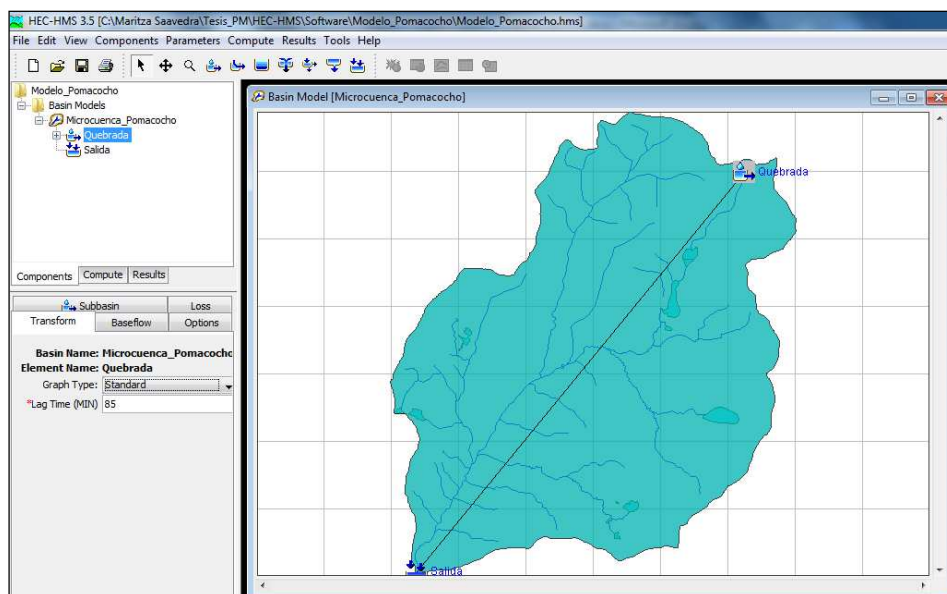


Figura 85. Definición del tiempo de concentración en HEC-HMS

Elaborado por: Autores, 2013.

8.- Crear el elemento del pluviografo (Time series data manager)

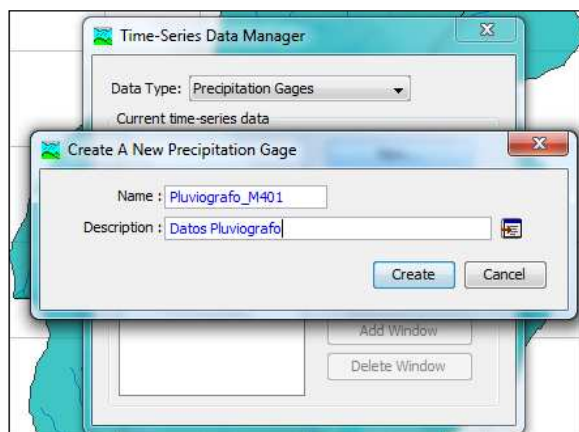


Figura 86. Pantalla para crear un nuevo elemento pluviógrafo en HEC-HMS

Elaborado por: Autores, 2013.

9.- Ingreso de datos de intensidad

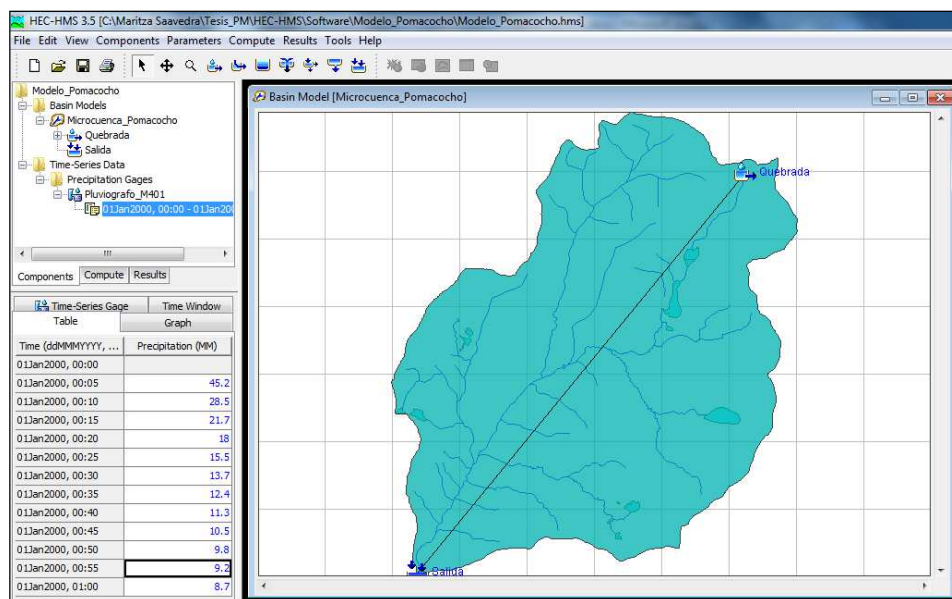


Figura 87. Ingreso de datos de intensidad en HEC-HMS

Elaborado por: Autores, 2013.

10.- Crear el modelo meteorológico.- Se relaciona el modelo con los datos de pluviografo especificados anteriormente.

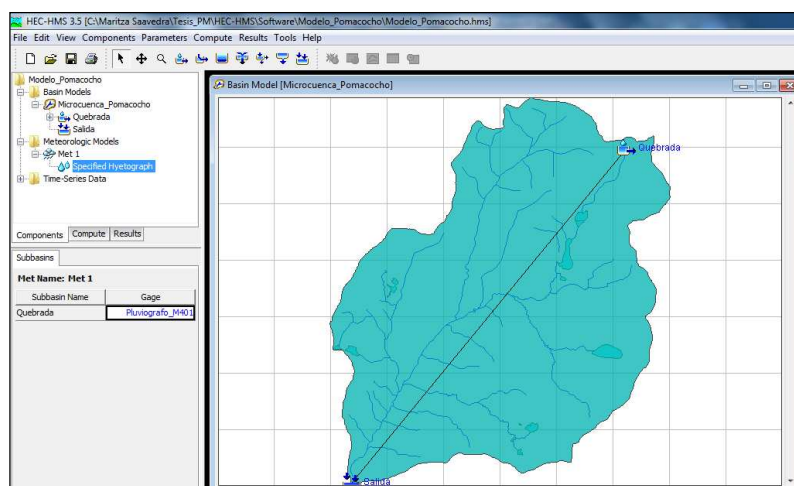


Figura 88. Modelo meteorológico en HEC-HMS

Elaborado por: Autores, 2103.

11.- Finalmente se corre el modelo

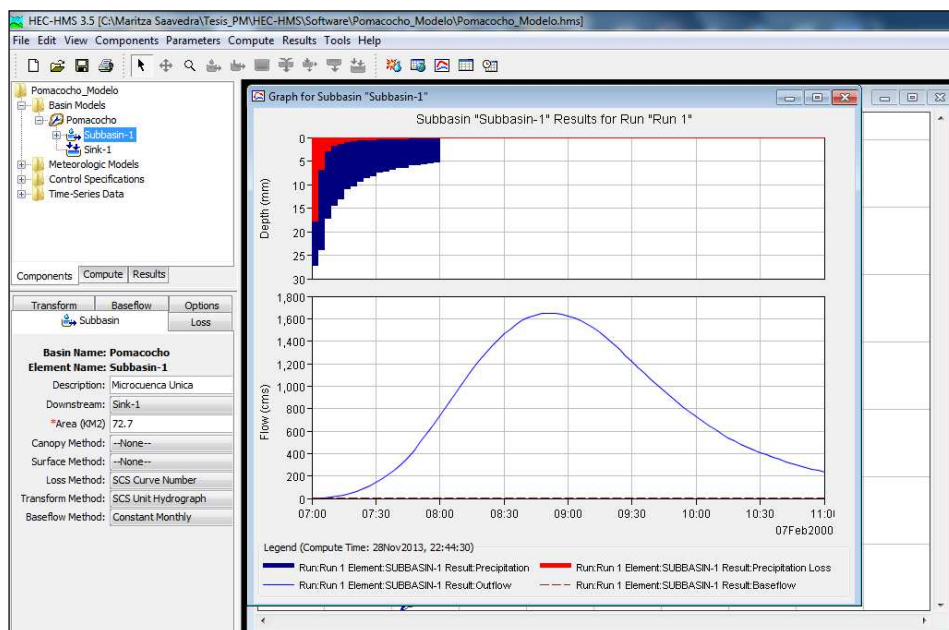


Figura 89. Ejecución del modelo en HEC-HMS

Elaborado por: Autores, 2013.

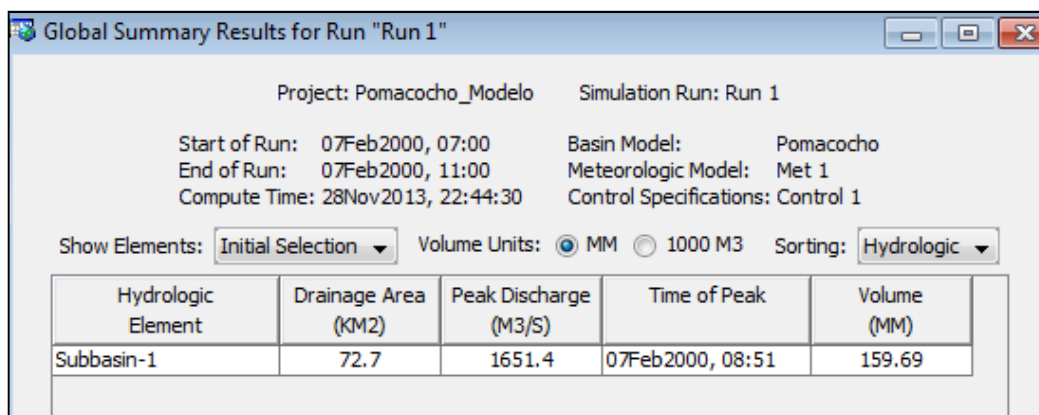


Figura 90. Ejecución del modelo en el software HEC-HMS

Elaborado por: Autores, 2013.

Los siguientes resultados de la figura 89 y 90 representan los caudales pico de un día, en una lluvia que dura una hora, con datos de intensidades de cada cinco minutos.

En la figura 90 nos refleja que el caudal pico del día 7 de febrero del 2000 tiene un volumen en mm de 159.69 el mismo que se dio a las 08h51 de la mañana.

En la figura 89 se indican los mismos resultados que de la figura 90 con la diferencia que el segundo se muestra con una curva tendencial en el que cuando inicia la lluvia tiene una concentración baja de volumen, llegando a un máximo y volviendo a bajar su concentración, este proceso es característico en cualquier lluvia

7.1.2.6 Tiempo de retorno.

Para el cálculo del tiempo de retorno hemos utilizado una fórmula que fue desarrollada por los ingenieros del INHERI a base del estudio de 42 cuencas en nuestro país.

La fórmula tiene la siguiente forma:

$$Q = \frac{25 * A * K}{(A + 57)^{1/2}}$$

Donde:

Q= Caudal en periodos de retorno, en m³/sg.

A= Área de la cuenca, en Km².

K= Coeficiente que depende del periodo de retorno (adimensional).

Tabla 81. Valores de K en función del período de retorno

Valores de K en Función del Período de Retorno. Método del INERHI.	
TR	K
1	0.139
5	0.361
25	0.507
50	0.574
100	0.646
500	0.856
1000	1.000

Fuente: INERHI

La principal ventaja del método, a parte de su facilidad de aplicación, es que fue desarrollada en nuestro país, dando resultados más o menos aproximados en la ausencia de información meteorológica.

Los caudales máximos en el período de retorno de la microcuenca en estudio son los siguientes.

Tabla 82. Caudales máximos en períodos de retorno.

Estudio Hidrológico de la Microcuenca del Río Pomacocho		
T (Años)	K	Caudales Máximos en Período de Retorno.
1	0.139	22.183
5	0.361	57.612
25	0.507	80.912
50	0.574	91.604
100	0.646	103.095
500	0.856	136.609
1000	1	159.590

Elaborado por: Autores, 2013.

7.1.3 Cálculo de caudales por Isoyetas y polígonos de Thiessen

- Precipitación en la zona de estudio.

En el presente sección nos remitiremos a la determinación de las precipitaciones medias mensuales de la cuenca objeto de nuestro estudio, a fin de contar con datos que nos ayuden a cuantificar los recursos hídricos, partiendo del hecho que las mismas constituyen la principal entrada de agua en una cuenca.

Para la determinación de las precipitaciones medias mensuales de la cuenca, se tomó la información existente en las estaciones que se anexan en la tabla siguiente.

Tabla 83. Información de precipitaciones medias mensuales

Período	91-00	91-00	91-00	91-00	91-00	91-00	67-83	
Estación	M031	M136	M399	M403	M405	M497	M401	
Meses	Ene	41.3	43.3	77.6	67.6	58.6	122.2	22.5
	Feb	70.4	57.8	140.9	98.2	85.7	123.2	55.2
	Mar	79.2	89.2	175.4	100.2	88.4	145.2	61.8
	Abr	61.2	70.0	143.3	82.5	72.8	229.4	57.6
	May	49.5	39.6	99.4	49.4	44.2	265.3	29.5
	Jun	27.0	10.0	20.9	16.1	14.1	250.8	24.5
	Jul	23.0	1.5	7.8	6.1	3.7	177.0	24.5
	Ago	17.1	2.1	7.9	4.9	4.0	175.9	21.0
	Sept	30.0	13.6	34.3	22.7	21.4	185.1	27.8
	Oct	41.2	19.9	53.5	26.5	26.3	163.6	48.9
	Nov	42.4	18.6	96.2	35.2	31.8	126.2	31.6
	Dic	38.5	33.9	81.2	42.3	48.1	112.4	29.3
Anual	520.8	399.5	938.4	551.7	499.1	2076.3	434.2	
Este	728469	731218	748512	739346	743204	811195	768396	
Norte	9717723	9746992	9747398	9756691	9752968	9709577	9750618	
Elev.	3045	2245	3313	2335	2544	635	3740	

Elaborado por: Autores, 2013.

Para la determinación de la precipitación media, se trabajó con las series mensuales proporcionadas por el INAMHI, las mismas que fueron previamente homogenizadas y rellenados sus datos faltantes por la misma institución, excepto la estación Río Ozogoche (Lagos) de código M401, que

si bien no tiene un registro histórico comprendido entre 1991 – 2000, pero dada a la escasa información meteorológica en el País (Cáceres, 2012) y a la imposibilidad de trazar los polígonos de Thiessen en la zona norte de la cuenca, se debió incorporar dicha estación al estudio en la fase final del proyecto, la misma que posee información que puede ser utilizada como apoyo y que de hecho fue utilizado en la generación del mapa de isoyetas a nivel nacional para el período 1985 – 2009 en el marco del proyecto “Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional (IEE - MAGAP) y validado por el INAMHI en el año 2012.

- Precipitación media en la cuenca del Río Pomacocho

La lluvia recogida y medida en un pluviómetro, es representativa de una superficie relativamente pequeña situada alrededor de él. Se considera a la precipitación media como el valor más representativo de la lluvia caída sobre un punto o área determinada, ya sea diaria mensual o anual. Para determinarla existen varios métodos; los más utilizados son:

- Polígonos de Thiessen
- Curvas Isoyetas

Trata de tener en cuenta la no uniformidad en la distribución de los pluviómetros mediante un factor de ponderación para cada uno de ellos. Las estaciones se colocan en un mapa y se dibujan líneas que las conecten unas con otras. Las mediatrices forman polígonos alrededor de cada estación. Los lados de cada polígono son los límites del área efectiva que se considera para cada estación. Este método al igual que el método de la media aritmética no tiene en cuenta influencias orográficas.

- Curvas de Isoyetas

Es el método más exacto para promediar la precipitación sobre un área. La localización de las estaciones y las cantidades de lluvia se grafican en un mapa y sobre este se dibujan las líneas de igual precipitación (isoyetas). La precipitación promedio para el área se calcula ponderando la precipitación entre isoyetas sucesivas por el área de las isoyetas, totalizando estos productos y dividiendo por el área total (Anexo A.13 Mapa de Isoyetas de la Microcuenca). Matemáticamente se la representa de la siguiente manera:

$$P_m = \frac{\sum P_i * S_i}{\sum S_i}$$

Donde:

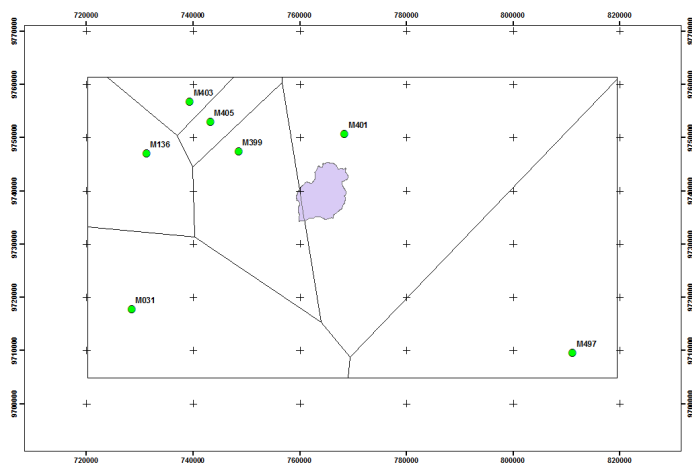
P_i = Precipitación entre isoyetas.

S_i = Área de las isoyetas.

- Cálculo de la precipitación por método polígono de Thiessen

Basándonos en el análisis de la red de estaciones pluviométricas disponibles para el presente estudio, podemos concluir en que de los dos métodos anteriormente expuestos, el método más adecuado para el cálculo de la precipitación media de la cuenca del río Pomacocho es el de las Isoyetas. Sin embargo hemos dibujado los polígonos de Thiessen y se ha encontrado el área de influencia para cada estación, las cuales se encuentran representadas en el gráfico siguiente (Anexo A. 14 Mapa de Polígonos de Thiessen de la Microcuenca).

Figura 91. Polígonos de Thiessen para el área de estudio



Elaborado por: Autores, 2013.

Para el cálculo de la precipitación media de la cuenca del río “Pomacocha” hemos combinado la hoja electrónica y el software ArcGis 9.3. En el software ArcGis 9.3 se dibujaron 12 capas de cuencas con sus raster de precipitación utilizando la información mensual multianual de cada estación. De esta manera hemos obtenido para cada mes la precipitación media de la cuenca para el periodo de estudio

Los valores de las isolíneas han sido estimados en función del periodo considerado y de la extensión de la zona de estudio; para el mapa de isoyetas de precipitación media mensual, se representaron isoyetas cada 10 mm.

- Escurrimiento superficial de las aguas

De la gran cantidad de datos hidrológicos de que se puede disponer, la escorrentía superficial es el más importante en la proyección de obras hidráulicas. La escorrentía superficial comprende el exceso de la precipitación que ocurre después de una lluvia intensa y se mueve

libremente por la superficie del terreno. La escorrentía de una corriente de agua, puede ser alimentada tanto por el exceso de precipitación como por las aguas subterráneas.

7.1.3.1 Caudales medios mensuales método de Thiessen e Isoyetas

En vista de la escasa información que existe acerca de caudales en el río “Pomacocho”, se tomó la decisión de generar caudales medios mensuales en función de la precipitación media mensual de la cuenca del río que se la presenta en los cuadros siguientes.

Para el cálculo de los caudales medios mensuales del río “Pomacocho”, considerando en su punto de cierre, se utilizó la fórmula del INERHI, la misma que tiene la siguiente forma:

$$Q = \frac{0.5AP^{0.54}}{6.4M}$$

Donde:

Q= Caudal medio mensual, en m³/sg.

A= Área de la cuenca, en Km².

P= Precipitación media mensual de la cuenca, en mm.

M= Número de días del mes correspondiente.

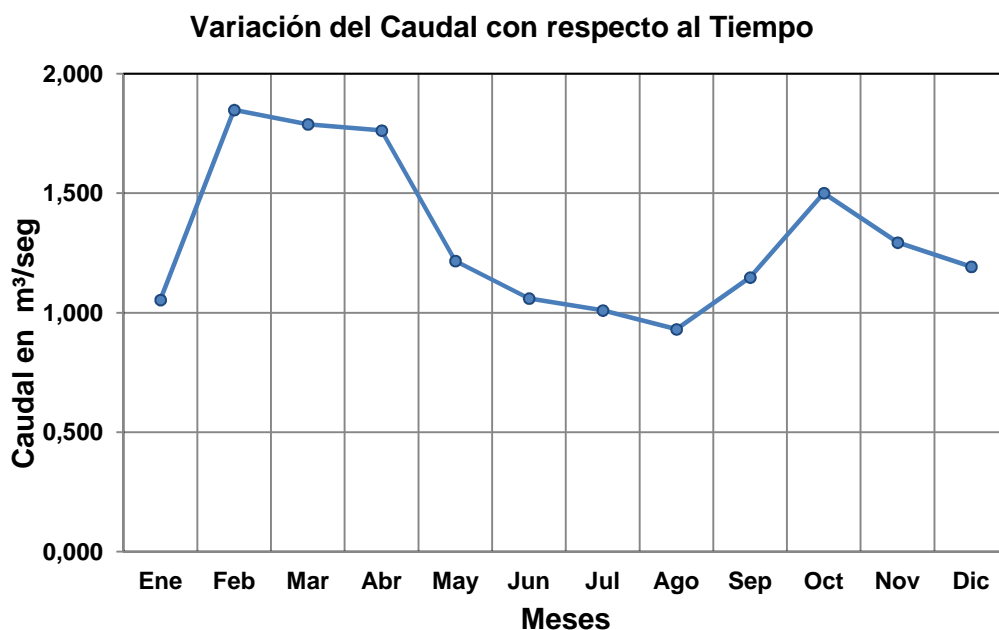
El caudal medio mensual multianual del río “Pomacocho” es de **1,317** m³/seg obtenido con la precipitación media de los polígonos de Thiessen y de 1,728 m³/seg obtenido con la precipitación media del método de las isoyetas. La serie de caudales medios mensuales calculados para el periodo 1991–2000, se presentan en las tablas 84 y 85.

Tabla 84. Serie de caudales medios mensuales calculados para el período 1991–2000 por el método de Thiessen.

Meses	Parámetros				
	Precipitación mínima (raster)	Precipitación máxima (raster)	Precipitación media (raster)	Precipitación media Thiessen	Caudal medios (mes)
Enero	45.3	65.9	58.2	25.5	1.054
Febrero	79.3	108.0	95.5	59.9	1.849
Marzo	93.8	132.3	115.2	68.0	1.789
Abril	87.4	117.8	105.6	62.3	1.763
Mayo	60.7	90.1	79.2	33.3	1.217
Junio	33.2	49.4	42.3	24.3	1.060
Julio	24.8	33.2	29.2	23.6	1.010
Agosto	22.7	31.7	27.5	20.3	0.931
Septiembre	36.4	47.4	43.1	28.2	1.148
Octubre	53.5	56.8	55.8	49.2	1.501
Noviembre	49.8	71.9	61.9	35.1	1.294
Diciembre	46.4	64.3	57.0	32.1	1.193
Anual	-	-	770.5	461.8	1.317

Elaborado por: Autores, 2013.

Figura 92. Variación de Caudal respecto al tiempo por el método de Thiessen



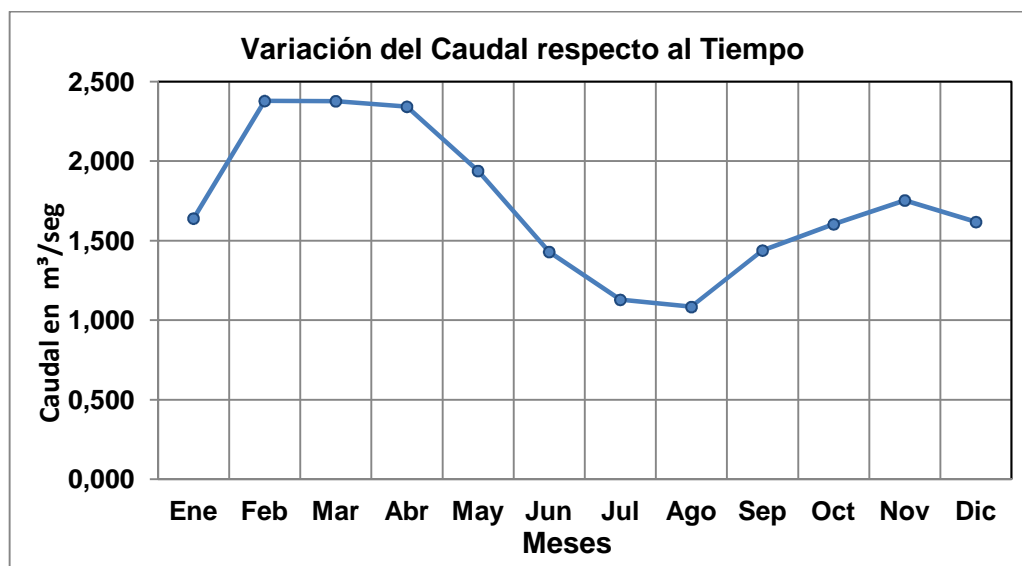
Elaborado por: Autores, 2013.

Tabla 85. Serie de caudales medios mensuales calculados para el período 1991–2000 por el método de Isoyetas.

Mes	Parámetros				
	Precipitación mínima (raster)	Precipitación máxima (raster)	Precipitación media (raster)	Precipitación media Isoyetas	Caudal medios (mes)
Enero	45.3	65.9	58.2	57.9	1.640
Febrero	79.3	108.0	95.5	95.5	2.379
Marzo	93.8	132.3	115.2	115.2	2.378
Abril	87.4	117.8	105.6	105.5	2.343
Mayo	60.7	90.1	79.2	79.0	1.939
Junio	33.2	49.4	42.3	42.3	1.430
Julio	24.8	33.2	29.2	29.0	1.129
Agosto	22.7	31.7	27.5	26.9	1.084
Septiembre	36.4	47.4	43.1	42.8	1.439
Octubre	53.5	56.8	55.8	55.6	1.604
Noviembre	49.8	71.9	61.9	61.7	1.754
Diciembre	46.4	64.3	57.0	56.5	1.618
Anual	-	-	770.5	767.9	1.728

Elaborado por: Autores, 2013

Figura 93. Variación de Caudal respecto al tiempo por el método de Isoyetas.



Elaborado por: Autores, 2013.

7.1.3.2. Caudales por el método de aforo.

Para el método de aforo hemos utilizado el molinete realizado mediciones en diferentes fechas y en diferentes puntos de la Microcuenca del Río

Pomacocho (Anexo A.15 Mapa de Puntos de Aforo en la Microcuenca). Los resultados obtenidos mediante el método de aforo son:

Tabla 86. Caudales por método de aforo

Fecha	Código	Río	Caudal m ³ /s
2/24/2011	CPP01	Pomacocho	0.063
4/05/2011	CPP01	Pomacocho	0.408
4/15/2011	CPP01	Pomacocho	1.606
5/11/2011	CPP01	Pomacocho	0.50
2/24/2011	CPP02	Pomacocho	1.094
4/05/2011	CPP02	Pomacocho	1.131
4/15/2011	CPP02	Pomacocho	2.065
5/11/2011	CPP02	Pomacocho	3.941
2/24/2011	CPP03	Pomacocho	1.907
4/05/2011	CPP03	Pomacocho	1.342
4/15/2011	CPP03	Pomacocho	2.385
5/11/2011	CPP03	Pomacocho	4.107
2/24/2011	CPP04	Pomacocho	1.045
4/05/2011	CPP04	Pomacocho	1.432
4/15/2011	CPP04	Pomacocho	2.968
5/11/2011	CPP04	Pomacocho	4.970

Elaborado por: Autores, 2013.

Figura 94. Registro fotográfico de medición de caudales.



Fuente: Autores, 2013.

7.2 Comparación entre métodos de cálculo de caudales.

Tabla 87. Comparación entre métodos de cálculo para caudales.

Métodos	Aforo	WEAP	HEC-HMS	Isoyetas	Thiessen
	Molinete	Humedad del Suelo	Número de Curva	Fórmula del INERHI	Fórmula del INERHI
Objetivo	Medición de Caudales	Realiza modelación de caudales en un período determinado de tiempo, así como escenarios futuros de la variable analizada	Realiza la modelación de Caudales Pico o de Crecida	Determinación de las precipitaciones medias mensuales	Determinación de las precipitaciones medias mensuales
Datos	Se realiza una serie de mediciones directamente en campo	Cobertura Vegetal Precipitación Temperatura Humedad Relativa Velocidad de Viento Caudales	Número de Curva Cobertura Vegetal Mapa de Suelo Porcentaje de Impermeabilidad del suelo Datos Pluviográficos	Precipitación media mensual del período 1991-2000	Precipitación media mensual del período 1991-2000
Datos Adicionales	No requiere	Además se requiere de parámetros como Kc, Sw, Dw, Z1, Kd, LAI, Ks, RRF que el método utilizar en la modelación lo requiere y que posteriormente permitirá calibrar el modelo	Parámetros Morfométricos de la Microcuenca en estudio	—	—
Ventajas	El método de aforo permite tener un dato acertado del caudal en el momento de la medición con molinete	El software permite realizar modelación de caudales, calidad de agua, proyecto de riego, etc además podemos realizar escenarios futuros .	Permite simular la respuesta que tendrá una determinada cuenca en su escurrimiento superficial como producto de una precipitación, además de calcular períodos de retorno	Es el método más exacto para promediar la precipitación sobre un área	Trata de tener en cuenta la no uniformidad en la distribución de los pluviómetros mediante un factor de ponderación para cada uno de ellos
Desventajas	Para obtener resultados más precisos se debería realizar diversas mediciones en diferentes épocas del año; ya que esto afecta en el resultado del mismo	La falta de estaciones Hidrometeorológicas cercanas al área de estudio; así como la ausencia de datos afecta directamente en la calidad y confiabilidad de la modelación	Para el estudio presente no se logro hacer una comparación entre los software WEAP Y HEC-HMS ya que son diseñados para fines diferentes	La falta de datos en las estaciones hidrometeorológicas dificulta el cálculo de los caudales medios mensuales	La falta de datos en las estaciones hidrometeorológicas dificulta el cálculo de los caudales medios mensuales
Resultados	El caudal del río "Pomacocho" por el método de aforo es de 1.935m ³ /seg.	Los resultados obtenidos están dados en medidas de volumen y nos indica que el mayor caudal del período de modelación fue entre los años 1999-2000; y para el futuro tendrá una pequeña crecida entre los años 2018-2020	Se realiza la modelación del caudal pico del día 7 de febrero del 2000, obteniendo que el caudal pico tiene un volumen en mm de 159.69 el mismo que se dio a las 8: 51 de la mañana	El caudal medio mensual multianual del río "Pomacocho" es de 1.728m ³ /seg.	El caudal medio mensual multianual del río "Pomacocho" es de 1.317m ³ /seg.

Elaborado por: Autores, 2013

CAPITULO VIII

ANALISIS DE CALIDAD DEL AGUA.

8.1 Índice de calidad de agua (ICA)

El índice de calidad de agua tiene como objetivo principal definir la aptitud de un cuerpo de agua respecto a un uso específico.

“El Índice de calidad de agua propuesto por Brown es una versión modificada del WQI” que fue desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF), que en un esfuerzo por idear un sistema para comparar ríos en varios lugares del país, creo y diseño un índice estándar llamado WQI (Water Quality Index) que en español se conoce como: INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)”, (Servicio Hidrológico Nacional (SHN) del Servicio Nacional de Estudios Territoriales., 2004). El ICA es útil para medir los cambios en la calidad de agua en diferentes tramos de un mismo río y con esto determinar su grado de contaminación.

Para sacar el índice de Calidad de Agua se consideraron la tabla los siguientes parámetros.

Tabla 88. Parámetros Físico – Químicos para el ICA.

Parámetros Físico – Químicos.	
Coliformes Totales	pH
Oxígeno Disuelto	Sólidos Totales
Fosfatos	Temperatura
Nitratos	Turbiedad
Demanda Bioquímica de Oxígeno para 5 días (DBO ₅)	

Elaborado por: Autores, 2013.

La selección de parámetros así como la asignación de pesos relativos o pesos de importancia (w_i) son determinados de acuerdo al criterio profesional colectivo de un grupo de personas con conocimiento del medio acuático y contaminación.

En el caso de los pesos relativos se corre el riesgo de involucrar un grado de subjetividad por lo que los técnicos responsables realizan una votación independiente sobre la prioridad de sus ideas expresadas y la decisión es tomada mediante orientación matemática.

Tabla 89. Clasificación de ICA propuesta por Brown.

Calidad de Agua	Color	Valor
Excelente		91 a 100
Buena		71 a 90
Regular		51 a 70
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25

Fuente (Lobos, 2002)

- Excelente y Buena= Posee alta diversidad de vida acuática y no es peligroso tener contacto directo con ella.
- Regular= Tiene menos diversidad de vida acuática y aparece la presencia de algas.
- Mala= Diversidad baja de vida acuática y ya se aprecian los problemas de contaminación.
- Pésima= Existe un número reducido de vida acuático, los problemas de contaminación son mayores y no es apto para el contacto directo

El índice de calidad de agua de Brown se lo puede realizar de dos maneras:

1) Suma lineal ponderada de los subíndices.

$$ICA_a = \sum_{i=1}^9 (Sub_i * w_i)$$

2) Función ponderada multiplicativa

$$ICA_m = \prod_{i=1}^9 (Sub_i^{w_i})$$

Donde:

w_i = Pesos relativos asignados a cada parámetro.

Sub_i = Subíndice del parámetro i .

Para este proyecto se sacara el ICA a partir del medio multiplicativo y de suma lineal con el fin de comparar los resultados; para lograr este fin se siguen los siguientes pasos:

- Designación de pesos w_i : Como se menciona anteriormente los pesos w_i es asignado por un grupo de profesionales expertos por el tema razón por lo cual se trabajará con los pesos asignados en el documento Servicio Nacional de Estudios territoriales.

Tabla 90. Pesos de cada parámetro para determinar el ICA

i	Sub_i	w_i
1	Coliformes Fecales	0.15
2	pH	0.12
3	DBO5	0.10
4	Nitratos	0.10
5	Fosfatos	0.10
6	Temperatura	0.10
7	Turbidez	0.08
8	Sólidos Disueltos Totales	0.08
9	Oxígeno Disuelto	0.17

Fuente: (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2011)

Determinar el subíndice i para cada parámetro a través de los siguientes gráficos propuestos por el Servicio Nacional de Estudios territoriales.

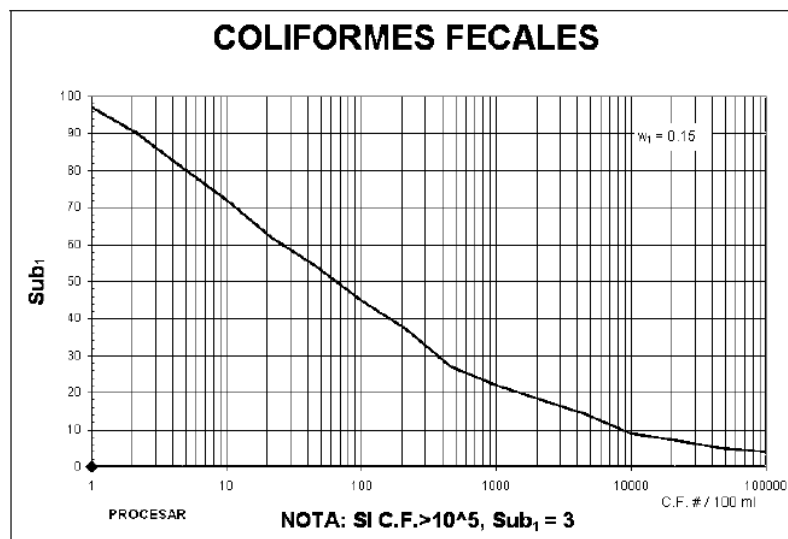


Figura 95. Subíndice para Coliformes Fecales

Fuente: (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2011)

Si el valor de Coliformes fecales son mayores de 100,000 Bact/100 ml el (Sub_i) es igual a 3 caso contrario buscar el valor en el eje de las X.

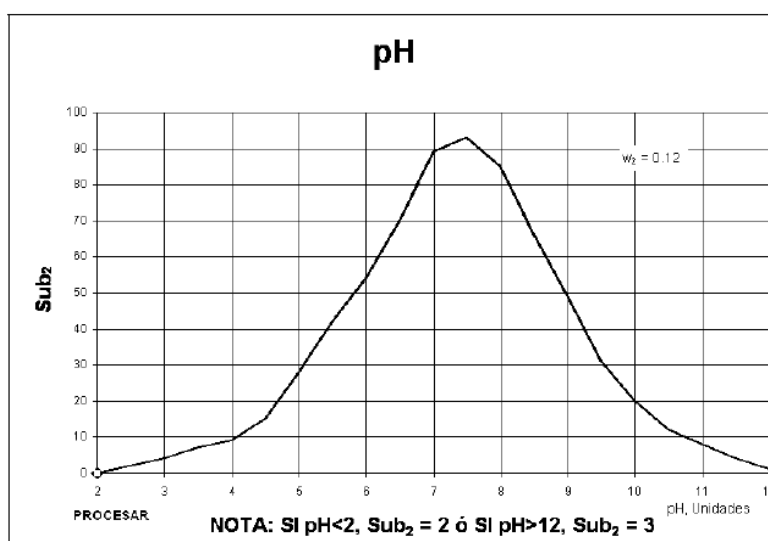


Figura 96. Subíndice para pH

Fuente: (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2011)

Si el valor de pH es menor o igual a 2 unidades el (Sub_i) es igual a 2, sí el valor de pH es mayor o igual a 10 unidades el (Sub_i) es igual a 3. Si el valor de pH está entre 2 y 10 buscar el valor en el eje de las x.

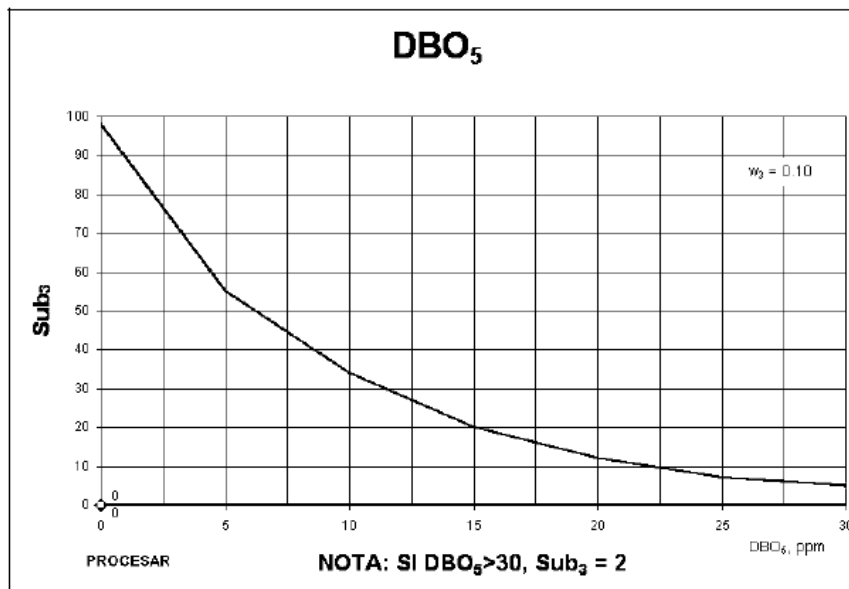


Figura 97. Subíndice para DBO₅

Fuente: (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2011)

Si el valor de DBO5 es mayor de 30 mg/l el Sub_i es igual a 2. Si el valor DBO₅ es menor de 30 mg/l buscar el valor en el eje de las x.

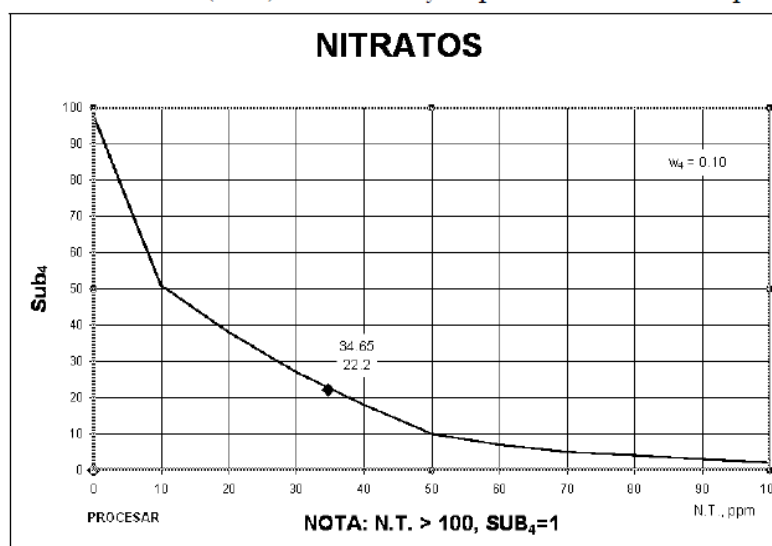


Figura 98. Subíndice para Nitratos

Fuente: (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2011)

Si el valor de Nitratos es mayor de 100 mg/l el Sub_i es igual a 2. Si el valor de Nitratos es menor de 100 mg/l buscar el valor en el eje de X

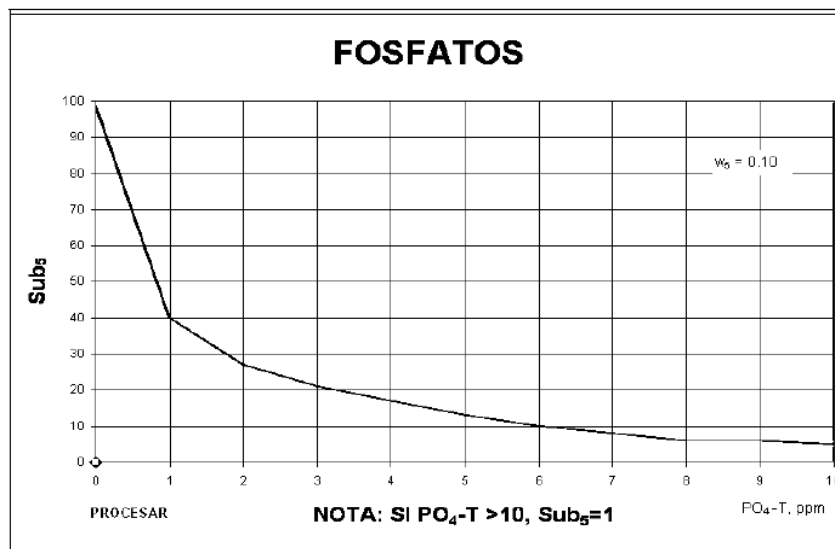


Figura 99. Subíndice para Fosfatos

Fuente: (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2011)

Si el valor de Fosfatos es mayor de 10 mg/L el Sub_i es igual a 5. Si el Fosfatos es menor de 10mg/l buscar el valor en el eje de (X).

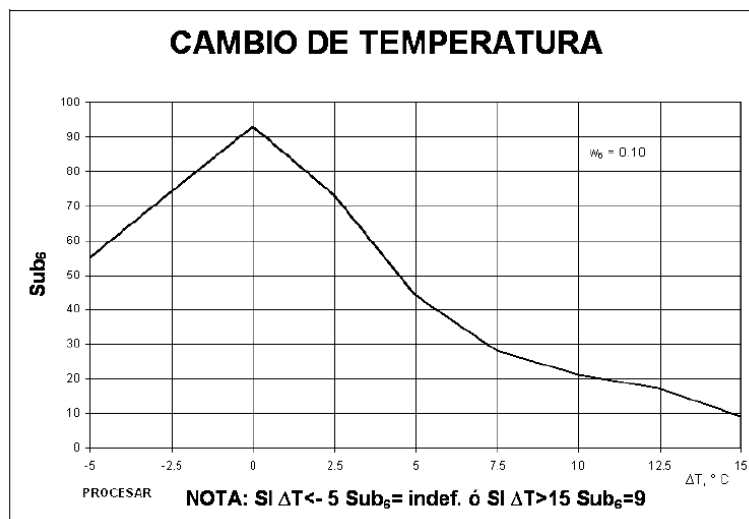


Figura 100. Subíndice para Temperatura

Fuente: (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2011)

Para obtener el Sub_i de la variable temperatura, primero hay que calcular la diferencia entre la T° ambiente y la muestra, con el valor obtenido se

analiza si el valor de esa diferencia es mayor de 15°C el Sub_i es igual a 9 o si el valor obtenido es menor de 15°C, buscar el valor en el eje de las X.

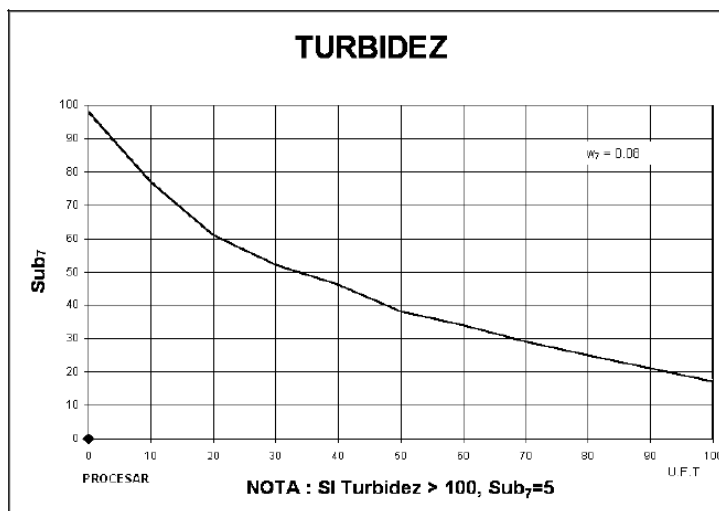


Figura 101. Subíndice para Turbidez

Fuente: (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2011)

Si el valor de Turbidez es mayor de 100 FAU el Sub_i es igual a 5. Si el valor de Turbidez es menor de 100 FAU, buscar el valor en el eje de las X.

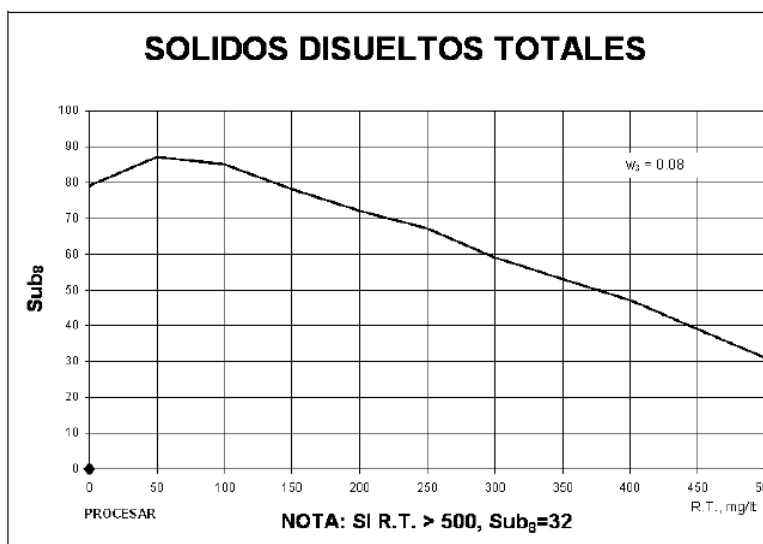


Figura 102. Subíndice para Sólidos Disueltos

Fuente: (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2011)

Si los Sólidos disueltos Totales son mayores de 500 mg/l el Sub_i es igual a 3, si es menor de 500 mg/l, buscar el valor en el eje de las X. Para obtener el valor de Oxígeno Disuelto se primero se calcula el porcentaje de saturación del oxígeno disuelto en el agua; para esto se debe identificar el valor de saturación de OD según la temperatura del agua en la tabla 91.

Tabla 91. Solubilidad del Oxígeno en Agua Dulce

Temp. °C	OD. mg/l	Temp. °C	OD. mg/l	Temp. °C	OD. mg/l	Temp. °C	OD. mg/l
1	14.19	12	10.76	23	8.56	34	7.05
2	13.81	13	10.52	24	8.4	35	6.93
3	13.44	14	10.29	25	8.24	36	6.82
4	13.09	15	10.07	26	8.09	37	6.71
5	12.75	16	9.85	27	7.95	38	6.61
6	12.43	17	9.65	28	7.81	39	6.51
7	12.12	18	9.45	29	7.67	40	6.41
8	11.83	19	9.26	30	7.54	41	6.31
9	11.55	20	9.07	31	7.41	42	6.22
10	11.27	21	8.9	32	7.28	43	6.13
11	11.01	22	8.72	33	7.16	44	6.04

Fuente: (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2011)

Una vez obtenido el 100% de capacidad de Oxígeno Disuelto a través de la tabla de solubilidad de oxígeno en agua dulce se determina el porcentaje de saturación de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$\% \text{desaturación} = \frac{\text{Valor de OD (mg / lt)}}{100\% \text{ de capacidad de OD}} * 100$$

Si el valor de % de Saturación de OD es mayor de 140% el Sub_i es igual a 47 caso contrario si el valor obtenido es menor del 140% de Saturación de OD buscar el valor en el eje de las X.

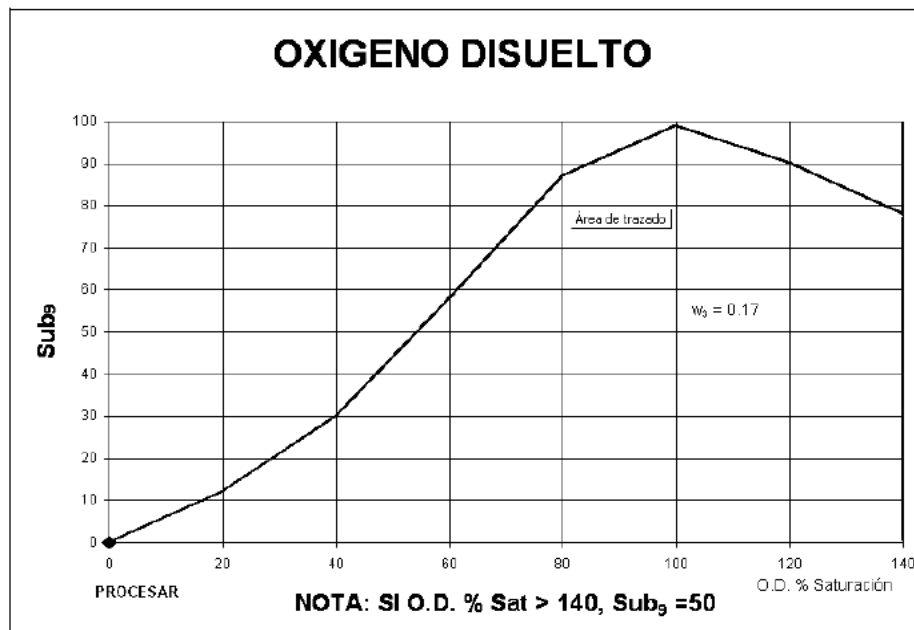


Figura 103. Subíndice para Sólidos Disueltos

Fuente: (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2011)

Luego de obtener los valores de cada parámetro en su respectivo gráfico se procede a multiplicar por w_i en el caso de hacer el método de sumatoria lineal; o elevarlo a w_i en el caso del método multiplicativo.

Los Cálculos de ICA para cada parámetro se muestran en el Anexo digital G.1; se realizó un cálculo para toda la microcuenca, de esta manera se determina el estado de contaminación en el Río Pomacocho en general; y un cálculo para cada uno de las cuatro áreas de muestreo, con la que se puede saber que parte de la microcuenca está más contaminada.

Los resultados obtenidos de calidad de agua por el método de Índice de Calidad de agua son los siguientes.

Tabla 92. Cálculo del ICA para la microcuenca

Parámetro	ICA	ICA
Coliformes totales	1.93	12.26
Dbo5	1.56	8.35
Fosfatos	1.30	5.00
Nitratos	1.58	9.66
Oxígeno disuelto	2.00	10.06
Ph	1.70	10.03
Sólidos totales	1.41	6.08
Temperatura	1.29	1.32
Turbiedad	1.43	7.23
ICA	55	70
	Multiplicativa Ponderada	Suma Lineal Ponderada

Elaborado por: Autores, 2013.

Según la tabla 92 de clasificación de ICA propuesta por Brown se obtiene que estos datos de ICA tanto en el método multiplicativo como de suma lineal ponderada reflejen una calidad de agua regular.

Tabla 93. Cálculo del ICA por punto de muestreo en la Microcuenca

Parámetros	CPP01		CPP02		CPP03		CPP04	
	ICA (M)	ICA (S)	ICA (M)	ICA (S)	ICA (M)	ICA (S)	ICA (M)	ICA (S)
Coliformes Totales	1.93	12.30	1.93	12.07	1.95	12.83	1.92	11.83
DBO ₅	1.56	8.30	1.56	8.50	1.55	8.22	1.56	8.39
Fosfatos	1.44	5.03	1.44	4.87	1.45	5.17	1.44	4.94
Nitratos	1.58	9.62	1.58	9.70	1.58	9.62	1.58	9.70
Oxígeno Disuelto	1.99	9.73	1.99	9.75	1.99	9.95	2.02	10.82
pH	1.70	10.01	1.70	10.02	1.71	10.41	1.69	9.66
Sólidos Totales	1.38	5.56	1.42	6.20	1.41	6.20	1.42	6.36
Temperatura	1.27	1.13	1.29	1.30	1.31	1.49	1.29	1.36
Turbiedad	1.43	7.12	1.44	7.40	1.43	7.19	1.43	7.21
ICA	58	69	61	70	62	71	61	70

Elaborado por: Autores, 2013.

En la tabla 93 esta detallado el ICA por punto de muestreo, predomina una calidad de agua regular para el método multiplicativo (M) y de suma

lineal ponderada (S); es decir se confirma el resultado de la tabla 92 que se encuentra una calidad de agua regular Anexo A.16 Mapa de Calidad del Agua.

8.2 Macroinvertebrados



Figura 104.Recolección de muestras de macroinvertebrados

Elaborado por: Autores, 2013.

Una vez realizada la toma de muestras en los sitios de muestreo, se determino en laboratorio la familia a la que pertenecen y la abundancia de los mismos; análisis realizado por la Universidad Nacional de Chimborazo.

Una vez entregados los resultados de los resultados de laboratorio se procede a realizar el análisis EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) para determinar la calidad de agua por macroinvertebrados; “Este análisis se hace mediante el uso de tres grupos de macroinvertebrados que son indicadores de la calidad del agua porque son más sensibles a los Contaminantes. Estos grupos son: Ephemeroptera o moscas de mayo, Plecoptera o moscas de piedra y Trichoptera” según (Carrera & Fierro, 2001) Para el Análisis de EPT se deben seguir los siguientes pasos:

- **Abundancia de Individuos:** Indica la cantidad de macroinvertebrados en que cada grupo; se coloco frente al grupo el número de individuos

encontrados, en caso de tener un macroinvertebrados que no exista en esta lista se lo coloca en la denominación otros grupos. Finalmente se suma todos los números de la columna abundancia.

- Posteriormente se copia los mismos números de que están en las filas de color azul de la columna abundancia de individuos a la columna EPT presentes y se suma estos valores.
- Se aplica la siguiente fórmula, el valor obtenido se compara con la tabla 94 el cual da a conocer la calidad de agua para el punto de muestreo y para la microcuenca:

$$CAMacroinvertebrados = \frac{SumaEPT\ Pr\ esentes}{SumaAbundancia\ de\ Individuos} * 100$$

Tabla 94.Calidad de agua por Macroinvertebrados

Calidad de Agua	Color	Porcentaje %
Excelente		75 a 100
Buena		50 a 74
Regular		25 a 49
Mala		0 a 24

Fuente: (Carrera & Fierro, 2001)

Como resultado del análisis se obtuvo lo siguiente:

Tabla 95. Análisis Macroinvertebrados punto de muestreo 1

Clasificación	Abundancia. (N° de Individuos)	EPT Presentes
Anisoptera		
Bivalvia		
Baetidae	2	2
Ceratopogonidae	7	
Chironomidae	58	
Corydalidae		
Elmidae	2	
Euthyplociidae		
Gastropoda		
Glossosomatidae		
Gordioidea		
Hirudinea		
Hydrachnidae		
Hydrobiosidae		
Hydropsichidae	1	1
Leptoceridae	1	1
Leptohiphidae		
Leptophlebiidae		
Naucoridae		
Oligochaeta		
Oligoneuridae		
Perlidae	1	1
Philopotamidae	3	3
Psephenidae		
Ptilodactylidae	3	
Pyralidae		
Simuliidae		
Tipulidae	3	
Turbelaria		
Veliidae		
Zygoptera		
Otros grupos	5	
TOTAL	86	8
EPT Total ÷ Abundancia Total	Abundancia Total	9,30

Elaborado por: Autores, 2013.

Tabla 96. Análisis Macroinvertebrados punto de muestreo 2.

Clasificación	Abundancia (N° de Individuos)	EPT Presentes
Anisoptera		
Bivalvia		
Baetidae	7	7
Ceratopogonidae		
Chironomidae	1	
Corydalidae		
Elmidae	1	
Euthyplociidae		
Gastropoda		
Glossosomatidae		
Gordioidea		
Hirudinea		
Hydrachnidae	6	
Hydrobiosidae		
Hydropsichidae	1	1
Leptoceridae		
Leptohyphidae		
Leptophlebiidae		
Naucoridae		
Oligochaeta		
Oligoneuridae		
Perlidae		
Philopotamidae		
Psephenidae		
Ptilodactylidae	1	
Pyralidae		
Simuliidae		
Tipulidae	1	
Turbelaria		
Veliidae		
Zygoptera		
Otros grupos	4	
TOTAL	22	8
EPT Total ÷ Abundancia Total	Abundancia Total	36.36

Elaborado por: Autores, 2013.

Tabla 97. Análisis Macroinvertebrados punto de muestreo 3

Clasificación	Abundancia (N° de Individuos)	EPT Presentes
Anisoptera		
Bivalvia		
Baetidae	127	127
Ceratopogonidae		
Chironomidae	114	
Corydalidae		
Elmidae	1	
Euthyplociidae		
Gastropoda		
Glossosomatidae		
Gordioidea		
Hirudinea		
Hydrachnidae		
Hydrobiosidae		
Hydropsichidae	4	4
Leptoceridae		
Leptohiphidae		
Leptophlebiidae		
Naucoridae		
Oligochaeta		
Oligoneuridae		
Perlidae		
Philopotamidae		
Psephenidae		
Ptilodactylidae	1	
Pyralidae		
Simuliidae		
Tipulidae	8	
Turbelaria		
Veliidae		
Zygoptera		
Otros grupos	8	
TOTAL	263	131
EPT Total ÷ Abundancia Total	Abundancia Total	49.81

Elaborado por: Autores, 2013.

Tabla 98. Análisis Macroinvertebrados punto de muestreo 4

Clasificación	Abundancia (N° de Individuos)	EPT Presentes
Anisoptera		
Bivalvia		
Baetidae	5	5
Ceratopogonidae		
Chironomidae	3	
Corydalidae		
Elmidae		
Euthyplociidae		
Gastropoda		
Glossosomatidae		
Gordioidea		
Hirudinea		
Hydrachnidae		
Hydrobiosidae		
Hydropsichidae		
Leptoceridae		
Leptohyphidae		
Leptophlebiidae		
Naucoridae		
Oligochaeta		
Oligoneuridae		
Perlidae		
Philopotamidae	3	3
Psephenidae		
Ptilodactylidae		
Pyralidae		
Simuliidae		
Tipulidae	1	
Turbelaria		
Veliidae		
Zygoptera		
Otros grupos	18	
TOTAL	30	8
EPT Total ÷ Abundancia Total	Abundancia Total	26.67

Elaborado por: Autores, 2013.

Tabla 99. Análisis Macroinvertebrados para toda la microcuenca

Clasificación	Abundancia (N° de Individuos)	EPT Presentes
Anisoptera		
Bivalvia		
Baetidae	21	21
Ceratopogonidae	7	
Chironomidae	44	
Corydalidae		
Elmidae	2	
Euthyplociidae		
Gastropoda		
Glossosomatidae		
Gordioidea		
Hirudinea		
Hydrachnidae	4	
Hydrobiosidae		
Hydropsichidae	2	2
Leptoceridae	1	1
Leptohiphidae		
Leptophlebiidae	3	3
Naucoridae		
Oligochaeta		
Oligoneuridae		
Perlidae	1	1
Philopotamidae	3	3
Psephenidae		
Ptilodactylidae	2	
Pyralidae		
Simuliidae		
Tipulidae	3	
Turbelaria		
Veliidae		
Zygoptera		
Otros grupos	13	
TOTAL	106	31
EPT Total ÷ Abundancia Total	Abundancia Total	29.25

Elaborado por: Autores, 2013.

- Según la tabla 95 correspondiente al muestreo del punto 1, revela que la calidad de agua en este punto por macroinvertebrados es mala.
- La tabla 96 correspondiente al muestro del punto 2, revela una calidad de agua regular

- La tabla 97 correspondiente al muestro del punto 3, revela una calidad de agua buena
- La tabla 98 correspondiente al muestro del punto 4, revela una calidad de agua regular
- La tabla 99 correspondiente al análisis de calidad de agua por macroinvertebrados de la microcuenca en general, revela una calidad de agua regular, resultado que se comprueba con la calidad de agua por el método de Índice de Calidad de agua.

CAPITULO IX

GEODATABASE

La geodatabase es un contenedor de datos geográficos que puede ser file geodatabase o personal geodatabase; para este proyecto se utilizará file geodatabase, y se lo hará tanto para la información base como para la información temática.

Para la información Base se utilizará el catálogo de objetos del Instituto Geográfico Militar; institución encargada de la investigación, generación y aplicación del catálogo de objetos para la cartografía base. En este catálogo cada objeto tiene un código siendo el primer carácter la categoría de los objetos que se identifica con letra de la A- Z.

Tabla 100. Primer carácter del código de los objetos geográficos

Código	Objeto Geográfico
A	Cultura
B	Hidrografía
C	Hipsografía
D	Fisiografía
E	Vegetación
F	Demarcaciones (limites)
G	Información aeronáutica
I	Catastro
S	Uso especial (set de datos específicos)
Z	General

Fuente: Catálogo de objetos (IGM)

Este código está conformado por 5 caracteres; el segundo carácter pertenece a una subcategoría que también va de la letra A-Z; el tercer,

cuarto y quinto carácter corresponde a un valor numérico que va desde 000 hasta 999.

Para los mapas temáticos hemos utilizado el catálogo de objetos del Instituto Espacial Ecuatoriano (EXCLIRSEN).

En la siguiente figura se muestra una parte del catálogo de objetos referente a la temática suelos.

Tabla 101. Catálogo de objetos temático

		Feature Dataset:			D_SUELO								
DC010		Objeto:			UNIDAD EDAFICA								
		Feature class:			UNIDAD_EDAFICA_A								
		Geometría:			polígono								
Atributos					Dominios								
Código	Nombre	Descripción	Tipo de dato	Extensión	Valores del dominio								
fcode	Código del objeto	CODIGO DE IDENTIFICACION DEL OBJETO DENTRO DEL CATALOGO	text	5	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Código objeto</th> <th>Descripción del objeto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DC010</td> <td>AREA HOMOGENEA QUE CARACTERIZA LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS, Y SE CODIFICAN MEDIANTE UN TAXON</td> </tr> </tbody> </table>		Código objeto	Descripción del objeto	DC010	AREA HOMOGENEA QUE CARACTERIZA LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS, Y SE CODIFICAN MEDIANTE UN TAXON			
Código objeto	Descripción del objeto												
DC010	AREA HOMOGENEA QUE CARACTERIZA LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS, Y SE CODIFICAN MEDIANTE UN TAXON												
descripcion	Descripción del objeto	DESCRIPCION DEL OBJETO EN LENGUAJE NATURAL	text	250	Fuente: IGES - Proyecto Cuencas del Río Guayas								
UAM	UNIDAD AMBIENTAL			Ver información de este atributo en el objeto UNIDAD GEOMORFOLOGICA									
UMO	UNIDAD MORFOLOGICA			Ver información de este atributo en el objeto UNIDAD GEOMORFOLOGICA									
UGE	UNIDAD GENETICA			Ver información de este atributo en el objeto UNIDAD GEOMORFOLOGICA									
DGE	DENOMINACION GEOLOGICA			Ver información de este atributo en el objeto UNIDAD GEOMORFOLOGICA									
PEN	PENDIENTE			Ver información de este atributo en el objeto UNIDAD GEOMORFOLOGICA									
cue	Código suelo (Cod_1)	CAMPO ADICIONAL DE UTILIDAD PARA EL MAPA DE SALIDA. EN ESTE SE ASIGNA UN CODIGO A CADA UNIDAD EDAFICA, POR CADA FORMA DE RELIEVE	text	20	TEXTO LIBRE	Fuente: SUELOS - Proyecto Cuencas del Río Guayas							
cft	Código de ficha (CodF)	IDENTIFICA EL CODIGO DE LA FICHA DE CAMPO	text	50	TEXTO LIBRE	Fuente: SUELOS - Proyecto Cuencas del Río Guayas							
sgt_simb	Símbolo de la clave taxonómica (Clave)	REPRESENTACION EN LA LEGENDA QUE IDENTIFICA EL SUBGRUPO TAXONOMICO	text	50	TEXTO LIBRE	Fuente: SUELOS - Proyecto Cuencas del Río Guayas							
Atributos					Dominios								
Código	Nombre	Descripción	Tipo de dato	Extensión	Valores del dominio								
sgt_etiq	Etiqueta de la clave taxonómica (SGT)	ETIQUETA QUE IDENTIFICA LA CLASIFICACION TAXONOMICA A NIVEL DE SUBGRUPO	text	80	TEXTO LIBRE	Fuente: SUELOS - Proyecto Cuencas del Río Guayas							
TSU	TEXTURA SUPERFICIAL												
Descripción: INDICA LAS CARACTERISTICAS DEL HORIZONTE DE LA UNIDAD DE SUELO QUE DEPENDEN DE LA PROPORCION DE LOS DISTINTOS TAMAÑOS DE LA PARTÍCULA.													
tsu	Código de la textura superficial	CODIGO DE LA TEXTURA SUPERFICIAL	Short Integer		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Código de la textura superficial</th> <th>Símbolo de la textura superficial</th> <th>Etiqueta de la textura superficial</th> <th>Descripción de la textura superficial</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Código de la textura superficial	Símbolo de la textura superficial	Etiqueta de la textura superficial	Descripción de la textura superficial				
Código de la textura superficial	Símbolo de la textura superficial	Etiqueta de la textura superficial	Descripción de la textura superficial										

Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano

El catálogo de objetos está conformado por:

- Categoría: Es una clasificación general de la temática a tratar. Para el ejemplo de suelos la categoría sería fisiografía según el catálogo de objetos

- Subcategorías: Es una subclasificación dentro de la categoría, para el ejemplo propuesto es suelo.
- Feature Data set: Es el nombre de la carpeta que contendrá a los feature class. Para la geodatabase escogida como ejemplo es el nombre del feature data set esta estandarizada con el nombre de la categoría precedido por el código de la categoría. (D_SUELO)
- Objeto: Representa la unidad fundamental de la unidad geográfica. Para el ejemplo es Unidad Edáfica.
- Feature Class: Es la nomenclatura para cada objeto seguido de la letra P para punto, de la letra A para polígono y de la letra L para línea. (Unidad_Edáfica_A).

Para crear una geodatabase se sigue los siguientes pasos.

- Se crea la GDB del proyecto.

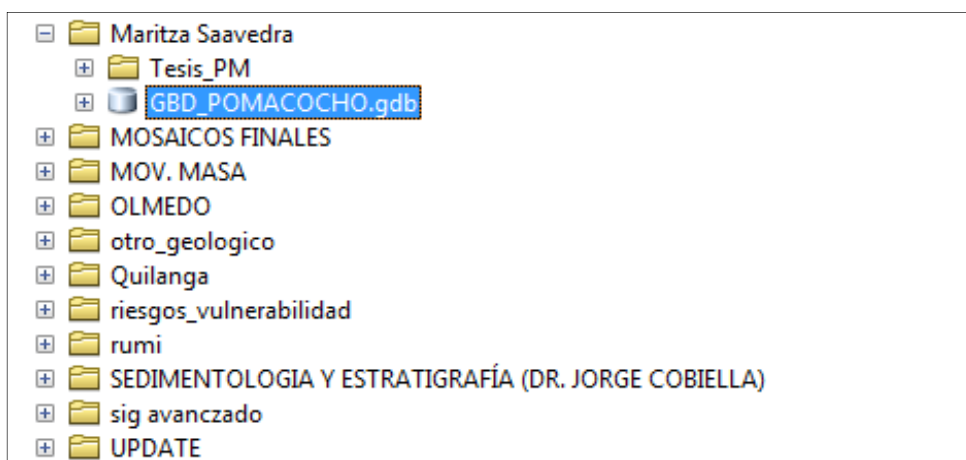


Figura 105. Herramienta para crear una geodatabase

Elaborado por: Autores, 2013.

- Se crea un feature data set

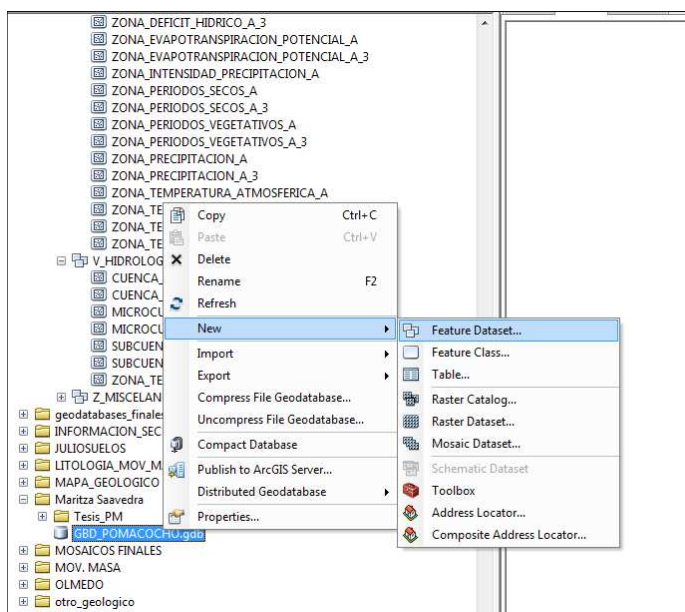


Figura 106. Herramienta para crear una geodatabase

Elaborado por: Autores, 2013

- Nombrar el feature data set según los estándares del catalogo del objetos.

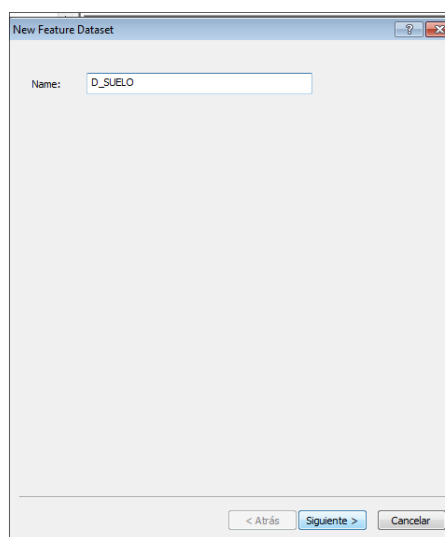


Figura 107. Herramienta para crear una geodatabase

Elaborado por: Autores, 2013

- Definir el sistema de coordenadas.

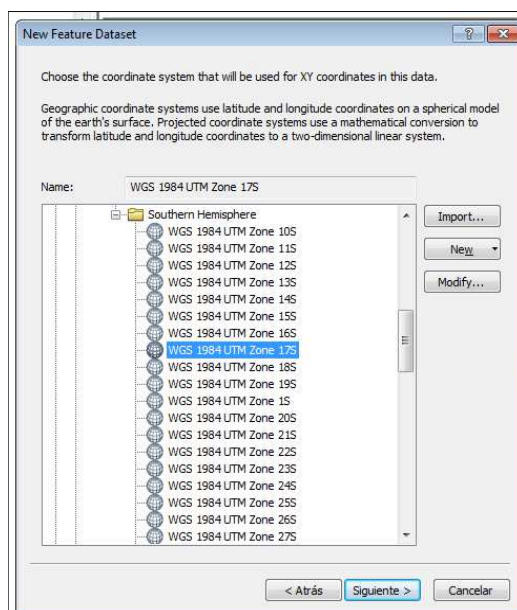


Figura 108. Herramienta para crear una geodatabase

Elaborado por: Autores, 2013

- Se crea el feature class según los estándares del catalogo de objetos

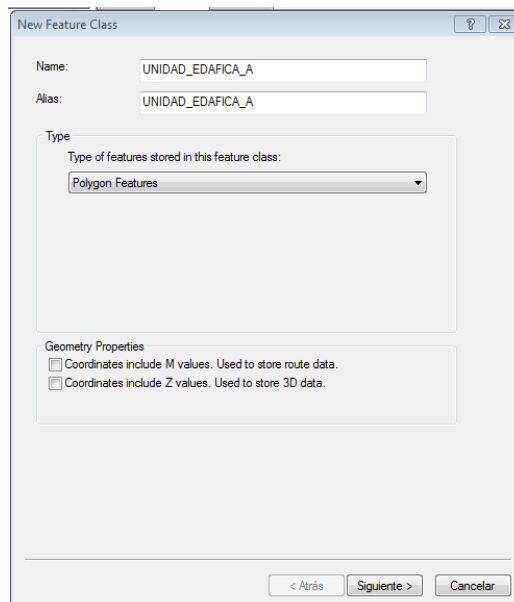


Figura 109. Herramienta para crear una geodatabase

Elaborado por: Autores, 2013

9.1 Topología.

Es importante correr topología a cada geodatabase creada con el fin de garantizar que no existan errores geográficos.

Las reglas para Líneas son las siguientes.

- Must Not Overlap: Líneas de mismas coberturas no pueden superponerse.
- Must Not Intersect: Líneas de las mismas coberturas no pueden solaparse.
- Must Not Have Dangles: Los nodos finales de unas líneas deben tocar al nodo de la otra línea.
- Must Not Self Overlap: Una línea de la misma cobertura no puede solaparse.
- Must Not Self Intersect: Línea de una misma capa no debe cortarse a sí misma
- Must Be Single Part: La línea de una capa no debe tener más de una parte.
- Must Not Intersect or Touch Interior: Una línea no debe tocar otras líneas de la misma capa en sus extremos.

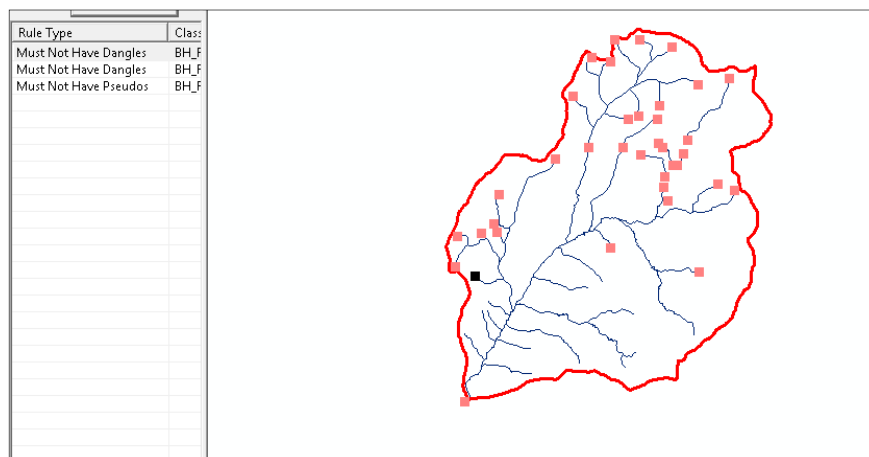


Figura 110. Topología para los Ríos de la Microcuenca.

Elaborado por: Autores, 2013.

Para polígonos existen las siguientes reglas.

- **Must Not Overlap::** Un área no debe sobreponerse a otra en una misma capa.
- **Must Not Have Gaps:** No pueden existir huecos entre áreas de la misma capa.

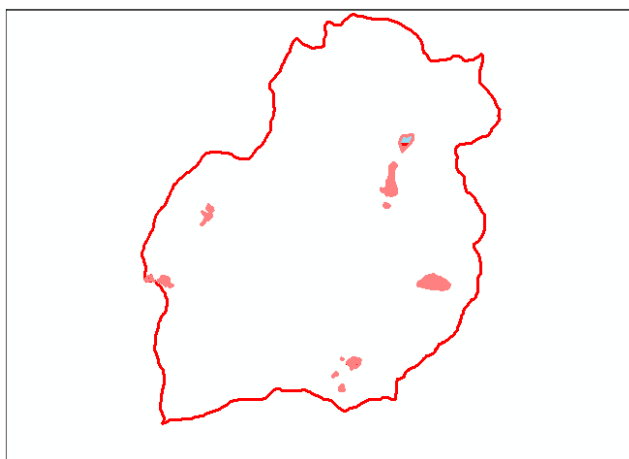


Figura 111. Topología para lagunas de la Microcuenca.

Elaborado por: Autores, 2013.

La geodatabase estructurada de la Cartografía Base y Temática (Vectorial y Raster se encuentra en el Anexo digital I. 1.

CAPITULO X

PROPUESTA DE PLAN DE APROVECHAMIENTO DE RECURSO HIDRICO EN LA MICROCUENCA DEL RIO POMACOCHO.

La formulación del Plan de Aprovechamiento debe estar orientada a las políticas y lineamientos que se encuentran establecidos en la SENPLADES y su nueva formulación del Plan del Buen Vivir 2013 – 2017, pues en este se indican los objetivos y líneas estratégicas que el país desarrollará.

10.1 Formulación de Políticas y Líneas Estratégicas.

Las políticas y líneas estratégicas se enmarcan al Nuevo Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017 encontramos el “Objetivo No. 7 que garantiza los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global”, en el Anexo H.1 se encuentran las políticas y lineamientos establecidos, las metas esperadas por el SENPLADES, las cuales serán los lineamientos a seguir con relación a los programas que se establecerán de acuerdo a nuestro estudio en la microcuenca del Río Pomacocha; estas políticas son las siguientes:

- (7.2) Conocer, valorar, conservar y manejar sustentablemente el patrimonio natural y su biodiversidad terrestre, acuática continental, marina y costera, con el acceso justo y equitativo a sus beneficios
- (7.3) Consolidar la gestión sostenible de los bosques, enmarcada en el modelo de gobernanza forestal (“es el modus operandi por el cual, la población, actores claves e instituciones (formales e informales)

adquieren y ejercen autoridad en el manejo de los recursos forestales, permitiendo mejorar la calidad de vida de los actores que dependen del sector”, Gobernanza Forestal en el Ecuador 2011.

- (7.6) Gestionar de manera sustentable y participativa el patrimonio hídrico, con enfoque de cuencas y caudales ecológicos para asegurar el derecho humano al agua
- (7.10) Implementar medidas de mitigación y adaptación al cambio climático para reducir la vulnerabilidad económica y ambiental con énfasis en grupos de atención prioritaria

10.2 Formulación de Programas para la Microcuenca

El estudio realizado en la Microcuenca del Río Pomacocho identifica que la microcuenca se encuentra en su totalidad al interior del Parque Nacional Sangay ocupando una superficie menor al 0,15% con relación a la superficie total; e igualmente con relación a las Áreas de Vegetación y Bosque Protectores de la Cuenca del Paute ocupa aproximadamente el 0,95% con relación a esta superficie.

El análisis multitemporal de la cobertura en los años 1987, 2001, 2007 señalan una disminución de la cobertura vegetal de páramos, vegetación arbórea y arbustiva, así como el incremento de pastos cultivados debido a las actividades de ganadería y agricultura que se desarrollan en la parte alta y media de la Microcuenca; afectando la biodiversidad de flora y fauna ya que se ha identificado en la zona especies que se encuentran de acuerdo al estado de conservación vulnerables, en peligro de extinción a pesar de encontrarse dentro del Parque Nacional Sangay y tener un régimen especial de control.

La modelación de caudales a través del software WEAP indica el cambio y disminución del uso y cobertura vegetal en la Microcuenca, se ha determinado la disminución paulatina hasta el año 2018, esto debido a la falta de planificación en el territorio, que provocará una disminución en la cantidad y calidad del recurso hídrico; situación que se aprecia actualmente al realizar el análisis de calidad de agua bajo la zona de la población de Llindilig y la zona de la población de Pomacocho, en donde los resultados de los Índices de Calidad de Agua (ICA) y el análisis de macroinvertebrados reflejan que la calidad en estos dos puntos de muestreo es de regular a bueno de acuerdo al ICA y Macroinvertebrados, debido a las actividades agropecuarias y las descargas de aguas negras y grises que se realizan en las comunidades.

Así mismo es necesario destacar que en la microcuenca del Río Pomacocho al momento se encuentran realizando trabajos directamente con los pobladores de Pomacocho, es el Ministerio del Ambiente, Parque Nacional Sangay, complementariamente a estos dos actores importantes y representativos en la microcuenca, se identificaron otros actores que desarrollan y desarrollaron proyectos en el Cantón Alausí, identificándose de ellos sus objetivos y fines que persiguen sus organizaciones que permitirían ejecutar proyectos puntuales en Pomacocho. Es importante considerar la participación de los actores Alfa y Omega, establecidos en la matriz de priorización de actores sociales, pues dentro del proceso de identificación, intereses y valorización, estos identificaron los problemas ambientales, socioeconómicos y organizativos que se encuentran presentes en la

parroquia achupallas en donde se encuentra la microcuenca del Río Pomacocho, los cuales se indican en la Tabla 102

Tabla 102. Problemas Ambientales Identificados.

PROBLEMAS AMBIENTALES IDENTIFICADOS POR LOS ACTORES SOCIALES					
Código	Actor Social	Influencia	Posición frente al Proyecto	Valor	Problemas Ambientales, Sociales, Económicos
A1	Parque Nacional Sangay	Alto	A favor	Alfa	No existe una organización en la microcuenca Problemas de Erosión y ganados en laderas Presencia de ganado en zonas de humedales y pajonales
A4	Ministerio del Ambiente, Programa Sociobosque	Alto	A favor	Alfa	Perdida de Páramo Existe Pobreza en la comunidad
A5	Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo	Alto	A favor	Alfa	Disminución de los Páramos Contaminación de Ríos Perdida de Biodiversidad
A7	Comunidad de Pomacocho	Alto	A favor	Alfa	Perdida de Páramos Cultivos en sitios inadecuados
A10	Senagua - Alausí	Alto	A favor	Alfa	Mala utilización de los recursos hídricos, disminución de los Páramos Existe propietarios de terrenos en zonas de páramos, sus dueños utilizan para fines agrícolas y agropecuarios independiente de la capacidad de uso del suelo
A12	Municipalidad de San Pedro de Alausí	Alto	A favor	Alfa	Incremento de la Frontera Agrícola Falta de apoyo en la comunidad Sequias, Heladas

Elaborado por: Autores, 2013.

La Tabla 102 refleja la percepción del territorio de los principales Actores Alfa que de acuerdo al estudio tiene una influencia alta en la zona y de posición a favor a ejecutar programas y proyectos en la microcuenca, con la colaboración en conjunto en la identificación de los problemas y siguiendo las políticas y lineamientos establecidos en el Objetivo 7 del Nuevo Plan del Buen Vivir 2013 – 2017, se establecen los siguientes programas y proyectos caracterizado a través de la matriz del Marco Lógico.

10.3 Definición de Programas

Tabla 103. Definición de Programas

Objetivo	<p>Gestionar de manera sustentable y participativa el patrimonio hídrico, con enfoque de cuencas y caudales ecológicos para asegurar el derecho humano al agua</p> <p>Implementar medidas de mitigación y adaptación al cambio climático para reducir la vulnerabilidad económica y ambiental con énfasis en grupos de atención</p>
Lineamiento	<p>Desarrollar e implementar un inventario hídrico nacional dinámico, que considere aguas superficiales y subterráneas, y su respectivo sistema de evaluación, para caracterizar y cuantificar la oferta y demanda de agua según sus usos socioeconómicos y caudales ecológicos por cuencas hidrográficas</p> <p>Fortalecer el Sistema Nacional de Información con estadística geoespacial y documental, con énfasis en hidrometereología y agroclimatología, para el monitoreo permanente del cambio climático, considerando factores de riesgo y vulnerabilidad.</p>
Programa	<p>Preservación del Recurso Hídrico, Implementación de Estaciones Hidrometeorológicas, Monitoreo de Calidad del Agua y Generación de geoinformación</p>
Responsables	<p>UNACH, GADCH, SENAGUA, MAE, CESA, CELEC, Municipio de Alausí, Comunidad de Pomacocho, Corporación de Asociaciones Sulla.</p>

Elaborado por: Autores, 2013.

Tabla 104. Definición de Programas

Objetivo	Consolidar la gestión sostenible de los bosques, enmarcada en el modelo de gobernanza forestal
Lineamiento	Desarrollar actividades de forestación, reforestación y revegetación con especies nativas y adaptadas a las zonas afectadas por procesos de deforestación, degradación, fragmentación, erosión, desertificación e incendios forestales.
Programa	Protección, Recuperación y Reforestación en las zonas altas de la microcuenca del Río Pomacocho.
Responsables	MAE, PNS, UNACH , Comunidad de Pomacocho, Corporación de Asociaciones Sullá

Elaborado por: Autores, 2013.

Tabla 105. Definición de Programas

Objetivo	Conocer, valorar, conservar y manejar sustentablemente el patrimonio natural y su biodiversidad terrestre, acuática continental, marina y costera, con el acceso justo y equitativo a sus beneficios
Lineamiento	Fomentar la investigación y los estudios prospectivos sobre el uso sustentable y la conservación de la biodiversidad terrestre, acuática y marino-costera.
Programa	Identificación y Conservación de la Biodiversidad
Responsables	MAE, PNS, UNACH, Comunidad de Pomacocho, Corporación de Asociaciones Sullá

Elaborado por: Autores, 2013.

10.4 Caracterización de Proyectos con la Matriz del Marco Lógico

Programa: Preservación del Recurso Hídrico, Implementación de Estaciones Hidrometeorológicas, Monitoreo de Calidad del Agua y Generación de geoinformación.

Tabla 106. Proyecto: Preservación del Recurso Hídrico en la Microcuenca del Río Pomacocho.

Nivel de Objetivo	Indicador	Medio de Verificación	Supuestos
FIN			
Conservación de la Biodiversidad	Indicadores de Biodiversidad	Lista Roja de la UICN	Se monitorean los efectos ambientales
Conservación de Caudales y Morfología del Río	Registro de eventos de crecidas y/o sequías.	Inspección de Campo	Se mantienen un sistema de asistencia técnica que asegura disponer de información continua
PROPOSITO			
Preservación del Recurso Hídrico en la Microcuenca del Río Pomacocho	Registro de Medición de Caudales Mensuales, Anuales	Inspección de Campo y de los registros	La comunidad no registre adecuadamente los datos
COMPONENTES			
Monitoreo y regularización del Cambio del Uso del Suelo en la Microcuenca del Río Pomacocho	Porcentaje de cambio de uso de suelo establecido en la interpretación de imágenes satelitales	Sistemas de Información Geográfica (GIS)	No se realice la verificación de la información generada
Reducción de la Contaminación Ambiental	Registro de generación de humus por Compostaje, Registro de residuos inorgánicos, calidad de agua.	Registro de ICA y comprobación con Tulsma, generación de residuos mensual.	No haya apoyo de la comunidad para ejecutar las actividades propuestas.
ACTIVIDADES			
1.1 Charla Informativa a los pobladores de la Comunidad de Pomacocho y Lindilig sobre la importancia de los Páramos			No exista la colaboración y la asistencia por parte de los pobladores a las charlas informativas.
1.2 Diseño y Difusión del Programa de Incentivo Económico para que no se destruyan los Páramos			El diseño del programa de incentivos no sea atractivo para la población
1.3 Sociabilización y participación de los actores involucrados en el Monitoreo, Regularización del Cambio del Uso del Suelo	Inversión económica para el desarrollo de las actividades (USD)	Informes Mensuales, Trimestrales del área contable.	Exista conflicto de intereses entre los actores del programa de monitoreo, regulación del uso del suelo
2.1 Programa de Concientización a la Contaminación del Recurso Hídrico en la Población de Pomacocho y Lindilig que se encuentran en la Microcuenca del Río Pomacocho.			

Tabla 107. Proyecto: Equipamiento de Estaciones Hidrometeorológicas, Monitoreo de Calidad del Agua y GIS.

Nivel de Objetivo	Indicador	Medio de Verificación	Supuestos
FIN			
Modelación Hidrológicas de la Microcuenca	Determinación de crecidas, modelación de caudales anuales	Calibración	Que no se disponga del personal operativo capacitado.
Determinación de la Calidad del Agua en la Microcuenca	Índice de calidad de Agua	Inspección en Campo	La comunidad no facilite el proceso de inspección de campo y actualización de información
Sistema de Información Geográfica de la Microcuenca a Escala: 1:5000	Porcentaje de actualización información	GIS	
PROPOSITO			
Equipamiento de Estaciones Hidrometeorológicas, Monitoreo de Calidad del Agua y Sistema de Información Geográfica	Registro de equipamiento, software, hardware adquirido vs lo solicitado.	Cronograma que indique el cumplimiento de los equipos adquiridos	Apoyo económico de los actores sociales Alfa identificados.
COMPONENTES			
Implementación de la Unidad de Hidrometeorología y Calidad del Agua.	Estado de funcionamiento del equipamiento y registro de datos disponibles	Visita a las instalaciones	No se realice la implementación por falta de fondos económicos o por no disponer en el mercado de los equipos identificados
Implementación del Sistema de Información Geográfica.	Componentes de Información generada	GIS Geodatabase	
ACTIVIDADES			
Identificación del sitio adecuado, construcción e implantación de una Estación Hidrométrica			
Identificación del sitio adecuado, licitación para la adquisición de una estación hidrometeorológica e implantación.			
Adquisición de Equipos de Muestreo de Agua in situ, establecimiento y registro de puntos de muestreo	Inversión económica para el desarrollo de las actividades (USD)	Informes Mensuales, Trimestrales del área contable. Cronogramas	No se disponga de los recursos económicos para el desarrollo de las actividades por parte de los organismos competentes.
Levantamiento y actualización de la información cartográfica base y temática a escala 1:5000			

Elaborado por: Autores, 2013.

CAPITULO XI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

11.1 Conclusiones

- El porcentaje de cambio de cobertura vegetal entre 1987 – 2001 es del 5048,57 ha y las áreas sin cambio de cobertura vegetal 2451,43; por lo que se puede observar que las áreas con cambio es menor sin embargo es un dato a tomar en cuenta ya que este puede seguir variando con el pasar de los años si no se toma conciencia de cuidar las áreas naturales del sector.
- En el período de 1987-2007 existe un 38.64% de áreas con cambio de cobertura vegetal y el 61.36% no experimenta cambio; las coberturas que más han tenido una transición son las siguientes: Vegetación Arbórea-Páramo (13.53%); Páramo-Vegetación Arbórea (7.35%); Páramo-Pasto Cultivado (4.02%); Pasto Cultivado-Páramo (2.84%); Vegetación Arbustiva-Páramo (1.16%); Vegetación Arbórea-Pasto Cultivado (1.00%).
- La existencia de datos en el área de estudio es casi nula, por lo cual se procedió a pedir datos ajustados de la información de las estaciones hidrometeorológicas por parte del INAMHI, proceso que dicha institución la realiza con otras estaciones del mismo régimen de precipitación de la que se quiere ajustar.

- Para el desarrollo del modelo WEAP de la microcuenca de estudio se lo realiza en tres catchment considerando la parte alta, media y baja de la microcuenca, obteniendo de estos tres sitios el tipo de cobertura vegetal datos necesarios para la alimentación del modelo.
- Por la calidad y falta de información de las estaciones hidrometeorológicas de la zona de estudio de modelación de caudales a través del software WEAP, presenta deficiencias en su modelación, puesto que lo ideal para obtener un mejor resultado sería tener una o más estaciones dentro de la delimitación de la microcuenca y estos datos no pudieron ser obtenidos.
- Los métodos de cálculo de caudales por isoyetas y polígonos de Thiessen siguen la tendencia de los datos de precipitaciones y el coeficiente de escorrentía y no toman cuenta otros parámetros involucrados en el balance hídrico.
- Analizando la información en el período de 1987-2007 se observa una tendencia a la pérdida de caudales y páramos debido a la falencia de un plan de manejo y aprovechamiento de los mismos.
- A través de los tres métodos usados para determinar la calidad de agua se obtuvo de resultado que tiene una calidad regular, esto debido a que las descargas de la comunidad de Lindilig y Pomacocho se hacen directamente al río Pomacocho, adicionalmente se tiene identificado en la parte media de la cuenca antes de la Población de Pomacocho una calidad regular del agua, debido a la influencia de las actividades ganaderas que se desenvuelven en esta zona, que han influenciado para que especialmente el parámetro de Coliformes

Fecales sea alto, influyendo en el ICA determinado para el primer punto de muestreo.

- Los principales actores sociales Alfa que intervienen directamente en la microcuenca del Río Pomacocho son actores a nivel gubernamental, los cuales tienen una influencia alta y su posición es a favor a que se desarrollen actividades en la microcuenca; un segundo grupo se encuentran los actores sociales Alfa que no pertenecen al gobierno pero que al momento no disponen de una influencia alta en la zona, estos serán importantes en el proceso de desarrollo del Plan de Aprovechamiento puesto que disponen de experiencia y conocimiento en la zona para desenvolver proyectos en conjunto con la UNACH.
- Se realiza geodatabase con su respectivo metadato de cada mapa generado con el fin que los mismos sirvan como referencia bibliográfica de su elaboración

11.2 Recomendaciones.

- Antes de escoger las estaciones que se van a utilizar es importante realizar un análisis del régimen de precipitación de la zona y de la existencia de suficientes datos históricos, principalmente del período a trabajar.
- Capacitar a los pobladores sobre técnicas agrícolas de cultivos rotativos que sustituyan a los monocultivos actuales como medida preventiva en la conservación de suelos más fértiles.

- Para el desarrollo de planes de manejo efectivos dentro de las microcuencas, se debe considerar el aporte de los actores sociales en el desarrollo de las distintas etapas del proyecto, con lo cual se pueda identificar las fortalezas y oportunidades que pueden tener aquellos para el desarrollo de programas al interior de la microcuenca
- Concientizar a los pobladores acerca del cuidado de los páramos como cobertura indispensable en el área de la microcuenca; el programa que realiza socio-bosque esta designado a este fin, con el apoyo de las instituciones gubernamentales así como de la población se puede extender este programa dentro de toda la zona de estudio.
- Implementar estaciones hidrometeorológicas de monitoreo, pluviógrafos e hidrométricas dentro del área de la microcuenca, realizando la respectiva capacitación a los pobladores de Llindilig y Pomacocho para que apoyen en la lectura de datos.
- Una existencia de mayor número de catchment aseguran una mayor correspondencia con las condiciones de la zona.
- Para ser el relleno de datos de las estaciones a usar hay que tomar en cuenta que estas se encuentren dentro del mismo régimen de precipitación para de esta manera obtener mejor datos rellenos.
- Es importante realizar una calibración del modelo ya que este nos va a servir en la validación y generación de escenarios futuros.
- Sería importante realizar en el futuro estudios relacionados a aguas subterráneas para conocer la cantidad de agua almacenada dentro del área de estudio así como su calidad.

- Detectar la fuente de contaminación del río es de gran importancia para atacar el problema de raíz y dar una solución que mejore la calidad del agua para diferentes usos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, M. (2005). Características dos Sistemas Sensores. En M. Alves, *Fundamento do Sensoriamento Remoto e Metodologías de Aplicação* (págs. 120-128). Viçosa: Universidad Federal de Viçosa.
- Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Cuernavaca, Mexico: Grupo Noriega Editores.
- Auza, M. (2011). Precipitación. En M. Auza, *Hidrología Básica* (pág. 37). Cochabamba: Centro de Levantamiento Aeroespacial y Aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales, CLAS.
- Baldock, J. (1982). *Geología del Ecuador*. Quito: División de Investigación Geológico - Minera.
- Beard, R. (28 de Enero de 2008). *Mi Comunidad, nuestra tierra: Geografía para el Desarrollo Sostenible (MyCOE)*. Obtenido de Introducción a Aplicaciones de Técnicas Espaciales para la Conservación de Biodiversidad.: <http://www.aag.org/galleries/mycoe-files/modulo5.pdf>
- Boletín de Suelos de la FAO - 68. (1997). *Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s06.htm>
- Carrera, C., & Fierro, K. (2001). *Manual de Monitoreo, Los macroinvertebrados acúaticos como indicadores de calidad de agua*. Quito: Ecociencia.
- CG PAUTE. (2007). *Información Temática de la Cuenca del Río Paute. Escala 1:250 000*. Cuenca: CG PAUTE.

- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Larry W, M. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogotá: McGraw - Hill Interamericana, S.A.
- Chuvienco, E. (2002). *Teledetección Ambiental*. Barcelona: Ariel S.A.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2006). *Guía para la Identificación de Actores Claves*. Mexico D.F.
- Faustino, J., & García, S. (2004). *Manual de Manejo de Cuencas*. San Salvador: Visión Mundial El Salvador.
- Garcés, D., & Ruiz, V. (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. *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*. Quito, Pichincha, Ecuador: ESPE.
- Lema, M. A., & Plaza, V. (Julio de 2009). Modelación Hidrológica de la Cuenca Alta y Media del Río Pastaza aplicando el Modelo de Simulación WEAP. *Modelación Hidrológica de la Cuenca Alta y Media del Río Pastaza aplicando el Modelo de Simulación WEAP*. Quito, Pichincha, Ecuador: EPN.
- Lobos, J. (2002). *Monitoreo de la contaminación hídrica de los afluentes del embalse de Cerro Grande*. PAES 2000/09/04/07-MRH. Informe Final Fase II. Acelhuate, Sucio, Suquiapa: MAG/DGRNR/PAES.

- Moreira, M. A. (2005). *Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologías de Aplicaçao*. Viçosa, MG, Brasil.: UFV.
- Pérez, M., Puche, M., & Bracho, G. (2011). Herramientas para el control de datos climáticos y su análisis con fines de uso agropecuarios. *Revista Digital CENIAP HOY*, 3-21.
- Pourrut, P. (1995). *El Agua en el Ecuador: Clima, precipitaciones, esorrentía. Volumen 7*. Quito: Corporación Editora Nacional.
- Prieto, F., & Paucar, G. (2010). *Estudio de Diversidad de Flora y Fauna en los Páramos del Sur Oeste del Parque Nacional Sangay (Provincia de Chimborazo y Cañar)*. Riobamba: UNACH.
- PRONAREG-ORSTOM. (1984). Leyenda de Suelos. *Inventario y Cartografía de Suelo, Uso actual del Suelo en los Andes Ecuatorianos*. Chimborazo, Ecuador: PRONAREG.
- Servicio Hidrológico Nacional (SHN) del Servicio Nacional de Estudios Territoriales. (2004). *Índice de Calidad del Agua (ICA)*. Obtenido de <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolICA.pdf>
- Servicio Nacional de Estudios Territoriales. (21 de Mayo de 2011). *Índice de Calidad del Agua General "ICA"*. Obtenido de Índice de Calidad del Agua General "ICA": <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolICA.pdf>
- Sierra, R. (1999). *Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental*. Quito: Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y Ecociencia.

University of Maryland. (1997). *Global Land Cover Facility*. Obtenido de Global Land Cover Facility.

University of Maryland. (2013). *Global Land Cover Facility*. Obtenido de Global Land Cover Facility:
ftp://ftp.glcf.umd.edu/glcf/Landsat/WRS2/p010/r062/p010r062_5dx19870326.TM-GLS1990/p010r062_5x19870326.met

University of Maryland. (2013). *Global Land Cover Facility*. Obtenido de Global Land Cover Facility: Global Land Cover Facility

Valverde, T., Meave, J., Carabías, J., & Cano, Z. (2005). *Ecología y Medio Ambiente*. Person Educación.

Vásquez Villanueva, A. (2000). *Manejo de Cuencas Altoandinas*. Lima: Escuela Superior de Administración de Aguas "Charles Sutton".

Villón, M. (2002). *Hidrología*. Lima: Villón.

Villón, M. (2010). HEC - HMS. En M. Villón, *HEC - HMS, Ejemplos* (pág. 46). Lima: Villón.