



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS
NATURALES RENOVABLES**

**“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA DE
PÁRAMO EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA EN LA CUENCA
ALTA DEL RÍO APUELA, CANTÓN COTACACHI, PROVINCIA
DE IMBABURA”**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

Autor: ANDRADE RUIZ DANY FELIPE

Director: ING. OSCAR ROSALES M Sc.

Ibarra, febrero 2016



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA DE PÁRAMO EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO APUELA, CANTÓN COTACACHI, PROVINCIA DE IMBABURA”

Trabajo de Grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación como requisito parcial para obtener el Título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

Ing. Oscar Rosales, M. Sc.
DIRECTOR **FIRMA**

Ing. Gladys Yaguana, M. Sc.
ASESORA **FIRMA**

Ing. Byron Rosero, M. Sc.
ASESOR **FIRMA**

Ing. Jessika Aldás, M. Sc.
ASESORA **FIRMA**



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100324519-6		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Andrade Ruiz Dany Felipe		
DIRECCIÓN	10 de agosto y Sucre – Cotacachi		
EMAIL:	dany_andruiz@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	06-2916612	TELÉFONO MÓVIL:	0991168559
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA DE PÁRAMO EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO APUELA, CANTÓN COTACACHI, PROVINCIA DE IMBABURA”		
AUTOR:	Andrade Ruiz Dany Felipe		
FECHA:	15 de febrero de 2016		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA:	PREGRADO		
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Recursos Naturales Renovables		
DIRECTOR:	Ing. Oscar Rosales. M. Sc		

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Dany Felipe Andrade Ruiz, con cédula de ciudadanía Nro. 100324519-6, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley Orgánica de Educación Superior, Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El Autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 15 días del mes de febrero de 2016.

Aceptación.

Dany Felipe Andrade Ruiz

Autor

Ing. Betty Chávez

Jefe de Biblioteca



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, **Dany Felipe Andrade Ruíz**, con cédula de ciudadanía Nro. **100324519-6**, manifiesto la voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor del trabajo de grado denominado **“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA DE PÁRAMO EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO APUELA, CANTÓN COTACACHI, PROVINCIA DE IMBABURA”**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **Ingeniero en Recursos Naturales Renovables** en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte

Dany Felipe Andrade Ruiz

100324519-6

Ibarra, a los 15 días del mes de febrero de 2016.

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA - UTN

Ibarra, a los 15 días del mes de febrero de 2016. ANDRADE RUIZ DANY FELIPE.
“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA DE PÁRAMO EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO APUELA, CANTÓN COTACACHI, PROVINCIA DE IMBABURA”

TRABAJO DE GRADO. Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Ibarra. EC.

Febrero 2016. Hora. Página anexo

DIRECTOR: *Ing. Oscar Rosales*

Resumen

En el sector de Piñán del cantón Cotacachi, provincia de Imbabura, cuenca alta del río Apuela, se realizó el análisis multitemporal de la cobertura de páramo para determinar la influencia en la producción de agua. Se encontró que la vegetación de bosque natural y vegetación arbustiva ha disminuido en los últimos 19 años incidiendo en la disminución de caudales de los ríos Piñán, Pitura, Piura y Apuela, debido a las actividades antrópicas de los pobladores de la cuenca.

Fecha: 15 de febrero de 2016

Ing. Oscar Rosales MS.c.

Director

Dany Felipe Andrade Ruiz

Autor

PRESENTACIÓN

Yo, Dany Felipe Andrade Ruíz como autor del Trabajo de Grado titulado **“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA DE PÁRAMO EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO APUELA, CANTÓN COTACACHI, PROVINCIA DE IMBABURA”**, soy responsable de los resultados, discusiones, conclusiones y demás parte de la investigación; y pongo este documento como fuente de apoyo para consultas dirigidas a los estudiantes, así como para personas interesadas en el los cambios suscitados en la cobertura vegetal de páramo y la influencia que ha tenido en la producción de agua.

AGRADECIMIENTO

El agradecimiento más profundo a mis padres, por el apoyo incondicional durante mi vida estudiantil.

A mi esposa y a mi hija que me dan las fuerzas día a día para seguir luchando y continuar desarrollándome como persona.

A mi director de tesis, ingeniero Oscar Rosales por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito.

A mis asesores ingeniera Gladys Yaguana, ingeniera Jessika Aldás, ingeniero Jorge Castro e ingeniero Byron Rosero, que me compartieron su preparación y sabiduría para desarrollar de la mejor manera esta investigación.

A un gran amigo por la paciencia y comprensión que ha tenido al momento que más lo he necesitado.

DEDICATORIA

A mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mi esposa Gaby y a mi hija Emma Isabella, que son mis dos amores y son el motor de mi vida, las personas que me dan la fuerza suficiente para superarme y siempre con la frente en alto salir adelante.

ÍNDICE

CAPÍTULO I	16
1.1 INTRODUCCIÓN.....	16
1.2 OBJETIVOS.....	18
1.2.1 Objetivo General.....	18
1.2.2 Objetivos Específicos.....	18
1.3 PREGUNTA DIRECTRIZ.....	18
CAPÍTULO II	19
REVISIÓN DE LITERATURA	19
2.1 MARCO LEGAL	19
2.1.1 CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR DE 2008.....	19
2.1.2 CÓDIGO ORGÁNICO DE ORGANIZACIÓN TERRITORIAL, AUTONOMÍA Y DESCENTRALIZACIÓN (COOTAD, 2014).....	20
2.1.3 PLAN NACIONAL DEL BUEN VIVIR (2013 – 2017) DE LA SECRETARÍA NACIONAL DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO DEL ECUADOR.....	21
2.1.4 LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA (AGOSTO, 2014).....	21
2.1.5 LEY FORESTAL Y DE CONSERVACIÓN DE ÁREAS NATURALES Y VIDA SILVESTRE (SEPTIEMBRE, 2004).....	22
2.1.6 LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL (SEPTIEMBRE, 2004).....	23
2.1.7 ORDENANZA QUE DELIMITA, REGULA, AUTORIZA Y CONTROLA EL USO DE QUEBRADAS Y SUS TALUDES; RIBERAS Y LECHO DE RÍOS, ESTEROS, LAGOS Y LAGUNAS; EN EL CANTÓN COTACACHI (JULIO, 2009).....	23
2.1.8 RESERVA ECOLÓGICA COTACACHI CAYAPAS.....	24
2.2. LA BIODIVERSIDAD DEL ECUADOR	25
2.3. LOS PÁRAMOS DEL ECUADOR	26
2.4 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL	28
2.4.1. EVALUACIÓN ECOLÓGICA RÁPIDA (EER).....	29
2.5 TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN APLICADAS AL MONITOREO DE LA COBERTURA VEGETAL.....	30
2.6. CAMBIOS DE COBERTURA VEGETAL.....	34
2.7 ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL	36
2.8. FRAGMENTACIÓN DE HÁBITATS	38
2.9. ALTERACIONES AMBIENTALES.....	40

2.10.	CLASIFICACIÓN SUPERVISADA DE IMÁGENES DE SATÉLITE	41
2.11.	METODOLOGÍAS PARTICIPATIVAS PARA EL DIAGNOSTICO SOCIOECONÓMICO	46
2.12.	ESTUDIOS MULTITEMPORALES DE COBERTURA VEGETAL EN EL ECUADOR.....	47
	CAPÍTULO III	49
3.1.	MATERIALES Y EQUIPOS	49
3.2.	METODOLOGÍA.....	50
3.3.	METODOLOGÍA CARTOGRÁFICA	50
3.4.	MECANISMO DE TRABAJO EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	51
3.5.	ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL EN LOS AÑOS 1991 Y 2010 EN LA CUENCA, UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT CON RESOLUCIÓN ESPACIAL DE 30 m Y A 0.50 m.	55
3.6.	DIAGNÓSTICO BIOFÍSICO DE LA COBERTURA PÁRAMO Y RECURSO AGUA DE LA CUENCA.....	59
3.7.	MODELAMIENTO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA EN BASE A DATOS DE CURVA NÚMERO DE LOS AÑOS 1991 Y 2010 MEDIANTE LA METODOLOGÍA DEL SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS).....	62
	CAPÍTULO IV	66
	RESULTADOS	66
4.1.	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	66
4.2.	ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL	72
4.3.	CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA	75
4.4.	MODELAMIENTO HIDROLÓGICO HEC – HMS	76
	CAPÍTULO V	94
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
5.1.	CONCLUSIONES.....	94
5.2.	RECOMENDACIONES	96
5.3.	BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	97
5.4.	ANEXOS.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procesos de Fragmentación.....	39
Figura 2. Representación gráfica de una firma espectral una de cobertura de suelo cualquiera.....	45
Figura 3. Modelo de pérdida de cobertura vegetal	56
Figura 4. Modelo de pérdida de cobertura vegetal	63
Figura 5. Mapa de Ubicación	67
Figura 6. Resultados generales del modelo hidrológico.....	80
Figura 7. Resultados hidrológicos para la cuenca	80
Figura 8. Resultados del modelo generado.....	81
Figura 9. Resultados de la serie “salida”	81
Figura 10. Resultados de la serie subcuenca “CH”	82
Figura 11. Resultados del modelo hidrológico.....	83
Figura 12. Resultados hidrológicos para la cuenca	83
Figura 13. Resultados para salida del modelo generado	84
Figura 14. Resultados de la serie “CH”	84
Figura 15. Resultados de la serie subcuenca “CH”	85
Figura 16. Resultados generales del modelo hidrológico.....	85
Figura 17. Resultados hidrológicos para la cuenca	86
Figura 18. Resultados para el modelo generado de subcuenca	86
Figura 19. Resultados generales del modelo hidrológico.....	89
Figura 20. Resultados gráficos para subcuenca.....	89
Figura 21. Resultados para el modelo generado de subcuenca	90
Figura 22. Resultados de la serie “salida”	90
Figura 23. Resultados de la serie subcuenca “CH”	91

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características de las bandas de imágenes LANDSAT	31
Cuadro 2. Bandas espectrales LANDSAT	31
Cuadro 3. Características de los sensores Landsat ETM y TM.....	32
Cuadro 4. Aplicaciones de los sensores Landsat ETM y TM	33
Cuadro 5: Longitudes de onda rojo, verde y azul aplicados a la interpretación de imágenes de satélite.....	33
Cuadro 6. Morfología del mapa de pendientes.....	53
Cuadro 7. Categorías de cobertura vegetal año 1991	57
Cuadro 8. Categorías de cobertura vegetal año 2010	57
Cuadro 9. Números de la Curva para cultivos Agrícolas	64
Cuadro 10. Números de la Curva para pastizales y arboledas.....	65
Cuadro 11. Coordenadas planas referenciales	66
Cuadro 12. Red hídrica de la cuenca del río Apuela	68
Cuadro 13. Rangos de precipitación.....	70
Cuadro 14. Datos de precipitaciones medias mensuales (1991 - 2010)	70
Cuadro 15. Sistematización de encuesta	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del suelo.....	68
Tabla 2. Usos del suelo actuales.....	69
Tabla 3. Características del terreno	69
Tabla 4. Comparación de cambios de cobertura vegetal en los años 1991 y 2010.	73
Tabla 5. Comparación de cambios de cobertura vegetal en los años 2010 y 2015.	75
Tabla 6. Curva número de categoría de cobertura vegetal de los años 1991, 2010 y 2015.	77
Tabla 7. Datos del período de máximas precipitaciones (mm) – Inguincho	78
Tabla 8. Datos del período de máximas precipitaciones (mm) – Apuela.....	79
Tabla 9. Resultados de la serie “salida”	87
Tabla 10. Resultados de la serie subcuena “CH”.....	88
Tabla 11. Datos época lluviosa.....	91
Tabla 12. Datos época seca.....	92

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Diagrama ombrotérmico de la estación meteorológica de Inguincho año 1991	71
Gráfico 2. Diagrama ombrotérmico de la estación meteorológica de Inguincho año 2010	71
Gráfico 3. Interpretación gráfica de datos años 1991 – 2010.....	74
Gráfico 4. Interpretación gráfica de datos años 2010 – 2015.....	75
Gráfico 5. Interpretación gráfica de resultados para época lluviosa.....	92
Gráfico 6. Interpretación gráfica de resultados para época seca	93

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. MODELO DE ENCUESTA APLICADA.....	100
ANEXO 2. FICHA DE EVALUACIÓN ECOLÓGICA RÁPIDA.....	102
ANEXO 3. REGISTRO FOTOGRÁFICO.....	114
ANEXO 4. MAPA DE UBICACIÓN	118
ANEXO 5. MAPA BASE	119
ANEXO 6. MAPA HIDROLÓGICO.....	120
ANEXO 7. MAPA DE TIPO DE SUELO	121
ANEXO 8. MAPA DE USO DEL SUELO.....	122
ANEXO 9. MAPA DE PENDIENTES	123
ANEXO 10. MAPA DE ISOTERMAS E ISOYETAS.....	124
ANEXO 11. MAPA DE TIPO DE CLIMA	125
ANEXO 12. MAPA DE ZONAS DE VIDA.....	126
ANEXO 13. MAPA DE COBERTURA VEGETAL AÑO 1991	127
ANEXO 14. MAPA DE COBERTURA VEGETAL AÑO 2010.....	128
ANEXO 15. MAPA DE COBERTURA VEGETAL AÑO 2015	129

RESUMEN

El presente estudio se realizó en la provincia de Imbabura, cantón Cotacachi, parroquias de Apuela e Imantag en las comunidades de Piñán y Guananí, donde como principal fuente de ingreso tienen las actividades agrícolas y pecuarias. Con la obtención de los resultados se observó que los cambios suscitados en el páramo son debidos a actividades antrópicas como por ejemplo: avance de la frontera agrícola, quemas, entre otros. Para considerar los cambios de la vegetación, se realizó un análisis multitemporal de los años 1991 y 2010 de la cobertura de páramo con el apoyo de imágenes satelitales; el mismo que se basó de un diagnóstico ambiental y además, en una zonificación con criterio ecológico no extractivista, permitiendo conocer más a detalle los recursos agua y vegetación, facilitando la implementación de propuestas encaminadas a la conservación, protección y manejo adecuado de los recursos bióticos y abióticos del área estudiada y así ser aprovechados en posibles proyectos de sustentabilidad, ecoturísticos, investigativos y otros. Por otro lado, la capacitación a los comuneros sobre el uso adecuado de los recursos que disponen y las actividades que pueden desarrollar para mantenerlos en su estado natural son el eje principal para lograr cada una de las propuestas presentadas y esto se lo puede lograr a través de la integración de los actores de la comunidad con el objetivo de alcanzar el buen manejo de los recursos, ya que de ellos depende su subsistencia.

SUMMARY

This study was conducted in the province of Imbabura, Cotacachi, parishes Imantag and Apuela in communities of Piñán and Guananí, where the main source of income is farming and livestock activities. By obtaining the results we see that the changes caused in the wilderness are due to human activities such as expansion of the agricultural frontier, fires, among others. To consider the changes in vegetation, multi-temporal analysis of the years 1991 and 2010 the coverage of wasteland with the support of satellite imaging was performed; the same that was based on an environmental diagnosis and also a non-extractive ecological zoning criteria, allowing to know more detail the water and vegetation resources, facilitating the implementation of proposals for the conservation, protection and proper management of resources and biotic abiotic study area and thus be utilized in potential sustainability projects, ecotourism, research, among others. Furthermore, the training of villagers on the proper use of the resources available and activities can be developed to keep them in their natural state are the backbone to achieve each of the proposals and this is what can be achieved through integration of community actors in order to achieve good management of resources because their livelihood depends on them

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

El presente estudio se realizó en la provincia de Imbabura, cantón Cotacachi, parroquias de Apuela e Imantag, con las comunidades de Piñán y Guananí principalmente, donde las labores agrícolas y pecuarias constituyen las principales actividades que los comuneros realizan (Censo Nacional Agropecuario, 2002). Los resultados facilitaron la propuesta de iniciativas encaminadas a la conservación, protección y manejo adecuado del recurso hídrico del área, garantizando la sustentabilidad.

La problemática de la conservación de los recursos naturales de los páramos se debe a las actividades de sobrevivencia que la población realiza; los impactos que se producen corresponden al pastoreo en áreas cercanas a los cuerpos de agua, extracción de madera para leña de los pequeños remanentes de bosque, así como también la quema y la utilización de superficies de páramo para actividades agrícolas y ganaderas controladas.

Para considerar los cambios de la vegetación, se realizó un análisis multitemporal de los años 1991 y 2010 de la cobertura de páramo; el mismo que se fundamentó en un diagnóstico ambiental detallado y en una zonificación con criterio ecológico, permitiendo conocer los recursos agua y vegetación, lo cual facilitará la implementación de iniciativas orientadas a la conservación, protección y manejo adecuado de los recursos bióticos y abióticos del área y así ser aprovechados en posibles proyectos de sustentabilidad, ecoturísticos, investigativos, entre otros.

El ecosistema páramo, debido a los cambios atmosféricos que provocan sequías y lluvias excesivas, ha experimentado un deterioro en la biodiversidad alto andina,

igualmente la desaparición de algunas especies y la disminución de las capas freáticas del suelo, modificando los caudales de los ríos, acequias y bebederos ya que son importantes para el consumo humano y el hábitat de las especies de flora y fauna (Mena & Medina, 2001).

En las últimas décadas según los pobladores de las comunidades de Piñán y Guananí, ha sido evidente la paulatina pérdida de cobertura vegetal, notándose daños de mayor consideración en los sectores de Pantaví, Las Cochas y Los Corrales, zonas donde existe un intenso sobrepastoreo, lo que ha provocado la disminución de los caudales en los principales ríos.

En la parte baja de la cuenca del río Apuela, en los sectores de Cazarpamba e Irubí, la deforestación se manifiesta de modo alarmante, produciendo una notoria pérdida de cobertura vegetal, que en algunos casos, ha causado la sustitución de la vegetación nativa por sembríos. Las causas de este proceso son: el crecimiento demográfico y la pobreza, la falta de sectores para la agricultura, la alta concentración de la propiedad de la tierra y la inexistencia de vigilancia y control en varios sectores de la parte alta de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas.

El estilo de vida de los pobladores de las comunidades de Piñán y Guananí, tiene relación directa con el aprovechamiento y manejo de los recursos naturales existentes en la zona donde habitan, por lo que es necesario controlar las fuentes de contaminación del agua, del suelo y de los ecosistemas importantes. Por otro lado, capacitar a los comuneros sobre el uso adecuado de los recursos que disponen y las actividades que pueden desarrollar para mantenerlos en su estado natural, se las puede lograr a través de la integración de los actores de la comunidad con el objetivo de alcanzar el buen manejo de los recursos, ya que de ellos depende su subsistencia.

El presente estudio generó información que será fundamental para el cumplimiento de los objetivos de los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Parroquiales Rurales de Apuela e Imantag, así como también para contribuir al Plan de Manejo

de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas (RECC), ya que la mayor parte del área de estudio está dentro de la Reserva.

El Plan de Manejo de la RECC, plantea garantizar la protección de la integridad ecológica y la diversidad biológica y cultural, desarrollar un modelo de gestión y manejo eficiente, amplio y participativo, promoviendo el uso racional de sus bienes y servicios ambientales e impulsando un desarrollo socioeconómico y cultural sustentable.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Analizar la cobertura vegetal de páramo en los años 1991 y 2010 y la influencia en la producción de agua en la cuenca alta del río Apuela.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Efectuar el diagnóstico biofísico de la cobertura páramo y recurso agua de la cuenca.
- Realizar el análisis multitemporal de la cobertura vegetal en los años 1991 y 2010 en la cuenca, utilizando imágenes satelitales LANDSAT con resolución espacial de 30 m.
- Generar el Modelamiento Hidrológico de la cuenca en base a datos de curva número de los años 1991 y 2010 mediante la metodología del Soil Conservation Service (SCS).

1.3 PREGUNTA DIRECTRIZ

- ¿Los cambios de la cobertura vegetal en el tiempo han influido en la generación del recurso hídrico de la cuenca?

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 MARCO LEGAL

Para el marco legal se ha incluido las normas jurídicas que se relacionan al proyecto con la conservación, como son Constitución de la Republica vigente en la actualidad, Plan Nacional del Buen Vivir, Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, y la Ordenanza Municipal de riveras de ríos.

2.1.1 CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR DE 2008

El artículo 12 de la Constitución de la República del Ecuador menciona que el agua es un derecho humano irrenunciable y constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida;

El artículo 14 de la Constitución de la República del Ecuador, reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay;

El artículo 264 de la Constitución de la República del Ecuador en el inciso 8 determina que es competencia exclusiva de los municipios, delimitar, regular, autorizar y controlar el uso de las playas de mar, riberas y lechos de ríos, lagos y lagunas, sin perjuicio de las limitaciones que establezca la ley; y en el ámbito de sus competencias y territorio, y en uso de sus facultades, expedirán ordenanzas cantonales

El artículo 318 de la Constitución de la República del Ecuador señala que el agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e

imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua.

El artículo 395 de la Constitución de la República del Ecuador reconoce los siguientes principios ambientales:

1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y que asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.

3. El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales.

El artículo 413 de la Constitución de la República del Ecuador señala que el Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

2.1.2 CÓDIGO ORGÁNICO DE ORGANIZACIÓN TERRITORIAL, AUTONOMÍA Y DESCENTRALIZACIÓN (COOTAD, 2014).

En su artículo 55, literal j, se establece que son competencias exclusivas del gobierno autónomo descentralizado municipal, Delimitar, regular, autorizar y controlar el uso de las playas de mar, riberas y lechos de ríos, lagos y lagunas, sin perjuicio de las limitaciones que establezca la ley.

En su artículo 430.- Usos de ríos, playas y quebradas se menciona que los gobiernos autónomos descentralizados metropolitanos y municipales, formularán

ordenanzas para delimitar, regular, autorizar y controlar el uso de las playas de mar, riberas y lechos de ríos, lagos y lagunas, quebradas, cursos de agua, acequias y sus márgenes de protección, de acuerdo a lo dispuesto en la Constitución y la ley.

2.1.3 PLAN NACIONAL DEL BUEN VIVIR (2013 – 2017) DE LA SECRETARÍA NACIONAL DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO DEL ECUADOR

Los objetivos nacionales 2, 3, 4 y 7 mencionan:

- Objetivo 2. Auspiciar la igualdad, la cohesión, la inclusión y la equidad social y territorial, en la diversidad.
- Objetivo 3. Mejorar la calidad de vida de la población.
- Objetivo 4. Fortalecer las capacidades y potencialidades de la ciudadanía.
- Objetivo 7. Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global.

2.1.4 LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA (AGOSTO, 2014).

En el artículo 6 de la Ley de Recursos Hídricos se determina la prohibición de toda forma de privatización del agua, por su trascendencia para la vida, la economía y el ambiente; por lo mismo esta no puede ser objeto de ningún acuerdo comercial, con gobierno, entidad multilateral o empresa privada nacional o extranjera.

En el artículo 12 de la Ley de Recursos Hídricos se menciona que el Estado, los sistemas comunitarios, juntas de agua potable y juntas de riego, los consumidores y usuarios, son corresponsables en la protección, recuperación y conservación de las fuentes de agua y del manejo de páramos así como la participación en el uso y administración de las fuentes de aguas que se hallen en sus tierras.

En el artículo 60 de la Ley de Recursos Hídricos. El derecho humano al agua implica el libre acceso y uso del agua superficial o subterránea para consumo humano, siempre que no se desvíen de su cauce ni se descarguen vertidos ni se produzca alteración en su calidad o disminución significativa en su cantidad ni se afecte a derechos de terceros.

2.1.5 LEY FORESTAL Y DE CONSERVACIÓN DE ÁREAS NATURALES Y VIDA SILVESTRE (SEPTIEMBRE, 2004)

En el Artículo 6 del Título I (De los Recursos Forestales), Capítulo III (De los Bosques y Vegetación Protectores) se consideran bosques y vegetación protectores aquellas formaciones vegetales, naturales o cultivadas, que cumplan con uno o más de los siguientes requisitos:

- a) Tener como función principal la conservación del suelo y la vida silvestre;
- b) Estar situados en áreas que permitan controlar fenómenos pluviales torrenciales o la preservación de cuencas hidrográficas, especialmente en las zonas de escasa precipitación pluvial;
- c) Ocupar cejas de montaña o áreas contiguas a las fuentes, corrientes o depósitos de agua;
- d) Constituir cortinas rompe vientos o de protección del equilibrio del medio ambiente;
- e) Hallarse en áreas de investigación hidrológico - forestal;
- f) Estar localizados en zonas estratégicas para la defensa nacional; y,
- g) Constituir factor de defensa de los recursos naturales y de obras de infraestructura de interés público.

En los Artículos 9, 10 y 12 del Capítulo IV (De las Tierras Forestales y los Bosques de Propiedad Privada) se define a las tierras forestales como aquellas que por sus condiciones naturales, ubicación, o por no ser aptas para la explotación

agropecuaria, deben ser destinadas al cultivo de especies maderables y arbustivas, a la conservación de la vegetación protectora, inclusive la herbácea y la que así se considere mediante estudios de clasificación de suelos, de conformidad con los requerimientos de interés público y de conservación del medio ambiente.

2.1.6 LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL (SEPTIEMBRE, 2004)

En el Artículo 41, Título VI de la Protección de los Derechos Ambientales, expresa que con el fin de proteger los derechos ambientales individuales o colectivos, se concede acción pública a las personas naturales, jurídicas o grupo humano para denunciar la violación de las normas del medio ambiente, sin perjuicios de la acción de amparo constitucional previsto en a la Constitución de la República. Además nos obliga a todos a participar en el cuidado y protección de nuestros recursos naturales, para lo cual debemos cumplir con las normas y reglamentos que buscan el uso racional de los recursos.

2.1.7 ORDENANZA QUE DELIMITA, REGULA, AUTORIZA Y CONTROLA EL USO DE QUEBRADAS Y SUS TALUDES; RIBERAS Y LECHO DE RÍOS, ESTEROS, LAGOS Y LAGUNAS; EN EL CANTÓN COTACACHI (JULIO, 2009).

En el artículo 4 expresa que para efectos de la presente Ordenanza los bienes nacionales de uso público afectados por la presente ordenanza son:

- Los lechos de ríos, arroyos, esteros, lagos y lagunas
- Las orillas o riberas de ríos, lagos y lagunas
- Las quebradas con sus taludes,
- Las fuentes y nacimientos de agua.

En el artículo 9 menciona que el área de ribera corresponde al área de influencia directa sobre el suelo y la vegetación denominada bosque de galería, ribera o soto; esta distancia no es una constante y estará en función de las características edáficas, climáticas, topográficas, geomorfológicas y bióticas de la región.

En el artículo 15 enuncia que la delimitación de las áreas de ribera, serán realizadas previa inspección in situ y se tomará en cuenta por lo menos los parámetros de valoración de: humedad del suelo y formaciones vegetales; el mapeo se realizará a cada margen del río o en el perímetro de los lagos y lagunas, en distancias no mayores a 50 m, registrándose: ubicación geográfica, humedad del suelo, inventario de flora mayor (segmento perpendicular al cuerpo de agua), dimensión del espejo de agua, línea de ribera, entre los más principales.

En el artículo 21 se establece que el uso de las quebradas, humedales y riberas de ríos, esteros, lagos y lagunas podrán ser utilizados:

- Para la realización de actividades de ecoturismo,
- Para la recreación y el esparcimiento,
- Para la protección de los ecosistemas,
- Para la ejecución de planes de forestación y reforestación para el control de la erosión,
- Para la conservación de acuíferos que permiten el abastecimiento de agua para consumo humano,
- Para la realización de ceremonias o eventos de carácter cultural, religioso o deportivo, y
- Para la investigación científica.

2.1.8 RESERVA ECOLÓGICA COTACACHI CAYAPAS

La Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas (RECC) fue declarada inicialmente como Reserva Nacional el 24 de septiembre de 1968, con el objeto de que se realizaran trabajos de investigación y experimentación. Mediante Acuerdo ministerial N° 0322, del 20 de noviembre de 1979, se estableció como Reserva Ecológica con 204.420 hectáreas. El 28 de octubre de 2002, por medio del Acuerdo Ministerial N° 129, se amplió la Reserva en 39.218 hectáreas, siendo la superficie actual de 243.638 hectáreas.

Las Reservas Ecológicas son consideradas áreas naturales terrestres y/o marinas generalmente grandes que pueden incluir uno o varios ecosistemas o formaciones

vegetales en estado natural o con alteración mediana. Revisten importancia nacional o regional para el manejo y utilización sustentable de los recursos naturales en beneficio de las comunidades humanas ancestrales, presentes al momento de su establecimiento (MAE, 2007)

2.2. LA BIODIVERSIDAD DEL ECUADOR

El territorio ecuatoriano presenta altísima biodiversidad y endemismo, a pesar de su pequeña extensión. La fauna ecuatoriana está considerada entre las de mayor diversidad en el mundo, cuenta con 369 especies de mamíferos, 1.550 especies de aves, 380 especies de reptiles, 402 especies de anfibios y 706 especies de peces de agua dulce, que hacen del país un lugar privilegiado a nivel mundial y sustentan su inclusión entre los países de “mega diversidad” (McNeely, 1990 citado por Ortiz, 2002).

En cuanto al endemismo, el país tiene uno de los más altos en el mundo, con 26 especies de mamíferos, 37 de aves, 106 de reptiles y 138 especies de anfibios, lo que determina su singular importancia en el ámbito mundial (UCE, 2000 citado por Ortiz, 2002).

En la costa, la destrucción acelerada de los bosques ha afectado seriamente la biodiversidad y, según el botánico Gentry, se cree que ha desaparecido algunas especies; mientras, en la sierra la vegetación natural ha sido casi exterminada por las actividades humanas. En el Oriente la deforestación está disminuyendo fuertemente la vegetación natural, especialmente en los declives andinos y en las zonas colonizadas de la parte baja. (Gentry, 1993 citado por Challenger, 2003).

La biodiversidad del país constituye la riqueza natural de los ecuatorianos y por lo tanto es un recurso estratégico que nos ofrece múltiples alternativas para el desarrollo sustentable, por lo que debe ser conservado y manejado de forma coordinada e integral que garantice su permanencia. Sin la conservación, sin la consideración cuidadosa, respetuosa, solidaria de las realidades naturales, incluidas las humanas el desarrollo no será verdadero progreso (Ramos, 1993).

2.3. LOS PÁRAMOS DEL ECUADOR

Según Mena & Hofstede (2001), el páramo es un ecosistema natural sobre el límite de bosque, dominado por pajonales, rosetales, arbustales y humedales. Es un ecosistema de clima frío y es muy frágil a los cambios en el uso de la tierra, por lo que su potencial para el uso productivo es, en términos generales, muy limitado. Sin embargo, mucha gente de una gran riqueza cultural pero pobreza económica está aprovechando los recursos de este paisaje.

Al mismo tiempo, una gran población aguas abajo lo está aprovechando indirectamente, aunque de manera sustancial, especialmente a través de su servicio ambiental hídrico.

“La provisión de servicios ambientales del ecosistema como el turismo, el almacenamiento de carbono en el suelo y especialmente el almacenamiento y distribución de agua a tierras bajas, pueden presentar alternativas interesantes para el manejo, aunque muchas veces conflictivas. Por su relación con temas sociales, políticos y culturales, el análisis detallado de la productividad del páramo es un tema que requiere de un tratamiento multidisciplinario” (Mena & Hofstede, 2001, p 91).

El ecosistema páramo ha proporcionado una importante función socio-económica a la comunidad Andina como su principal fuente de agua. Debido a las circunstancias climáticas especiales, los suelos volcánicos poco profundos y porosos con alto contenido de materia orgánica, y su topografía formada por la acción de los glaciares, la hidrología superficial del páramo tiene características extraordinarias.

Comparado con cuencas montañosas en otras regiones, los ríos que descienden desde los páramos tienen un flujo base sostenido como un resultado de la elevada capacidad de regulación del agua del páramo. Sin embargo, esta función está amenazada por un incremento de la actividad humana durante los últimos años. Cada vez más, el páramo es usado para pastoreo intensivo de ganado, cultivos de papas y fréjoles y plantaciones de pinos, entre otros.

Muchas veces a las regiones montañosas se les describe como “las torres de agua del mundo” (Mountain Agenda, 1998). Esta frase está sujeta a debate, pero para los ecosistemas de humedales que se encuentran en las montañas de los Andes altos sobre los 3000 m de altitud, existe poca duda. Directa o indirectamente, proporcionan servicios ambientales a más de 100 millones de personas (UICN, 2002). Sin duda, el más importante de estos servicios es suministrar agua confiable para uso urbano, para la agricultura y la industria.

El páramo consiste de planicies y valles accidentados de origen glacial con una gran variedad de lagunas, pantanos y praderas húmedas. Como resultado de la poca presencia humana, la calidad del agua es excelente, y los ríos que descienden desde el páramo tienen un alto y sostenido flujo base. Por lo tanto, y porque el agua subterránea es escasa y difícil de explotar, la mayoría de grandes ciudades en el norte de los Andes dependen del páramo para suministro de agua. A pesar de su importancia como un suministrador de agua, la hidrología del páramo es muy poco entendida. Datos meteorológicos e hidrológicos son casi inexistentes, y la literatura científica es extremadamente escasa.

En el futuro, los problemas podrían surgir. Un incremento en la población, en el estándar de vida, y en las actividades agrícolas y económicas resultarán en una creciente demanda por agua (Iñiguez, 2003).

El ecosistema páramo ha proporcionado una importante función socio-económica a las comunidades de Piñán y Guananí, como su principal fuente de agua. Debido a las circunstancias climáticas especiales, los suelos volcánicos poco profundos y porosos con alto contenido de materia orgánica y su topografía formada por la acción de los glaciares, la hidrología superficial del páramo tiene características extraordinarias.

Cada vez más, el páramo es usado para pastoreo intensivo de ganado, cultivos y plantaciones de pinos entre otros (en ciertos sitios del área de estudio). Además que cada una de las actividades que se realiza por parte de los pobladores del sector afectan directamente al comportamiento hidrológico del páramo.

El ecosistema páramo proporciona servicios ambientales, sin duda, el más importante de estos servicios es suministrar agua confiable para uso humano, seguido para la agricultura y en otros casos la industria (como sucede en las áreas aledañas al área de estudio). El páramo de Piñán consiste de planicies y valles accidentados de origen glacial con una gran cantidad de lagunas, pantanos y praderas húmedas. Como resultado de la poca presencia humana, la calidad del agua es excelente y los ríos que descienden desde el páramo tienen un alto y sostenido flujo base.

A pesar de su importancia como un suministrador de agua, la hidrología del páramo es muy poco entendida. Datos meteorológicos e hidrológicos son casi inexistentes y la literatura científica es extremadamente escasa. Un incremento en la población, en el estándar de vida, y en las actividades agrícolas y económicas resultarán en una creciente demanda por agua (Iñiguez, 2003).

2.4 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

El Diagnóstico Ambiental está constituido por un conjunto de estudios, análisis y propuestas de actuación y seguimiento que abarcan el estado ambiental en todo el ámbito territorial local. Para que el Diagnóstico Ambiental no se reduzca a un inventario de datos sin valor operativo, se entiende que el proceso debe incluir una propuesta realista de acciones de mejora que resuelva los problemas diagnosticados y un sistema de parámetros que permitan su medición, control y seguimiento. La determinación clara y el liderazgo del proceso por parte de los representantes políticos, constituye un elemento esencial en su desarrollo. Para la formulación del diagnóstico, se inició con el reconocimiento del área de estudio analizando los elementos más relevantes de los componentes abióticos, bióticos y socio-económicos, así como también se procede a recopilar toda la información bibliográfica existente, complementando además con las visitas de campo respectivas a límites y puntos estratégicos de sean de importancia para el estudio y el planteamiento de los resultados (Kramer & García 2 003).

La realización de un Diagnóstico Ambiental consiste en:

- El conocimiento del estado ambiental a partir del cual podemos definir una correcta política ambiental que haga posible el desarrollo sostenible de los recursos.
- La identificación de aquellas incidencias ambientales que afectan a la localidad, con el objetivo de sobreponerlas de los problemas.
- Conocer el cumplimiento de la legislación ambiental aplicable.
- Proporcionar a la localidad un punto de arranque para la ejecución y establecimiento de actuaciones ambientales en el territorio (proyectos, estudios, organización interna).

2.4.1. EVALUACIÓN ECOLÓGICA RÁPIDA (EER)

La evaluación ecológica rápida es una metodología utilizada para evaluar el estado de conservación de una zona en periodos de tiempo cortos. Los grupos biológicos que se evalúan dependen de la disponibilidad de recursos y de personal técnico. Las EER se han utilizado ampliamente en todo el mundo y en el Ecuador como una herramienta de generación de información de campo para el establecimiento de áreas prioritarias de conservación y de evaluación de la conservación de los diferentes grupos biológicos para establecer planes de manejo y monitoreo de estas áreas.

Las EERs son un proceso rápido que ayuda en la selección, diseño, manejo y monitoreo de las áreas a conservar; lo cual permite conocer y cuantificar a través del análisis de los datos colectados el potencial biológico del área, siendo esta una de las herramientas claves en el manejo de la zona.

Las EERs se realizan en lugares donde la información es insuficiente o no existe. En estas evaluaciones se levanta información sobre el uso del suelo y las condiciones de uso de los terrenos, y las amenazas que se presentan para la conservación de la biodiversidad (Sobrevilla & Bath, 1992).

2.5 TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN APLICADAS AL MONITOREO DE LA COBERTURA VEGETAL

2.5.1 Plataformas Satelitales LANDSAT

La radiancia y reflectancia de los objetos terrestres son captadas por sensores multiespectrales colocados en plataformas de observación, que pueden ser aéreas o espaciales, donde captan varias longitudes de onda del espectro electromagnético, que son susceptibles de recibir y medir la intensidad de la radiación que procede del suelo y que permiten ser manipuladas para su interpretación.

Según Arbelo (2004), la observación sistemática de la tierra comienza con el lanzamiento del primer satélite meteorológico TIROS-I con una cámara de baja resolución espacial. La serie de satélites TIROS llamados NOAA, a partir de 1970, aún sigue vigente siendo el satélite NOAA-16 el último en situarse en órbita.

Los buenos resultados obtenidos en el estudio de los recursos naturales con las imágenes de los primeros satélites meteorológicos y las misiones espaciales, contribuyeron para desarrollar varios proyectos con el fin de poner en órbita satélites con distinto tipos de sensores y resoluciones espaciales. El sistema que se considera como pionero es el Programa de Observación Earth (Earth Resources Technology Satellites) diseñado por la NASA, conocido comúnmente como LANDSAT.

El primer satélite de este proyecto llevaba un sensor (MSS; Multi Spectral Scanner) que mide reflectividad de la superficie terrestre en cuatro intervalos espectrales diferentes, situados entre 0,5 y 1,1 μm (Ormeño, 2006). El último satélite de esta serie ha sido lanzado en el año de 1999 con un sensor con 7 canales que abarca desde el visible hasta el infrarrojo térmico y una resolución espacial de 30 metros, y un canal pancromático con 15 metros de resolución espacial.

A partir de los LANDSAT se han desarrollado varios proyectos internacionales, realizando miles de estudios con las imágenes que proporcionan los satélites.

Entre los más relevantes están los satélites de la NASA, SPOT de Francia, MOS de Japón, RADARSAT de Canadá, IRS de la India, ERS de la Agencia Europea del Espacio, TERRA multinacional (en esta plataforma se encuentran las imágenes ASTER), entre otros (Arbelo, 2004).

En las características de las imágenes LANDSAT, el sensor ETM+ dispone de lectura en ocho canales, o bandas (cuadro 1 y 2), situadas en distintas zonas del espectro electromagnético, mientras que el TM dispone de 7 bandas (Cuadro 3):

Cuadro 1. Características de las bandas de imágenes LANDSAT

CARACTERÍSTICAS de las BANDAS LANDSAT T-7 ETM+				
Banda Número	Rango Espectral (µm)	Líneas de Datos por escáner	longitud de la línea (bytes)	Bits por pixel
1	0,450 – 0,515	16	6.600	8
2	0,525 – 0,605	16	6.600	8
3	0,630 – 0,690	16	6.600	8
4	0,775 – 0,900	16	6.600	8
5	1,550 – 1,750	16	6.600	8
6	10,40 – 12,50	8	3.300	8
7	2,090 – 2,35	16	6.600	8
8	0,520 – 0,900	32	13.200	8

Fuente: Fernández, 2001

Cuadro 2. Bandas espectrales LANDSAT

TM y ETM+ Bandas Espectrales								
Anchura de banda (µm) Anchura Mínima - Anchura Máxima								
Sensor	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7	Banda 8
TM	0,45–0,52	0,52–0,60	0,63–0,69	0,76–0,90	1,55–1,75	10,4–12,5	2,08–2,35	No existe
ETM+	0,45–0,52	0,53–0,61	0,63–0,69	0,78–0,90	1,55–1,75	10,4–12,5	2,09–2,35	0,52–0,90
Región	Visible azul	Visible verde	Visible rojo	Infrarrojo próximo	Infrarrojo lejano	Térmico lejano	Térmico próximo	Visible

Fuente: Fernández, 2001

Cuadro 3. Características de los sensores Landsat ETM y TM

Características de los Sensores TM y ETM+		
Bandas	Banda espectral (µm)	Características
1	0,45 – 0,52 (azul)	Mapeo de aguas costeras
		Diferenciación entre suelo y vegetación
		Diferenciación entre vegetación conífera y decidua
2	0,52 – 0,60 (verde)	Mapeo de vegetación
		Calidad de agua
3	0,63 – 0,90 (rojo)	Absorción de clorofila
		Diferenciación de especies vegetales
		Áreas urbanas y uso del suelo
		Agricultura
		Calidad de agua
4	0,76 – 0,90 (infrarrojo cercano)	Delimitación de cuerpos de agua
		Mapeo geomorfológico y geológico
		Identificación de áreas de incendios y áreas húmedas
		Agricultura y vegetación
5	1,55 – 1,75 (infrarrojo termal)	Uso del suelo
		Medición de humedad en la vegetación
		Diferenciación entre nubes y nieve
		Agricultura
6	10,40 – 12,50 (infrarrojo termal)	Vegetación
		Mapeo de stress térmico en plantas
		Corrientes marinas
7	2,08 – 2,35 (infrarrojo medio)	Propiedades termales del suelo
		Identificación de minerales
		Mapeo hidrotermal

Fuente: INEGI México, 1984

Cuadro 4. Aplicaciones de los sensores Landsat ETM y TM

Aplicaciones de los sensores TM y ETM+	
Combinaciones de Bandas	Aplicaciones
1, 2, 3	Esta combinación que utiliza solo las bandas de la porción visible del espectro electromagnético, es la que más se aproxima a los colores reales. Es ideal para realzar información del agua: turbidez, corrientes y sedimentos en suspensión. En esta imagen las tonalidades de color azul claro representan aguas costeras y con sedimentos en suspensión, mientras que los tonos azul oscuro representan aguas más profundas y con pocos sedimentos en suspensión. Las áreas urbanas aparecen en tonalidades marrón claro y la vegetación en tonos verdes.
2, 3, 4	La banda 4 (infrarrojo cercano) es útil para identificar los límites entre el suelo y el agua. Los cuerpos de agua con sedimentos en suspensión aparecen en tonos azul claro y los que poseen pocos sedimentos en suspensión en azul oscuro. Las áreas urbanas y el suelo expuesto aparecen en tonos azules. También la banda 4 es sensible a la clorofila, permitiendo que se observen variaciones de la vegetación, que aparecen en tonos rojos.
3, 4, 5	Esta combinación con dos bandas en la región del infrarrojo muestra una mayor diferenciación entre el suelo y el agua. La vegetación se muestra en diversas tonalidades de verde y rosa, que varían en función del tipo y de las condiciones de ubicación. Las áreas urbanas y el suelo expuesto se presentan en tonos rosados. El agua, independiente de la cantidad de sedimentos en suspensión, aparece en negro.
3, 5, 4	Esta combinación, con una banda en la región visible y dos en la del infrarrojo, utiliza las mismas bandas de la combinación 3, 4 y 5; sin embargo, asociadas a colores diferentes, permitiendo una diferenciación de la vegetación en tonos marrones, verdes y amarillos. Las áreas urbanas y los suelos expuestos aparecen en tonos de azul claro, mientras que las áreas inundadas y el agua aparecen en tonos azul oscuros.

Fuente: INEGI México, 1984

Los colores más utilizados para la interpretación de imágenes son el rojo y verde para cobertura vegetal y el azul que representa los cuerpos de agua (cuadro 5).

Cuadro 5: Longitudes de onda rojo, verde y azul aplicados a la interpretación de imágenes de satélite.

		Longitud de onda (µm)	Longitud de onda (Å°)
Luz ultravioleta (UV)		menor a 0,4	menor a 4000
Luz visible	Violeta 	0,46	4600
	Azul 	0,5	5000
	Verde 	0,56	5600
	Amarillo 	0,59	5900
	Ámbar 	0,61	6100
	Rojo 	0,66	6600
Luz infrarroja (IR)		mayor a 0,7	mayor a 7000

Fuente: INEGI México, 1984

2.6. CAMBIOS DE COBERTURA VEGETAL

Los cambios ocasionados en los ecosistemas terrestres en su mayoría se deben a la conversión en la cobertura del terreno, degradación de la tierra e intensificación en el uso de la tierra (Lambin, 1994). Los cambios en el uso del terreno son resultado de una compleja interacción entre el ser humano y el medio biofísico que actúan sobre un amplio rango de escalas espaciales y temporales.

Entender las transformaciones en el uso de la tierra, y las fuerzas sociales que las manejan es de mucha importancia para comprender, modelar y predecir el cambio del ambiente a nivel local, regional, así como para manejar y responder a este cambio (Meyer & Turner II, 1994).

2.6.1 Factores importantes para la detección de cambios de cobertura vegetal

La Teledetección espacial es una de las principales herramientas para el análisis de procesos dinámicos, en este caso el cambio de cobertura a través de periodos de tiempo, además una de las facilidades que presentan la tecnología espacial son los sensores situados en órbita. “Las imágenes satelitales constituyen una fuente valiosísima para estudiar los cambios que se producen en la superficie terrestre, ya sean debidos al ciclo estacional de las cubiertas, y a catástrofes naturales o a alteraciones de origen humano” (Chuvieco, 2002).

Robin (1998), distingue dos elementos importantes dentro de la dinámica de un determinado fenómeno, la rapidez con que el fenómeno se produce que puede ir de pocas horas hasta varios años, y la pervivencia del cambio que indica la duración de los efectos del fenómeno.

La resolución temporal de cada satélite es un factor importante al definir el tipo de estudio que se pretende hacer, en la actualidad existen una gran variedad de características orbitales desde pocos minutos para satélites meteorológicos geoestacional hasta varias semanas para el análisis de recursos naturales con órbitas bajas.

Depende de todos estos factores para realizar el análisis del cambio multitemporal, duración, pervivencia y sensores satelitales, ya que en algunas metodologías se necesita que la observación sea continua mientras que otras requieren de un periodo estándar. En los estudios multitemporales es muy importante que el sistema del sensor proporcione imágenes con cobertura periódica, con las mismas condiciones de observación referente a la altura, hora y ángulo de adquisición.

Todas las imágenes de los diferentes períodos se recomienda que sean del mismo sensor y de un rango espectral similar para cada banda y si existen imágenes de diferente sensor se debería realizar un tratamiento previo para el respectivo análisis.

2.6.2 Técnicas para la detección de cambios de cobertura

Dentro del campo de la interpretación de imágenes, la detección de cambios de cobertura, resulta un gran compromiso en sustentar la variación que ha ocurrido o no, es decir evadir los errores de omisión, donde se tendría una carencia de información, y comisión o falsa alarma como se lo ha señalado anteriormente.

Por lo tanto, la técnica que se aplique será la más conveniente para que los errores disminuyan dependiendo del objetivo del análisis. Otro aspecto de interés en el análisis de cambios de cobertura hace referencia al tipo de transformaciones que pretenden delimitarse en una imagen, según se transformen los rasgos espectrales o espaciales (Robin, 1998); esto implica analizar, ya sea con valores de reflectividad o por tamaño de parcelas.

Si se utiliza imágenes continuas, se emplean técnicas cuantitativas como diferencias, regresiones, composición de color, etc.; mientras que para rasgos espaciales se compara entre imágenes previamente clasificadas.

Las técnicas empleadas en este estudio para el análisis multitemporal son de tipos cuantitativas, es decir sin una clasificación previa; dichas técnicas se describen brevemente a continuación:

- Composiciones de color multitemporal: Detecta áreas de cambio mediante el análisis visual de imágenes en color provenientes de varias fechas (Chuvieco, 2002). La metodología se basa en mezclar las mismas bandas o índices de distintos años en los cañones R G B para su posterior análisis.
- Diferencia entre imágenes: Es una simple resta entre imágenes de diferente fecha, previamente tratadas, donde se discrimina aquellas zonas que han experimentado cambios.

2.7 ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL

El análisis multitemporal de fotografías aéreas e imágenes de satélite, de acuerdo a diversos autores, constituye un método efectivo para la detección de cambios en la vegetación dada la alta correlación existente entre la variación espectral en la imagen y el cambio en la cubierta vegetal, que permite evaluar las consecuencias de estos cambios a partir de su detección, control y análisis rápido y eficiente (Green, 1994 citado por Acuña, 2005).

En el ámbito mundial, las técnicas de teledetección han sido utilizadas en la identificación de cambios en la cobertura y usos de la tierra. Esta valiosa tecnología sirve para el monitoreo de fenómenos naturales u otras modificaciones que experimenta una región como consecuencia de la intervención del hombre (Muchoney & Haack, 1994 citado por Salvatierra, 2000).

Los estudios relacionados con el análisis contribuyen a la definición de las categorías debido a que proporcionan un elemento adicional de análisis como son los cambios del estado fenológico de las especies vegetales (Conese & Maselli, 1991 citado por Salvatierra, 2000).

2.7.1 Requisitos previos para el análisis multitemporal

Para la interpretación de las imágenes satelitales obtenidas por distintos sensores, se debe realizar un tratamiento con anterioridad para determinar las mismas coordenadas geográficas y comparar con una misma unidad de medida, por lo tanto requiere de una corrección geométrica y radiométrica (Chuvieco, 2002).

2.7.1.1 Corrección geométrica

Los errores de superposición de las imágenes son muy representativos en el momento de la interpretación multitemporal, todas las imágenes tienen que ajustarse con un gran nivel de detalle.

Varios autores han demostrado que se requieren precisiones de ajuste superiores a 0,2 píxeles para asegurar un error inferior al 10% en la comparación multitemporal de acuerdo a la escala de trabajo. (Dai Khorram, 1998; Townshend et al., 1992).

Si no existe un buen nivel de correlación entre imágenes, al aplicar los métodos multitemporales, existirán errores de comisión u omisión, es decir se estarían suponiendo cambios donde no existe y viceversa. Por lo tanto para realizar un buen ajuste geométrico es importante tener una serie de puntos de control para la imagen de referencia que se realiza el ajuste.

A partir de la imagen de referencia se toman puntos entre las imágenes restantes tomando en cuenta los rasgos comunes como elementos hidrológicos, caminos, casas, etc., elegir todas estas características va depender de la resolución de la imagen. Las imágenes provenientes de los sensores TM y ETM de LANDSAT, tienen datos de proyección y referencia geográfica, el formato digital de dichas imágenes el GEOTIFF, por tal razón, en este tipo de imágenes no es necesario realizar corrección geométrica.

2.7.1.2 Corrección radiométrica

Uno de los principales fundamentos para realizar estudios multitemporales es combinar o integrar en el proceso varias imágenes correspondientes a distintas fechas, pero es muy importante tomar en cuenta que existen factores que alteran el valor de cada píxel; como los distintos estados fenológicos, ángulo de toma de la imagen, día nublado, bruma, sombra, agua profunda, aguas claras, entre otros.

En consecuencia, es preciso homogenizar los niveles digitales de cada píxel de todas las imágenes, para ello existen modelos que calibran estos niveles digitales de modo absoluto transformando a medidas de reflectividad o parámetros físicos.

Otra manera de homogenizar es mediante un ajuste matemático entre fechas es decir una corrección relativa.

En definitiva todas las metodologías para la homogenización radiométrica tienen como objetivo el asignar valores digitales del mismo rango espectral evitando los errores que comúnmente existen en la adquisición de las imágenes.

2.8. FRAGMENTACIÓN DE HÁBITATS

La fragmentación se define como la división de un hábitat continuo en pedazos más pequeños y aislados con efectos tales como: la reducción del área total, la reducción del tamaño de los parches de hábitat y el aumento del aislamiento en las poblaciones que los habitan (ECOTONO, 1996).

El proceso de fragmentación, según Primack (1998), se da en las áreas más accesibles de topografía poco accidentada y con alta productividad, estas son las primeras en ser alteradas para utilizar las tierras en agricultura, extracción forestal o asentamientos humanos. La fragmentación, comúnmente se inicia con la formación de un claro de bosque (GAP) dentro de la matriz a medida que los factores antrópicos avanzan, como se muestra en la Figura 1 (A).

Posteriormente, por cierto tiempo no se ven muy afectadas los hábitats más comunes dentro de la matriz, estos están compuestos por vegetación natural y abundancia en especies, Figura 1 (B).

A medida que los GAPs (brechas) aumentan de tamaño y son más numerosos, terminan abarcando toda la zona de la matriz y con ellos la conectividad de la vegetación se rompe generando un paisaje fragmentado sin poder ser habitadas por algunas especies, Figura 1 (C).

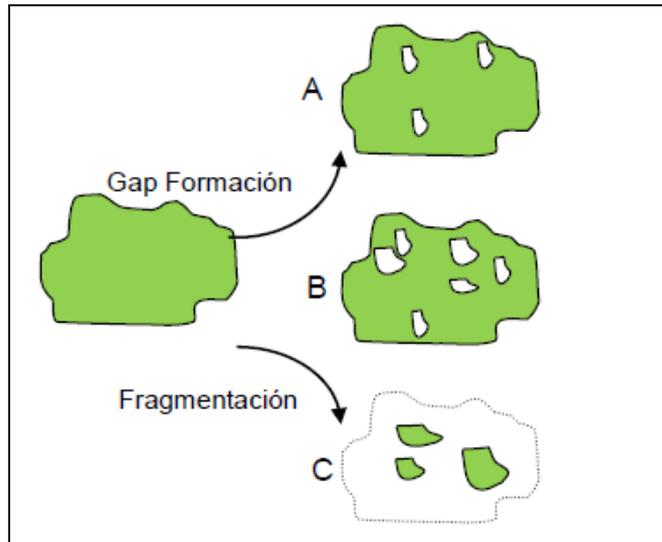


Figura 1. Procesos de Fragmentación

Fuente: Primack, 1998

Las consecuencias de la fragmentación se enfocan básicamente en la extinción local o regional de especies, pérdida de recursos genéticos, aumento de plagas, polinización, alteración en los procesos edafológicos, alteración de ciclos bioquímicos (Bustamante & Grez, 1995).

Varios estudios han demostrado que los impactos sobre los hábitats, depende de los patrones de fragmentación, por ejemplo se muestra que la abundancia de ciertas especies está relacionada con el tamaño y el grado de aislamiento de los parches de vegetación (Estrada *et al.*, 1994). Otras investigaciones mostraron que la fragmentación a través de la multiplicación de los límites entre diferentes ecosistemas, perturba los organismos afines a las condiciones interiores, y en cambio, puede favorecer a otras especies (Lynch *et al.*, 1992).

Las características de ecosistemas fragmentados se reflejan en alteraciones micro climáticas dentro y alrededor del remanente acompañado, alterando el régimen hidrológico, el ciclo de los elementos naturales, propiedades del suelo con el aislamiento de cada área con respecto a otras por lo que se puede decir que existe variación tanto en el ambiente físico como en el biogeográfico.

2.9. ALTERACIONES AMBIENTALES

La segunda mitad del siglo XX quedará registrada en la historia como la época en que la sociedad generó la mayor cantidad de alteraciones en el planeta. Una de las alteraciones de mayor impacto es la pérdida de los ecosistemas naturales y de sus servicios ambientales, ya que se trata de modificaciones en las bases estructurales propias del planeta: cambio de temperatura, pérdida de agua dulce, oxígeno, suelo y especies biológicas (Carabias, 2003 citado por Martínez, 2006).

La relación socio-ambiental en los páramos ha sido el escenario de un proceso histórico que empieza hace miles de años, con los primeros pobladores de las partes altas de los Andes y se extiende hasta nuestros días. En varias comunidades del sur del Ecuador, utilizaban el agua de las zonas más altas para recolectarlas en reservorios artificiales que proveían de agua a las labores agrícolas y a los conglomerados humanos corriente abajo.

La introducción de varias especies de animales exóticos, especialmente vacas y caballos, ha sido una parte importante de la historia y de los conflictos socio-ambientales relacionados con este ecosistema. Con las reformas agrarias del siglo XX se produjeron los impactos más grandes. A pesar de que la altitud, las pendientes y otras consideraciones hacen que los páramos sean muy poco aptos para labores agrícolas intensivas (Mena & Hofstede, 2006), las poblaciones campesinas e indígenas desplazadas a estas tierras, han ejercido en las últimas décadas mucha presión a través de las quemadas para (supuestamente) regenerar hierba fresca para el ganado, el avance de la frontera agrícola con cultivos propios de tierras andinas a altitudes exageradas y la introducción de pinos y otras especies arbóreas exóticas que absorben demasiada agua.

Los páramos han cobrado en los últimos años una importancia particular, pero que puede resumirse en una palabra: agua. La degradación de estos ecosistemas a través de las actividades brevemente reseñadas, y otras, trae consecuencias graves, tanto en las poblaciones que los usan directamente (generalmente poblaciones indígenas y campesinas marginadas) como en quienes los usan de manera

indirecta, especialmente las ciudades y campos que utilizan el agua para la agricultura, la producción de agua potable y la generación de electricidad.

La pérdida de estas características hidrológicas especiales del páramo trae problemas muy graves para la población directa e indirectamente relacionada con él, pero éste no es el único servicio ambiental de este ecosistema. El páramo también almacena mucho carbono en los suelos y así ayuda, de manera pasiva pero importante, a reducir el efecto invernadero. Al dañarse los suelos del páramo no sólo se daña el servicio hidrológico sino que se va mucho dióxido de carbono a la atmósfera, con lo que la concentración de gases de invernadero aumenta. Este servicio ambiental todavía no está bien entendido ni ha sido explorado, pero bien vale tenerlo en cuenta (De La Cruz et al., 2009).

2.10. CLASIFICACIÓN SUPERVISADA DE IMÁGENES DE SATÉLITE

La Clasificación Supervisada de datos, es el proceso que se lleva a cabo para encontrar propiedades comunes entre un conjunto de datos y clasificarlos dentro de diferentes clases, de acuerdo a un modelo de clasificación. El objetivo de la clasificación es primero desarrollar una descripción o modelo para cada clase usando las características disponibles en los datos.

“Tales descripciones de las clases son entonces usadas para clasificar futuros datos de prueba en la base de datos o para desarrollar mejores descripciones (llamadas reglas de descripción) para cada clase en la base de datos. Las aplicaciones de la clasificación incluyen diagnóstico médico, predicción de rendimiento, mercadotecnia selectiva, por nombrar unas cuantas” (García & Martínez, 1998, p 1).

2.10.1. Técnicas de clasificación de imágenes de satélite

Por técnicas de clasificación de imágenes debemos de entender un conjunto de métodos automáticos que podemos clasificar o agrupar en dos técnicas:

- ***Clasificaciones Supervisadas:*** En las clasificaciones supervisadas se requiere la participación activa del analista que esté realizando la

clasificación de la imagen de satélite, en este caso, el técnico que está llevando a cabo la tarea debe indicar al software que debe realizar en cada momento (como debe clasificar cada uno de los píxeles existentes en la imagen), a partir de la definición de unas áreas de entrenamiento (training áreas) de las cuales se conoce a priori la naturaleza de su superficie.

- **Clasificaciones no Supervisadas:** Las clasificaciones no supervisadas guardan relación con el valor relativo al color, al tono o al clúster (grupo o agrupamientos), para identificar entidades. En este caso concreto, el analista deberá validar el resultado de la clasificación una vez esta haya sido llevada a cabo.

En el caso anterior, el operador puede influir en gran medida en el proceso de clasificación mientras esta se está desarrollando, y controlando. En esta segunda técnica de clasificación, la influencia que puede ejercer el operador es prácticamente nula, más allá de seleccionar el algoritmo de clasificación que va a utilizarse. Por norma general, mediante este tipo de técnicas de clasificación deberá llevarse a cabo varias veces el mismo proceso para obtener diferentes resultados, que acabaran agregándose para obtener un resultado final considerado válido.

2.10.2. FIRMA ESPECTRAL

La firma espectral es la medida cuantitativa de las propiedades espectrales de un objeto en una o varias bandas espectrales. También se la conoce como comportamiento espectral, concepto que incluye la variabilidad temporal de las firmas espectrales, así como su variación en función de las condiciones meteorológicas, de las estaciones del año, y de las condiciones de iluminación (Hernández & Montaner, 2009).

Todos los elementos geográficos (bosques, cultivos, ríos, lagos, edificios, entre otros) transforman de forma diferenciada la radiación electromagnética que reciben del sol.

Cada tipo de objeto representa a un tipo de nivel específico en términos de:

$$RR = Rr + Ra + Rt$$

Dónde:

RR = Radiación Recibida
Rr = Radiación reflejada
Ra = Radiación absorbida
Rt = Radiación transmitida

La variación de reflectancia (radiación reflejada) en función de la longitud de onda se denomina firma espectral, es decir, la función que describe la cantidad de radiación reflejada, con respecto a la longitud de onda de dicha radiación, es la firma espectral de un objeto o elemento.

2.10.2.1 Tipos de firmas espectrales

En función a las características de captura de información de parte del sensor, accedemos a los tipos de firmas espectrales siguientes (Corrales, 2001):

- **Firmas monobanda:** Las firmas espectrales de los objetos geográficos son contenidas en un solo canal dentro de un intervalo parcial del ancho de onda total, por lo que la firma espectral del objeto geográfico es solamente su respuesta espectral dentro del único canal disponible.
- **Firmas multibanda:** Al contrario de las firmas monobanda, en este caso, las firmas están contenidas en varios canales caracterizados individualmente por la cobertura de un intervalo del ancho de onda total. Otros satélites pueden ofrecer bastante más canales y los casos extremos son alguna toma en hiperfrecuencias activas alcanzando más de cien canales.
- **Firmas de origen opcional:** Las firmas espectrales de origen opcional obedecen en su lógica de toma a algunos factores fijados por el usuario para el tratamiento de una información variable en función de los mismos factores. Para el caso, podemos mencionar las firmas de toma multitemporal: en donde la toma multitemporal, constituye una respuesta a la variación temporal de los objetos geográficos. Para el caso la variación estudiada, puede ser la de la flora en función de las estaciones del año o la

variación de los usos del suelo. La temporalidad es una dimensión dependiente del objeto estudiado: para la flora, los ciclos fisiológicos y las prácticas agrícolas y forestales, determinan el uso temporal del dato espectral.

- **Accesibilidad a las firmas espectrales:** De una manera global, tenemos dos posibilidades de acceder a firmas espectrales integradas. La primera de ellas consiste en dejar los valores digitales (VD) como están en el soporte en que se adquirió la imagen. La segunda posibilidad, se acostumbra usarla en los estudios del medio natural o de agricultura por sus estructuras y texturas homogéneas frente a las de los medios urbanos y periurbanos. Esta posibilidad, consta en la conversión de valores de los píxeles de origen en valores porcentuales de la reflectancia para poder comparar las repuestas espectrales a una escala espacial, temporal y de fuentes diferentes. La medida en estos términos, es función de la superficie cubierta por el tamaño de cada píxel: aquí la tasa de reflectancia calculada por cada píxel, toma el valor medio de los objetos geográficos contenido en la misma superficie.

2.10.2.2. Determinación de firmas espectrales.

Una vez que la energía electromagnética llega a la superficie terrestre, interactúa con cada tipo de material ya sea por reflexión, absorción o transmisión, de acuerdo a un patrón de respuesta espectral particular. Este comportamiento distintivo de cada tipo de material es aprovechado en procesos de clasificación de imágenes, siendo común referirse a él como “firma espectral”. Su determinación en forma consistente presenta algunas dificultades asociadas a las siguientes razones:

- La vegetación tiene un comportamiento dinámico debido a los cambios fenológicos que ocurren estacionalmente. Esto significa que su firma espectral cambia durante el año.
- Las condiciones de iluminación asociadas a la topografía (pendiente y orientación), la posición del sol durante el año (elevación y azimut), y las

condiciones de humedad del suelo y la vegetación pueden significar variaciones importantes en el patrón de respuesta espectral.

- Debido a la resolución espacial de la mayoría de los sensores, la información contenida en un píxel es el resultado de una mezcla espectral de varios tipos de materiales. Por ejemplo, en el caso de Landsat TM / ETM+, el área asociada a un único píxel (30 x 30 m) puede estar compuesta por vegetación herbácea, vegetación arbórea, suelo desnudo y pavimento, todo lo cual queda registrado en un único nivel digital.

La firma espectral se define como el comportamiento diferencial que presenta la radiación reflejada (reflectancia) o emitida (emitancia) desde algún tipo de superficie u objeto terrestre en los distintos rangos del espectro electromagnético. Una forma gráfica de estudiar este comportamiento es disponer los datos de reflectancia (%) en el eje Y, y la longitud de onda (λ) en el eje X. Al unir los puntos con una línea continua se origina una representación bidimensional de la firma espectral (Figura 2).

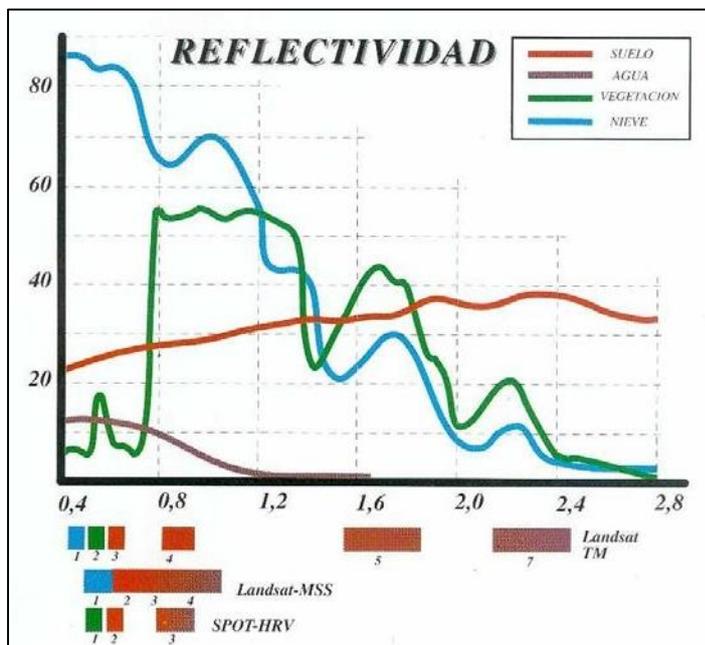


Figura 2. Representación gráfica de una firma espectral una de cobertura de suelo cualquiera

Fuente: Chuvieco, 1995

2.11. METODOLOGÍAS PARTICIPATIVAS PARA EL DIAGNOSTICO SOCIOECONÓMICO

Las metodologías participativas constituyen una forma de concebir y abordar los procesos de enseñanza aprendizaje y construcción del conocimiento, además de democratizar nuestra sociedad, respetando la cultura del pueblo, sus sueños, sus aspiraciones, sus dudas y sus temores. Es una forma de humanizar el desarrollo, buscando códigos comunes que nos ayuden a elaborar un lenguaje universal. Orientado a conciliar los flujos de poder; es decir, que son útiles en tanto activen procesos locales que posibiliten el empoderamiento y la creación de espacios de negociación entre el nivel comunitario e institucional. (Agrelo, 2009)

Las principales características de la metodología participativa son:

- a. Lúdica: a través del juego se impulsa el aprendizaje.
- b. Interactiva: se promueve el diálogo y la discusión de los participantes con el objetivo de que se confronten ideas, en un ambiente de respeto y tolerancia.
- c. Creativa y flexible: no responde a modelos rígidos y autoritarios.
- d. Fomentar la conciencia grupal: fortalece la cohesión grupal fomentando en los miembros del grupo un fuerte sentimiento de pertenencia.
- e. Establece el flujo práctica-teoría-práctica: posibilita la reflexión individual y colectiva de la realidad cotidiana para volver a ella con una práctica enriquecida por La Teoría y la reflexión.
- f. Formativa: posibilita la transmisión de información pero prioriza la formación de los sujetos, promoviendo el pensamiento crítico, la escucha tolerante, la conciencia de sí y de su entorno y el diálogo y el debate respetuoso.
- g. Procesal: se brindan contenidos, pero se prioriza el proceso.

- h. Comprometida y comprometedora: promueve el compromiso de los participantes con el proceso y lo que se derive de él.

La mejor forma de esquematizar las metodologías es:

- a. Partir de lo que sabemos y sentimos: de la práctica, la experiencia, y los conocimientos que se tienen sobre el tema. (Diagnóstico)
- b. Reflexionar y profundizar sobre el tema: tener presentes los aportes sistematizados tanto de diagnóstico como de otros aportes teóricos sobre el tema.
- c. Lo que podemos hacer: formulación de propuestas generales o específicas y en todos ámbitos y sistematización de las mismas.

2.12. ESTUDIOS MULTITEMPORALES DE COBERTURA VEGETAL EN EL ECUADOR

- ***Estudio multitemporal de la cobertura vegetal y uso del suelo entre los años 1990, 2010 y proyección al 2030 a una escala 1:50.000 para el centro y sur oriente de la Amazonía Ecuatoriana:*** el trabajo fue realizado por GEOPLADES, (Geografía, Planificación y Desarrollo Cía. Ltda.) para la organización The Nature Conservancy en el año 2010; el área de estudio comprende las provincias de Napo, Orellana, Pastaza, Morona Santiago, Zamora Chinchipe, Loja, Azuay, Cañar, Chimborazo y Tungurahua; donde lo que se realizó fue un análisis de imágenes satelitales para lograr identificar, describir, cuantificar y monitorear los cambios de la cobertura vegetal en los últimos 20 años, los avances de la frontera agrícola y los patrones de comportamiento de estas unidades espaciales, por actividades y alteraciones antropogénicas o cambios climáticos.
- ***Estudio multitemporal de la cobertura vegetal y uso del suelo en del suelo en los años 1990 - 2008 y proyección al 2030 en el Nor-Oriente del Ecuador:*** el trabajo fue realizado por GEOPLADES, (Geografía, Planificación y Desarrollo Cía. Ltda.) en el año 2009 bajo los

requerimiento de la organización The Nature Conservancy en el objetivo principal fue realizar un estudio multitemporal de cobertura vegetal y uso del suelo entre los años 1990 y 2008 y escenarios al 2030 en el Territorio Cofán y las zonas de influencia a escala 1:50000 en conjunto con la Federación Indígena de Nacionalidad Cofán; cubriendo el territorio del nor-oriental Ecuatoriano en las provincias del Carchi, Imbabura, Pichincha en la Sierra y Sucumbíos, Napo y Orellana en la Amazonía.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES Y EQUIPOS

3.1.1. Materiales y equipos de campo

- Material para talleres de socialización
- Cámara fotográfica
- Infocus
- Molinete electrónico RICKLY HYDROLOGICAL (para medición de caudales)
- Flexómetro de 30 m
- Cartas topográficas analógicas de La Merced de Buenos Aires, Apuela e Imantag a escala 1: 50.000
- Navegador GPS Garmin 76 CSx
- Computadora portátil
- Binoculares
- Vehículo 4x4
- Motocicleta.

3.1.2. Materiales y equipos de oficina

- Cartas topográficas digitales de La Merced de Buenos Aires, Apuela e Imantag a escala 1:50.000
- Imágenes satelitales: LANDSAT multiespectral con resolución espacial de 30 m del año 1991 y 2010 del proyecto SIGTIERRAS.

- Imagen satelital del sensor OLI multiespectral con resolución espacial de 30 m del año 2015.
- Información Temática del INEC – REDATAM, del Censo de población y vivienda “2010”
- Plan de Manejo de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas
- Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial GADS Parroquiales Rurales de Apuela e Imantag
- Computadora portátil
- Software ArcGis 10.2, ERDAS, MapSource, HEC-HMS 4.0.

3.2. METODOLOGÍA

En el estudio del análisis multitemporal de la cobertura de páramo en la producción de agua en la cuenca alta del río Apuela, se emplearon diferentes métodos de acuerdo a los factores ambientales, geográficos y a las actividades que se realizan dentro del área de estudio por parte de la población.

Para la formulación del diagnóstico, se inició con el reconocimiento del área de estudio, analizando los elementos más relevantes de los componentes bióticos, abióticos y socio-económicos, así como también la recopilación de información bibliográfica existente, concluyendo las visitas de campo para constatar todos los datos extraídos de la literatura citada.

3.3. METODOLOGÍA CARTOGRÁFICA

3.3.1. Elaboración de Cartografía Base

La construcción del mapa base es el paso inicial para la generación de todos los análisis espaciales que este estudio contempla. Adicionalmente para la elaboración de la cartografía base, se obtuvo directamente las cartas topográficas digitalizadas de La Merced de Buenos Aires, Imantag y Apuela a escala 1:50.000 del GeoPortal del IGM por ser este el único organismo nacional que genera oficialmente este tipo de documento.

El conocimiento específico de ciertas características de la información permite agilizar los procesos de edición, estructuración y enlace de datos que finalmente formarán parte de los metadatos en cada una de las coberturas generadas en el proceso.

3.3.2. Elaboración de Cartografía Temática

Los Mapas Temáticos se elaboraron a escala 1:50.000 usando el software ArcGIS 10.2 que es un Sistema de Información Geográfica (SIG); siguiendo una metodología general que utiliza como base la información cartográfica existente.

Los mapas que se realizaron fueron:

1. Mapa de Ubicación
2. Mapa de Base
3. Mapa de Hidrológico
4. Mapa de Taxonomía del Suelo
5. Mapa de Uso de Suelo
6. Mapa de Pendientes
7. Mapa de Isotermas e Isoyetas Anuales
8. Mapa de Tipo de clima
9. Mapa de Zonas de Vida
10. Mapa de Cobertura vegetal año 1991
11. Mapa de Cobertura vegetal año 2010
12. Mapa de Cobertura vegetal año 2015

3.4. MECANISMO DE TRABAJO EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

La cartografía elaborada cuenta con las siguientes especificaciones técnicas:

- **Escala:** 1:50.000
- **Coordenadas:** Coordenadas planas (Este y Norte – metros)
- **Proyección Cartográfica:** Universal Transversal Mercator UTM
- **Zona Cartográfica:** Zona 17 Sur
- **Datum:** WGS 1984

3.4.1. Mapa Base

Una vez realizado el diagnóstico y validación de información como fase previa, se procedió a la elaboración del mapa base, en el que representa toda la información topográfica, planimétrica y altimétrica que caracteriza el área de estudio. Esta actividad está constituida por 2 procesos específicos: la edición cartográfica propiamente dicha y la estandarización y sistematización de la misma.

Este mapa consta de: límite cantonal, límite parroquial, red vial, red hidrográfica, poblados, curvas de nivel, SNAP (Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas), cuya información permite tener uniformidad en los límites del área de estudio.

3.4.2. Mapa Hidrológico

Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres (divisoria de aguas). Las cuencas hidrográficas se perfilan como las unidades de división funcionales con más coherencia, permitiendo una verdadera integración social y territorial por medio del agua. Para la elaboración del mapa hidrográfico, se partió de datos de las cartas topográficas digitalizadas del IGM publicadas en el GeoPortal a escala 1:50.000.

3.4.3. Mapa de Taxonomía del Suelo

Se elaboró el mapa de Tipos de Suelos utilizando la base de datos del SNI a escala 1:50.000, clasificando el área dentro de los diferentes Órdenes, Sub órdenes y Grandes grupos de acuerdo a la clasificación del Soil Taxonomy de los EEUU.

3.4.4. Mapa de Uso de Suelo

Para determinar las categorías de uso de suelo se utilizó Ortofotos e imágenes satelitales LANDSAT de los años 1991 y 2010. Con las cuales se realizó la interpretación en pantalla, separando las unidades de cobertura de uso según la firma espectral obtenida, mediante el estudio de la configuración, tamaño, sombras y textura de la imagen. Esta imagen ayudó a identificar los tipos de Cobertura Vegetal y por ende Uso Actual del Suelo.

3.4.5. Mapa de Pendientes

Una pendiente es un declive del terreno y la inclinación, respecto a un plano. Los procesos de modelado geomorfológico de las vertientes dependen de la inclinación de éstas y un pendiente límite, a partir de la cual se superan las fuerzas de rozamiento que retienen a los materiales sueltos en las laderas.

Cuadro 6. Morfología del mapa de pendientes

PORCENTAJE	TIPO DE PENDIENTE	AMBIENTE	PROCESO EROSIVO
0 - 5 %	Plana	Morfoestructural	Grietas – Retracción por disecación.
5 - 12 %	Levemente Inclinada	Morfoestructural	Grietas – Retracción por disecación.
12 - 25 %	Fuertemente Inclinada	Morfoestructural	Reptación, Erosión, Deslizamientos, Disecación.
25 - 50 %	Montañosa	Morfoestructural	Erosión – Surcos, Grietas Retracción por disecación.
50 - 70 %	Muy Montañosa	Morfoestructural	Erosión – Surcos, Grietas Retracción por disecación.
> 70 %	Escarpada	Morfoestructural	Grietas – Retracción por disecación.

Fuente: CIDIAT, 1984

Para la elaboración del mapa de pendientes se generó un modelo digital de elevación “MDE” mediante las curvas de nivel generadas con 5 m de intervalo, en el software Global Mapper v12. Con el MDE que es un archivo raster se realizó un Slope que de igual forma es un archivo raster al que se reclasificó mediante intervalos en porcentaje como se muestra en el cuadro 6, por último se convirtió el archivo raster en un archivo shapefile para interpretarlo visualmente como un mapa de pendientes con 6 tipos de categorías.

3.4.6. Mapa de Isotermas e Isoyetas Anuales

Respecto al clima, se realizaron los mapas de Isoyetas e Isotermas; para la caracterización de la precipitación, se utilizaron datos digitales obtenidos del INAMHI (2015), en donde se consideró la existencia de 3 estaciones: 2

meteorológicas (Inguincho y Cahuasquí) y 1 pluviométrica (Apuela) que se encuentran fuera del área de estudio.

En cuanto a la temperatura media se utilizó el mismo proceso, pero al existir una disminución gradual de la temperatura conforme aumenta la altitud sobre el nivel del mar, se consideró la utilización de la ecuación de la línea recta, ya que debido a esta ley física y a través de la correlación entre las variables de altitud (x) y temperatura (y), se calcula el gradiente de temperatura mediante la siguiente fórmula con sus respectivas constantes (Pozo & Beltrán, 2010):

$$y = 26,86004093 - 0,00504292 x$$

Dónde:
y = Temperatura °C
a = Origen (26,86004093)
b = Pendiente de la recta (0,00504292)
x = Altitud en msnm

Se tomó en cuenta la temperatura a un grado centígrado, para la distribución de las isotermas en la zona de estudio, y finalmente con el cruce de estos criterios determinar las clases de clima de la cuenca alta del río Apuela.

3.4.7. Mapa de tipos de clima

Mediante la información digitalizada del Almanaque Electrónico Ecuador (2002) se obtuvo los diferentes tipos de clima característicos de la zona alta de la cuenca del río Apuela donde se encuentra las

3.4.8. Mapa de Zonas de Vida

Este mapa se realizó mediante la unión del mapa de Tipos de Suelos, el mapa de Isoyetas e Isotermas medias anuales, para determinar zonas de homogéneas características en base al Diagrama de Clasificación de las Zonas de Vida de Holdridge (1982).

3.5. ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL EN LOS AÑOS 1991 Y 2010 EN LA CUENCA, UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT CON RESOLUCIÓN ESPACIAL DE 30 m Y A 0.50 m.

3.5.1. ANÁLISIS DE LA COBERTURA VEGETAL

Se realizó el análisis multitemporal de la vegetación para diferenciar en porcentaje y en unidades de área la disminución de la vegetación natural, el avance de la frontera agrícola y la disminución de los remanentes de bosque, que influyen directamente en la producción de agua.

El análisis se realizó utilizando imágenes satelitales multiespectrales LANDSAT del año 1991 (USGS) e imágenes aerotransportadas del proyecto SIGTIERRAS 2010; el análisis se realizó aplicando los siguientes procesos metodológicos:

3.5.1.1. Metodología para determinar la pérdida de cobertura vegetal y la influencia en la producción de agua

Es necesario indicar que la cobertura vegetal no es constante en el tiempo, debido a que depende de la época cuando se realice el estudio, es decir, la interpretación depende de si el análisis es efectuado en temporada seca o lluviosa, en la fase del ciclo productivo que se encuentre, la presencia de fenómenos climáticos y el grado de intervención humana a la fecha del estudio.

Conociendo esto, se determinó la pérdida de cobertura vegetal realizando un análisis multitemporal mediante el uso de imágenes satelitales de los años de 1991 y 2010, como también se tomó de base a las fichas de EER realizadas en la parte alta, media y baja dentro de la cuenca hidrográfica, ya que los lineamientos del desarrollo comunitario son influyentes en la conservación de la cobertura vegetal.

Sin embargo, la pérdida de cobertura vegetal también se encuentra influenciada por el uso del suelo como: agropecuario o para usos forestales importantes para la economía y desarrollo de los pobladores de las comunidades de Piñán y Guananí

y los espacios de conservación como: bosques naturales; en la figura 3 se presenta el modelo de pérdida de cobertura vegetal.

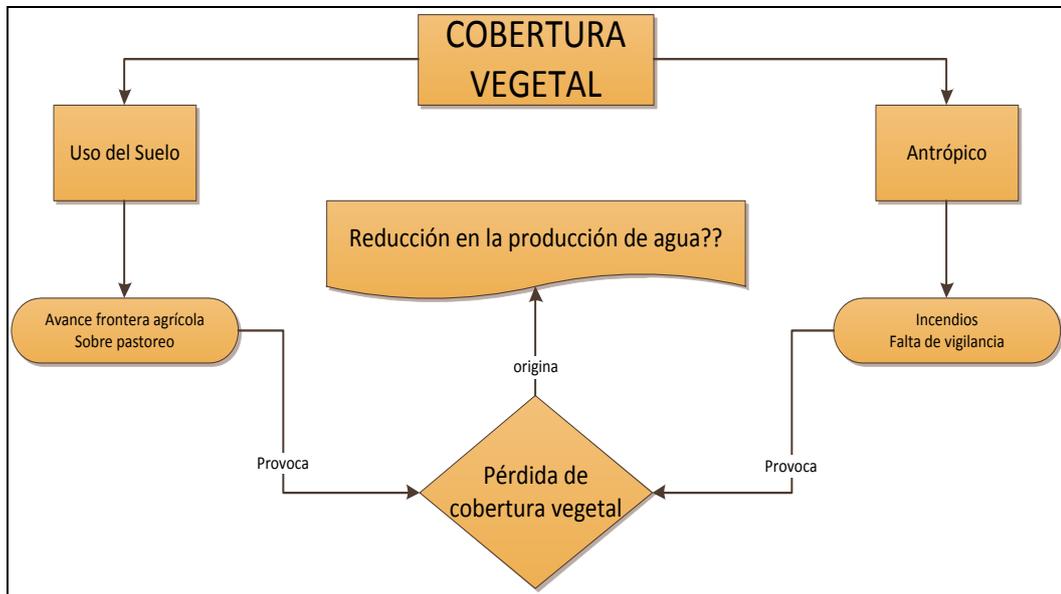


Figura 3. Modelo de pérdida de cobertura vegetal

Elaboración: El Autor

3.5.2. Definición de las categorías de uso y cobertura

Se identificaron y clasificaron para el año 1991, 11 categorías principales como son: Bosque nativo, Cultivo anual, Nieve, Mosaico agropecuario, Cuerpos de agua, Páramo, Pastizal, Vegetación arbustiva, Vegetación herbácea, Área sin cobertura vegetal y Sin información (ver cuadro 6); de la misma manera para el año 2010 se identificaron las siguientes categorías: Bosque nativo, Cultivo anual, Cultivo permanente, Mosaico agropecuario, Cuerpos de agua, Páramo, Pastizal, Vegetación arbustiva, Vegetación herbácea, Área sin cobertura vegetal y Sin información (ver cuadro 7 y 8). Esto se usó para determinar la simbología en la elaboración de los mapas de cobertura vegetal de los años 1991 y 2010.

Cuadro 7. Categorías de cobertura vegetal año 1991

CATEGORÍA	SÍMBOLO
Bosque nativo	Bn
Nieve	On
Mosaico agropecuario	Cc
Cuerpos de agua	Wn
Páramo	Pr
Vegetación arbustiva	Va
Área sin cobertura vegetal	E

Fuente: SNI, 2003

Cuadro 8. Categorías de cobertura vegetal año 2010

CATEGORÍA	SÍMBOLO
Bosque nativo	Bn
Nieve	On
Mosaico agropecuario	Cc
Cuerpos de agua	Wn
Páramo	Pr
Vegetación arbustiva	Va
Área sin cobertura vegetal	E

Fuente: SNI, 2003

- a. *Bosque nativo*: Ecosistema arbóreo regenerado por sucesión natural, que se caracteriza por la presencia de árboles de diferentes especies nativas, edades con uno o más estratos; fisionómicamente se mantienen con un verdor constante.
- b. *Cultivos permanentes*: Comprenden aquellas tierras dedicadas a la explotación de cultivos agrícolas de mayor a un año, dedicados en su gran mayoría a la exportación y la agroindustria, como el caso del café, cacao, banano y palma africana.
- c. *Lagunas y ríos*: es la hidrografía del área, entre los más relevantes están laguna Donoso, río Piñán, y río Apuela.
- d. *Vegetación arbustiva*: se asignó la clasificación debido a la presencia de matorrales en gran parte de la cuenca.
- e. *Vegetación natural*: esta clasificación está determinada por la presencia de pequeños remanentes de bosque andino.
- f. *Cultivos*: son los productos agrícolas que los pobladores de las comunidades de Piñán y Guananí cosechan y utilizan para el consumo interno.

- g. *Pasto natural*: es el pajonal que se encuentra en todo el páramo de Piñán.
- h. *Pasto cultivado*: es el tipo de vegetación que los pobladores han sembrado para alimentar al ganado bovino, ovino, porcino y equino.

3.5.3. Verificación de campo

Se determinó varios puntos de control al azar en campo, esto para el procesamiento de las imágenes satelitales, en base a la firma espectral reflejada por la cobertura vegetal; además, se realizaron las correcciones en áreas donde se colocó una simbología errónea debido a fallas de identificación e interpretación encontradas en la cartografía digital.

3.5.4. Reconocimiento de firmas espectrales

La Clasificación Supervisada de datos, es el proceso para encontrar propiedades comunes entre un conjunto de datos y clasificarlos dentro de diferentes clases, de acuerdo a un modelo de clasificación. El objetivo de la clasificación es desarrollar una descripción o modelo para cada clase usando las características disponibles en los datos.

El estudio consistió en realizar primero una fase de entrenamiento y familiarización con las diferentes tonalidades y texturas presentes en las imágenes satelitales; esto, para identificarlas y agruparlas con la simbología propuesta para la realización del análisis; una vez identificados los niveles de cobertura vegetal en las imágenes satelitales de los años 1991 y 2010, se procesó en el software ERDAS 2014 con la utilización de las herramientas Radiometric Haze Reduction y Radiometric Noise Reduction, esto para el mejoramiento de la imagen satelital previo al reconocimiento manual de las firmas espectrales que generará la clasificación supervisada.

Es importante conocer que la firma espectral es la medida cuantitativa de las propiedades espectrales de un objeto en una o varias bandas espectrales, así como su variación en función de las condiciones meteorológicas, de las estaciones del año, y de las condiciones de iluminación, todos los elementos geográficos

(bosques, cultivos, ríos, lagos, edificaciones, entre otros) transforman de forma diferenciada la radiación electromagnética que reciben del sol.

3.6. DIAGNÓSTICO BIOFÍSICO DE LA COBERTURA PÁRAMO Y RECURSO AGUA DE LA CUENCA

La caracterización biofísica consistió en el levantamiento de información de los aspectos físicos y biológicos del área de estudio mediante fichas de Evaluación Ecológica Rápida “EER”; éstos luego de ser analizados se utilizaron como base para la realización del diagnóstico participativo con las comunidades de Piñán y Guananí enfocando la investigación en la producción de agua y las necesidades de las comunidades que se encuentran alrededor de la cuenca y dentro de la cuenca

3.6.1. Climatología

Mediante la utilización de los registros históricos de los años 1991 y 2010 de la estación meteorológica de Inguincho y pluviométrica ubicada en Apuela, se procedió a generar rangos de isoyetas “precipitación”. En cuanto a la temperatura, al no contar con datos y conociendo que existe una disminución gradual de la temperatura conforme aumenta la altitud sobre el nivel del mar, se consideró la utilización de la ecuación de la línea recta, debido a esta ley física y a través de la correlación entre las variables de altitud (x) y temperatura (y), se calcula el gradiente de temperatura mediante la siguiente fórmula (Pozo y Beltrán, 2010):

$$y = a \pm bx$$

Dónde:
y = Temperatura °C
a = Origen
b = Pendiente de la recta
x = Altitud en msnm

3.6.2. Recurso Hídrico

Se obtuvieron datos de caudales de la Secretaría Nacional del Agua e información de los estudios de Factibilidad del Proyecto Multipropósito Piñán – Tumbabiro realizados en el año 2014, los cuales fueron empleados para la realización del

diagnóstico biofísico. Además en las diferentes visitas de campo, se realizó la medición de caudales puntuales en los meses de marzo y agosto en las quebradas y ríos principales ubicados dentro del área de estudio como es el río Piñán, río Pitura, río Pantaví, río Manzano.

Mediante las cartas topográficas digitalizadas del Instituto Geográfico Militar de La Merced de Buenos Aires, Apuela e Imantag a escala 1:50.000, se determinaron los afluentes principales del río Apuela y se realizó el Mapa Hidrológico de la cuenca hidrográfica.

3.6.3. Recurso Suelo

En base a las coberturas digitales del SIGAGRO (2003); sobre tipos de suelos de las parroquias de Apuela e Imantag a escala 1:50.000, se identificaron los tipos de textura de suelos del área de estudio y se elaboró el respectivo mapa temático.

3.6.4. Recursos de vegetación y flora

La región andina, presenta características ambientales muy particulares, en lo que respecta a precipitación, temperatura, horas sol, entre otros., factores que han influenciado en el desarrollo de una comunidad vegetal adaptada a estas condiciones, donde la estacionalidad climática complementada con la altitud, limitan el desarrollo de la vegetación, diversificándola; encontrando en ella especies de gran valor sean estas forestales, arbustivas y herbáceas; al mismo tiempo es una zona promisoría de recursos principalmente el hídrico que presenta una gran belleza escénica y paisajística, del mismo modo es una zona muy frágil ambientalmente, donde las poblaciones asentadas hacen uso de estos recursos en forma no planificada, debido al incremento de la población, lo que demanda un mayor consumo de productos del bosque, ampliación de la frontera agrícola, así mismo es una zona que está sujeta a problemas de erosión natural y antrópico.

3.6.4.1. Recurso Flora

El inventario de flora se realizó mediante un reconocimiento in-situ, identificando los sitios afectados y los que tienen poca afectación por las diferentes actividades

antrópicas, obteniendo datos relevantes que determinan los cambios en la vegetación para luego mediante la utilización de fotografías y guías de plantas publicadas, se identificara las especies encontradas.

3.6.5. Determinación de los Problemas Ambientales

Con la utilización de las fichas de Evaluación Ecológica Rápida, se determinó el estado actual de los recursos naturales de la zona de estudio y aplicando una encuesta a un grupo de pobladores de la comunidad de Piñán, sirvió para caracterizar aspectos relevantes de los sitios de muestreo y definir su aporte hacia la conservación del área. Además este método aportará datos a los planificadores y manejadores, como:

- La identificación de áreas críticas que requieren manejo especial.
- El análisis del grado de amenaza de los elementos de conservación.
- Las recomendaciones de manejo.
- La identificación de áreas de importancia para el manejo comunitario.

3.6.6. Componente Socioeconómico

La fase de acercamiento y participación comunitaria se realizó mediante entrevistas, reuniones directas con los pobladores de las comunidades de Piñán y Guananí y con la utilización de herramientas metodológicas que permitieron identificar la organización socio – económica de la comunidad, determinar la calidad de vida y el manejo de sus recursos naturales.

Se realizó encuestas principalmente a dirigentes que se encuentran influenciados por la cuenca y al tamaño de la muestra generada a partir de la siguiente formula (Suárez, 2011):

$$n = \frac{N * Z^2 p * q}{d^2(N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Dónde:

N = total de la población

Z = 1,96 (si la seguridad es del 95%)

p = proporción esperada (en este caso 5% = 0,05)

q = 1 – p (en este caso 1 – 0,05 = 0,95)

d = precisión (usado el 5% = 0,05)

A partir de la encuesta se podrá analizar información de empleo, demografía, infraestructura y servicios básicos, educación, salud, distribución y tenencia de la tierra, problemas ambientales y culturales los cuales influyen directamente en la pérdida de cobertura vegetal y a su vez en la producción de agua.

3.7. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA EN BASE A DATOS DE CURVA NÚMERO DE LOS AÑOS 1991 Y 2010 MEDIANTE LA METODOLOGÍA DEL SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS)

3.7.1. MODELAMIENTOS HIDROLÓGICOS

Los modelos fueron elaborados utilizando la versión 4.0 del sistema de modelamiento hidrológico desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica de los Estados Unidos (HEC-HMS). El sistema está diseñado para ser aplicado en un amplio rango de regiones geográficas y puede ser utilizado en pequeñas cuencas hidrográficas urbanas, o en grandes cuencas sin intervención antrópica; los resultados se pueden aplicar para estudios de disponibilidad de agua, drenaje urbano, observación y monitoreo de flujos, impacto de intervenciones en cuencas, reducción del daño por inundaciones, operación de sistemas hidrológicos, entre otros.

Para la realización del modelo hidrológico de la cuenca alta del río Apuela, se utilizaron datos meteorológicos del INAMHI (2015), datos correspondientes a máximas precipitaciones (época lluviosa) y mínimas precipitaciones (época seca) de las estaciones de Inguincho y Apuela de los años 1991 y 2010.

En la figura 4 se muestra el proceso para el modelamiento hidrológico mediante el uso del sistema HEC-HMS.

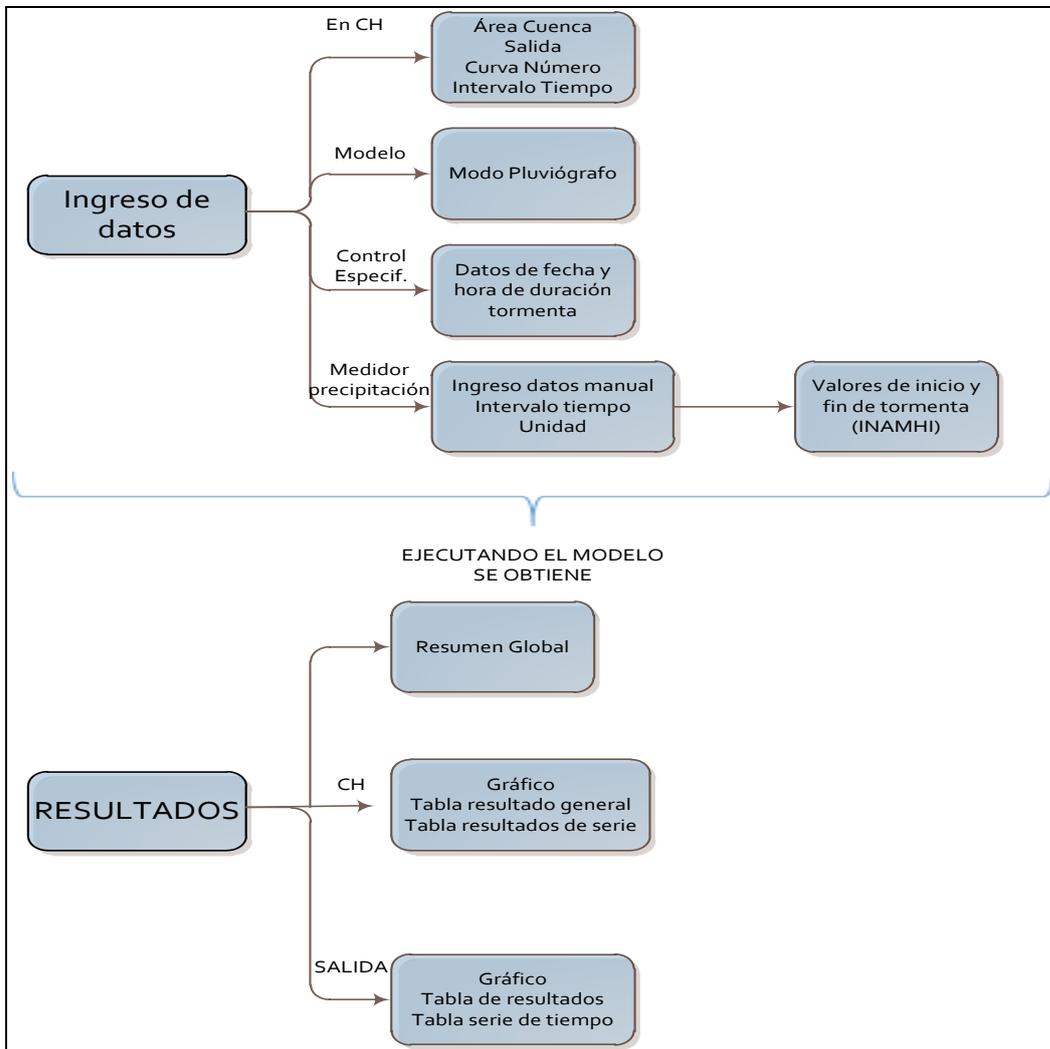


Figura 4. Modelo de pérdida de cobertura vegetal

Elaboración: El Autor

3.7.1.1. Número de la Curva

El número de curva se determinó utilizando la metodología establecida por la SCS (Soil Conservation Service) y NRCS (Natural Resources Conservation Service), además que depende de ciertas propiedades productoras de escorrentía tales como: utilización y tratamiento del suelo, tipo de suelo hidrológico, condiciones de la superficie del terreno y condición de humedad antecedente del suelo.

3.7.1.1.1. Valores del número de la curva

En los cuadros 9 y 10 siguientes se muestra las tablas publicadas por los organismos Natural Resources Conservation Service (NRCS) y SCS.

Cuadro 9. Números de la Curva para cultivos Agrícolas

DESCRIPCIÓN DEL USO		GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO				
USO DEL SUELO	PRÁCTICAS DE CULTIVO	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	A	B	C	D
Barbecho	Suelo desnudo	-	77	86	91	94
	Suelo cubierto de residuos *	Pobre	76	85	90	93
		Buena	74	83	88	90
Cultivo en hileras	según máxima pendiente	Pobre	72	81	88	91
		Buena	67	78	85	89
	Máxima pendiente + cubierto de residuos	Pobre	71	80	87	90
		Buena	64	75	82	85
	Según curva de nivel	Pobre	70	79	84	88
		Buena	65	75	82	86
	Curva de nivel + cubierto de residuos	Pobre	69	78	83	87
		Buena	64	74	81	85
	según curva de nivel y aterrazado	Pobre	66	74	80	82
		Buena	62	71	78	81
	según curva de nivel y aterrazado + cubierto de residuos	Pobre	65	73	79	81
		Buena	61	70	77	80
Cultivo de grano pequeño	Según máxima pendiente	Pobre	65	76	84	88
		Buena	63	75	83	87
	Máxima pendiente + cubierto de residuos	Pobre	64	75	83	86
		Buena	60	72	80	84
	según curva de nivel	Pobre	63	74	82	85
		Buena	61	73	81	84
	Curva de nivel + cubierto de residuos	Pobre	62	73	81	84
		Buena	60	72	80	83
	Según curva de nivel y aterrazado	Pobre	61	72	79	82
		Buena	59	70	78	81
Según curva de nivel y aterrazado + cubierto de residuos	Pobre	60	71	78	81	
	Buena	58	69	77	80	
Cultivo de leguminosas o rotaciones de leguminosas-gramíneas	Según máxima pendiente	Pobre	66	77	85	89
		Buena	58	72	81	85
	Según curva de nivel	Pobre	64	69	83	85
		Buena	55	73	78	83
	Según Curva de nivel y aterrazado	Pobre	63	73	80	83
		Buena	51	67	76	80

* Los residuos cubren al menos 5% de superficie durante el año
Fuente: United States Department of Agriculture (USDA, 1986)

Cuadro 10. Números de la Curva para pastizales y arboledas

DESCRIPCIÓN DEL USO		GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
USO DEL SUELO	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	A	B	C	D
Pastos o pastizales	Pobre	68	79	89	89
	Regular	49	69	79	84
	Buena	39	61	74	80
Praderas	-	30	58	71	78
Matorral con vegetación herbácea	Pobre	48	67	77	83
	Regular	35	56	70	77
	Buena	30	48	65	73
Matorral con vegetación herbácea	Pobre	57	73	82	86
	Regular	43	65	76	82
	Buena	32	58	72	79
Matorral con vegetación herbácea	Pobre	45	66	77	83
	Regular	36	60	73	79
	Buena	30	55	70	77
Granjas, edificaciones y caminos	-	59	74	82	86

Fuente: United States Department of Agriculture (USDA, 1986)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca alta del río Apuela y las comunidades que se hallan dentro de la misma, se encuentran en la Sierra Norte del país, dentro del ecosistema páramo del sector de Piñán. Administrativamente se ubica en la provincia de Imbabura, cantón Cotacachi, parroquias de Imantag (Zona Andina) y Apuela (Zona de Intag). (Ver figura 1: Mapa de Ubicación).

4.1.1. Coordenadas geográficas

A continuación se muestran las coordenadas planas del área de estudio en proyección cartográfica mediante un Sistema de Información Geográfica.

Cuadro 11. Coordenadas planas referenciales

PUNTOS	COORDENADA X	COORDENADA Y
NORTE	786832	10064966
SUR	795093	10039920
ESTE	798152	10052311
OESTE	781147	10052960

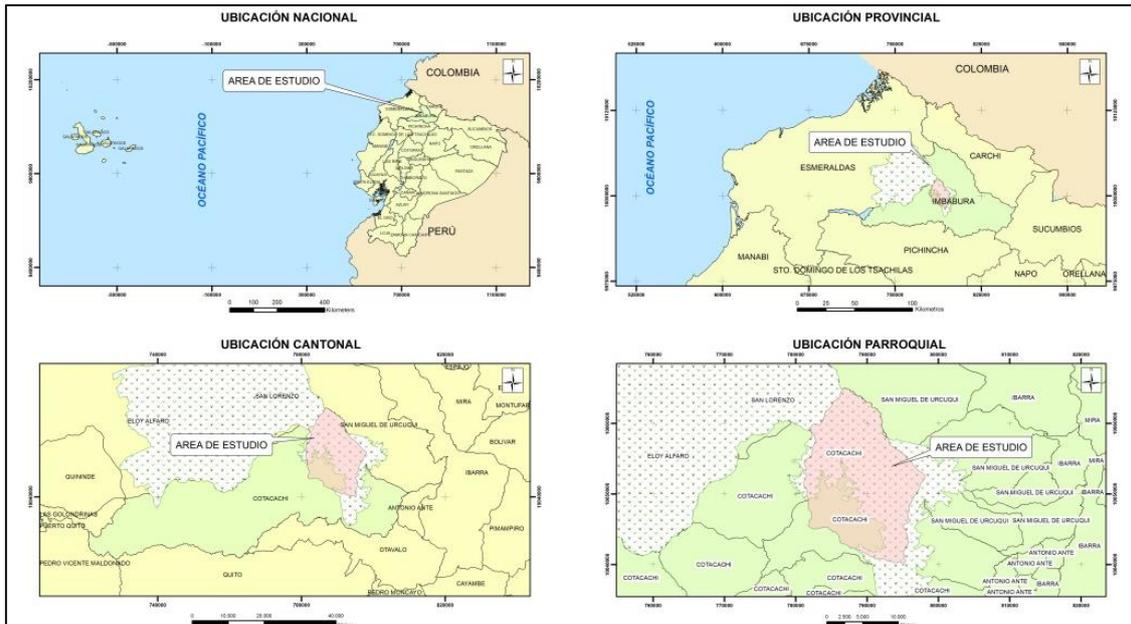


Figura 5. Mapa de Ubicación
Elaboración: El Autor

El área de estudio tiene una superficie de 26.489,45 hectáreas. Que se caracteriza por presentar condiciones biofísicas singulares entre las que se destacan: la altitud del terreno que sobrepasan los 1840 msnm con relieves montañosos, suelos derivados de cenizas volcánicas y formaciones glaciares, cauces de ríos rocosos y climas templados- fríos, donde predominan la formación vegetal de páramo, arbustivo y herbáceo con presencia de numerosos cuerpos de aguas superficiales y someros.

4.1.2. Recurso Hídrico

El recurso hídrico en el área de estudio es abundante debido a que es un sistema lacustre de gran importancia, se aprecia la presencia de la laguna Tobar Donoso y la laguna Jaricocha, principales fuentes hídricas, además hay lagunillas que se evidencian solo en época lluviosa (lagunas someras); asimismo de los páramos de Piñán se originan importantes ríos y quebradas (cuadro 12) que alimentan al río de estudio.

Cuadro 12. Red hídrica de la cuenca del río Apuela

RÍOS	QUEBRADAS
1. Río Piñán	1. Quebrada Gualoto
2. Río Pantaví	2. Quebrada Atanto
3. Río Pitura	3. Quebrada Mal Salto
4. Río Piura	4. Quebrada Cevallos
5. Río Yerba Buena	5. Quebrada Cristococha
6. Río Cotacachi	6. Quebrada Chuganta
7. Río Salado	

Fuente: Mapa de Tipos de Suelo (SNI)

Elaboración: El Autor

4.1.3. Taxonomía del suelo

La taxonomía del suelo en el que se encuentra originada la cuenca hidrográfica pertenecen a los denominados Inceptisoles con el 93,89%, Inceptisol + Entisol el 4,95%, Nieve y hielo en 0,21% y cuerpos de agua el 0,95% respecto al territorio en estudio. (Ver tabla 1).

Tabla 1. Taxonomía del suelo

DESCRIPCIÓN	Código	Superficie (has)
Cuerpo de agua natural	Wn	250,6
Inceptisol	D2-D3	24 871,35
Inceptisol + Entisol	D3-Ed	1 312,42
Nieve y hielo	On	55,06

Fuente: Mapa de Tipos de Suelo (SNI)

Elaboración: El Autor

4.1.4. Uso del suelo

Como se muestra en la tabla 2, se distingue al páramo en 12.796,00 has, siendo el que más territorio ocupa dentro del área de estudio, a pesar de haber sufrido cambios en la regeneración, lo que significa que al ser un buen retenedor de humedad, los caudales en los ríos y quebradas se mantienen casi intactos.

Tabla 2. Usos del suelo actuales

DESCRIPCIÓN	Código	Superficie (has)
Bosque natural	Bn	5.796,30
Cuerpo de agua natural	Wn	246,98
Cultivos ciclo corto	Cc	343,96
Maíz	Cm	1.241,89
Nieve o hielo	On	52,20
Páramo	Pr	12.796,00
Pasto cultivado	Pc	78,82
Pasto natural	Pn	1.255,68
Vegetación arbustiva	Va	1.346,19
Maíz - vegetación arbustiva	Cm-Va	380,12
Páramo - vegetación arbustiva	Pr-Va	1.656,61
Páramo / vegetación arbustiva	Pr/Va	440,78
Pasto cultivado / páramo	Pc/Pr	855,25

Fuente: SNI, 2003

4.1.5. Pendientes

De acuerdo a los seis rangos clasificados, tenemos que la morfología del terreno es Montañosa con pendientes entre 25 y 50%, lo que aporta considerablemente a la conservación de la cobertura vegetal.

La orografía de la cuenca alta del río Apuela es particular de zonas montañosas por lo que se tiene un 12,52% de pendiente plana; 7,44% pendientes suavemente inclinadas; 19,53% de pendientes fuertemente inclinadas; 35,05% de pendientes montañosas; 14,04% de pendientes muy montañosas y el 11,40% de pendientes escarpadas como se explica en la tabla 3.

Tabla 3. Características del terreno

Características	Superficie (ha)	Porcentaje	Observaciones
Pendiente Plana	3.315,28	12,52%	Predomina la pendiente montañosa.
Pendiente Suavemente Inclinada	1.972,01	7,44%	
Pendiente Fuertemente Inclinada	5.172,34	19,53%	
Pendiente Montañosa	9.284,84	35,05%	
Pendiente muy Montañosa	3.718,41	14,04%	
Pendiente Escarpada	3.019,33	11,40%	

Fuente: CIDIAT, 2015

4.1.6. Isoyetas (Precipitación) – Isotermas (Temperatura)

Los rangos de precipitación dentro de la cuenca oscilan los 1000 a 2000 milímetros anuales (ver cuadro 13), mientras que la temperatura generada a partir de la fórmula aplicada como muestra en la metodología oscilan los 2,5 a 17,5 °C.

Cuadro 13. Rangos de precipitación

Rangos de precipitación media anual
1.000 – 1.250
1.250 – 1.500
1.500 – 1.750
1.750 – 2.000

Fuente: SNI, 2003

4.1.7. Climatología

La estación meteorológica de Inguincho (M001) registró precipitaciones de 1.255,1 mm para el año de 1991 y de 1 302,6 mm para el año 2010; para la estación meteorológica de Cahuasquí (M107) se registraron precipitaciones en el año de 1991 de 535,3 mm y en el año de 2010 de 680,1 mm; por otro lado en la estación pluviométrica de Apuela (M318) se registraron datos de precipitaciones para el año 1991 de 430,5 mm y para el año 2010 de 1 447,4 mm, según los registros del INAMHI de los años 1991 y 2010; y las temperaturas promedio anuales oscilan entre los 10,0 y 18,0 °C, como se muestra en el cuadro 14.

Cuadro 14. Datos de precipitaciones medias mensuales (1991 - 2010)

Estación	año	ene	feb	mar	abr	may	jun	Jul	ago	sep	oct	Nov	dic	P.A.
Inguincho	1991	73,9	85,3	248,5	46,6	181,7	28,5	34,6	42,2	161,1	60,3	146,1	146,3	1.255,1
	2010	20,2	35,7	33,0	201,2	142,2	81,1	122,1	37,4	75,7	114,0	214,8	225,2	1.302,6
Cahuasquí	1991	66,9	34,0	125,9	24,0	109,9	14,9	11,4	3,5	23,8	37,5	0,0	83,5	535,3
	2010	4,0	26,7	16,2	87,9	83,8	19,4	44,8	18,3	39,9	37,4	161,3	140,4	680,1
Apuela	1991	177,6	0,0	252,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	430,5
	2010	97,8	167,7	60,0	250,4	88,5	66,5	83,1	22,5	31,2	29,3	157,5	392,9	1.447,4

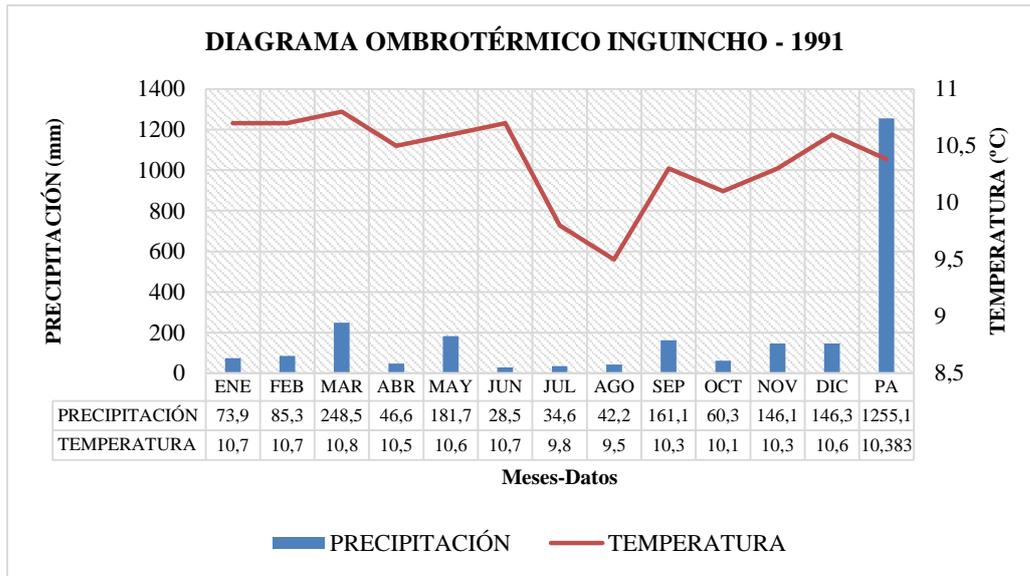


Gráfico 1. Diagrama ombrotérmico de la estación meteorológica de Inguincho año 1991

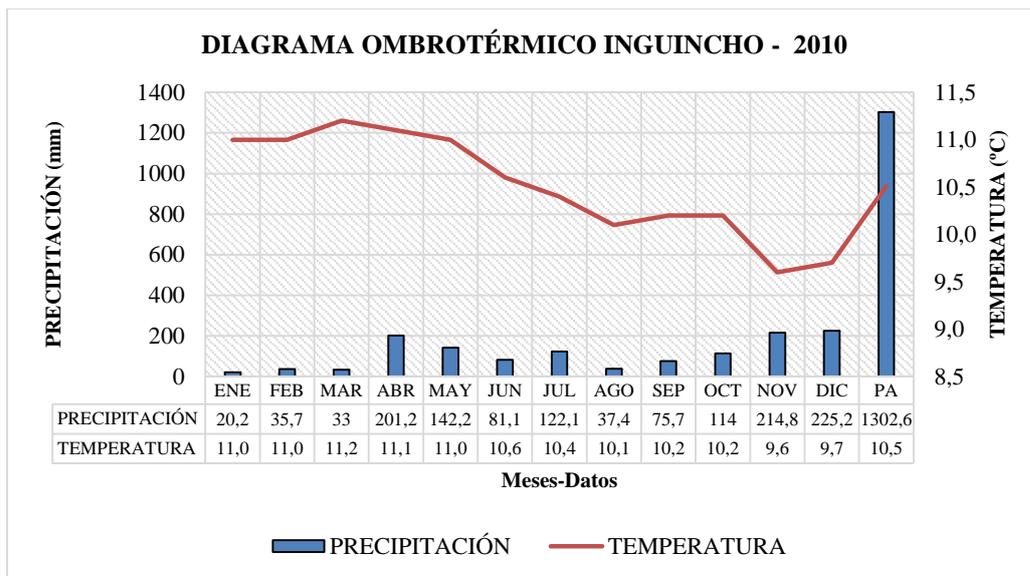


Gráfico 2. Diagrama ombrotérmico de la estación meteorológica de Inguincho año 2010

4.1.7.1 Tipos de clima

En el área de estudio se encuentran dos tipos de climas: Ecuatorial de alta montaña (Pf) con una superficie de 20.949,04 hectáreas que corresponde al 79,08% de la cuenca y Ecuatorial mesotérmico semi-húmedo (Ch) con una superficie de 5.540,4 hectáreas correspondiente al 20,92% de la cuenca.

4.1.8. Zonas de Vida según L.R. Holdridge

Se encuentran 3 zonas de vida, predominando Bosque muy húmedo montano (bmh-M), con una superficie de 22.918,56 hectáreas que corresponden al 86,52% del total del área de estudio, seguido por Bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB) con una superficie de 3.403,56 hectáreas con el 12,85% y por último tenemos bosques pluviales sub alpinos (bs-SA) con una superficie de 167,32 hectáreas con el 0,63%.

4.2. ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL

4.2.1. Análisis multitemporal a través de imágenes Landsat 1991 (USGS) y 2010 imágenes aerotransportadas del proyecto SIGTIERRAS

Se realizó el análisis multitemporal de la vegetación para diferenciar en porcentaje y en unidades de área la disminución de la vegetación natural, el avance de la frontera agrícola y la disminución de los remanentes de bosque, que influyen directamente en la producción de agua.

El análisis se realizó utilizando una imagen satelital multiespectral LANDSAT del año 1991 (USGS) y 2010 de la e imágenes aerotransportadas del proyecto SIGTIERRAS 2010. El análisis se realizó aplicando los siguientes procesos metodológicos:

4.2.2. Corrección radiométrica de imágenes

Se obtuvo las categorías de cobertura vegetal de los años 1991 y 2010; mediante el software ERDAS 2014 y con la utilización de las herramientas radiométricas Haze y Noise Reduction que son herramientas de procesamiento, las cuales mejoran la firma espectral de la imagen, mediante el vecino más cercano “1-1”. Posteriormente se obtuvo la combinación de bandas 4, 3, 2, para reflejar el infrarrojo cercano propio de cobertura vegetal.

4.2.3. Análisis de Cobertura vegetal

4.2.3.1. Cobertura vegetal de los años 1991 y 2010

En base a la tabla 4, se indica que en el lapso de los 19 años transcurridos (1991 – 2010), existió un alto índice de pérdida de cobertura vegetal siendo que: bosque nativo perdió 935,14 hectáreas, nieve perdió 61,68 hectáreas y áreas sin cobertura vegetal disminuyeron 92,74 hectáreas; de la misma manera hay superficies de cobertura vegetal que aumentaron cobertura como son: mosaico agropecuario aumentó 548,23 hectáreas, páramo aumentó 513,85 hectáreas y vegetación arbustiva aumentó 51,87 hectáreas; los cuerpos de agua se mantuvieron con 220,35 hectáreas.

Tabla 4. Comparación de cambios de cobertura vegetal en los años 1991 y 2010.

CATEGORÍA	Simbología	Superficie Año 1991 (has)	Superficie Año 2010 (has)	19 años
Bosque nativo	Bn	5.848,00	4.912,86	-935,14
Nieve	On	61,86	0	-61,86
Mosaico agropecuario	Cc	1.638,43	2.186,66	548,23
Cuerpos de agua	Wn	220,35	220,35	0,00
Páramo	Pr	16.753,01	17.266,86	513,85
Vegetación arbustiva	Va	1.798,87	1.841,74	42,87
Área sin cobertura vegetal	E	153,72	60,98	-92,74

Fuente: SNI, 2003

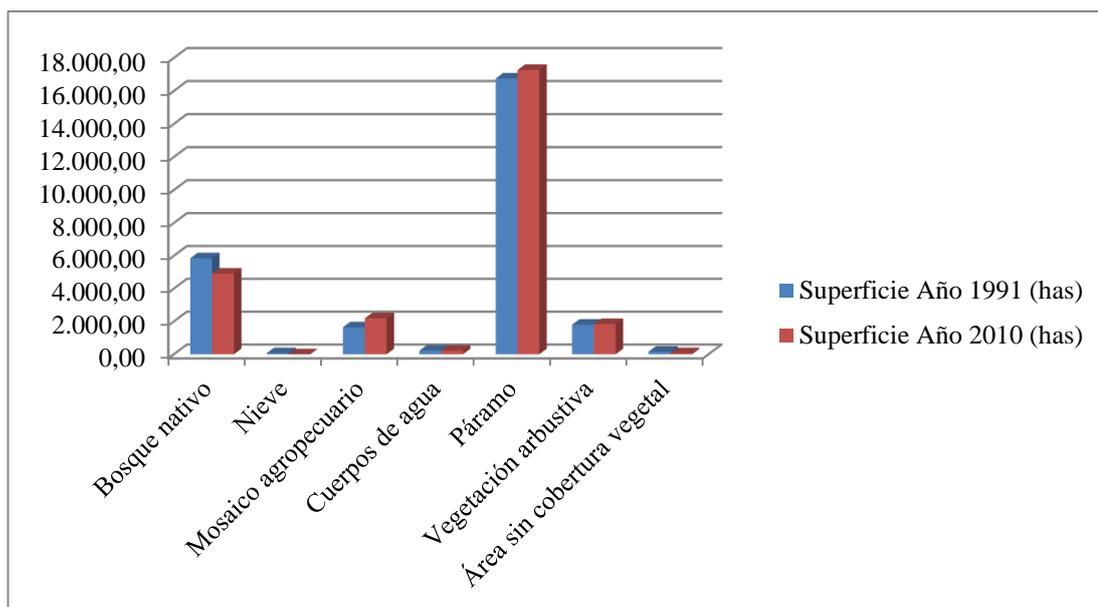


Gráfico 3. Interpretación gráfica de datos años 1991 – 2010

4.2.3.2. Cobertura vegetal de los años 2010 y 2015

Para el lapso de 5 años (2010 – 2015) se tiene que: el bosque nativo perdió 309,38 hectáreas, nieve sin presencia, mosaico agropecuario sin datos (humo), cuerpos de agua perdieron 7,75 hectáreas, páramo aumentó 2.990,34 hectáreas, vegetación arbustiva perdió 461,84 hectáreas y áreas sin cobertura vegetal disminuyeron 31,38 hectáreas.

En el caso de los mosaicos agropecuarios, no se pudo distinguir la cobertura por la presencia de humo de los incendios forestales que se evidencian fácilmente en la imagen del 30 de septiembre de 2015, fecha que corresponde a la época seca.

Tabla 5. Comparación de cambios de cobertura vegetal en los años 2010 y 2015.

CATEGORÍA	Simbología	Superficie Año 2010 (has)	Superficie Año 2015 (has)	5 años
Bosque nativo	Bn	4.912,86	4.603,48	-309,38
Nieve	On	0	0	0,00
Mosaico agropecuario	Cc	2.186,66	0	-2.186,66
Cuerpos de agua	Wn	220,35	212,6	-7,75
Páramo	Pr	17.266,86	20.257,20	2.990,34
Vegetación arbustiva	Va	1.841,74	1.379,90	-461,84
Área sin cobertura vegetal	E	60,98	29,6	-31,38

Fuente: SNI, 2003

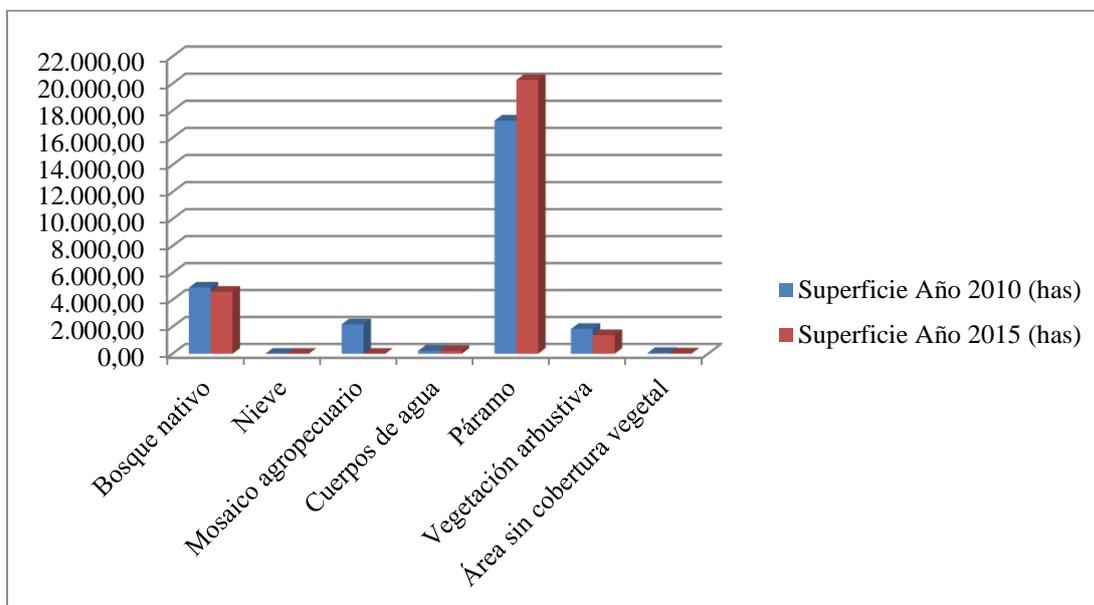


Gráfico 4. Interpretación gráfica de datos años 2010 – 2015

4.3. CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA

4.3.1. Demografía

Para conocer aspectos socioeconómicos de los pobladores de Piñán, se aplicó 72 encuestas al azar, según la fórmula del tamaño de la muestra; obteniéndose los siguientes resultados (ver cuadro 15):

Cuadro 15. Sistematización de encuesta

Empleo	De la comunidad de Piñán la mayoría de personas se dedica netamente a la agricultura, otro porcentaje a la ganadería.
Ingresos económicos	De las actividades que realizan los comuneros, agricultura en el sector, jornaleros en muchas de las ocasiones, ellos generan un ingreso promedio mensual de \$ 217,70 USD para su hogar.
Egresos económicos	De la misma manera, al tener gastos de alimentación, vestimenta y subsistencia ellos tienen un egreso promedio mensual de \$ 104,6 USD.
Migración	La tasa de migración es relativamente alta, ya que al no haber fuentes de trabajo con salarios dignos en la comunidad, ellos prefieren ir a trabajar en las ciudades grandes, en cualquier tipo de empleo.
Infraestructura y Servicios Básicos	
Electricidad	Cuentan en la mayoría de las casas con electricidad pública que es llevada desde el cantón Urcuquí
Agua	El agua para consumo es entubada, proveniente de vertientes de las partes altas de la comunidad.
Telecomunicaciones	Pocas son las personas que tienen teléfono, en este caso al ser un sitio alejado, la señal que ellos utilizan para la comunicación es satelital.
Vías de comunicación	Existen 2 vías únicas para ingresar a los páramos de Piñán; una es por la Merced de Buenos Aires y la otra por Imantag (hacienda el Hospital)
Educación	Existe una escuela con 2 docentes ya que no existe gran cantidad de estudiantes que asistan regularmente.
Salud	Los problemas más comunes de salud son: la gripe, debido a los bruscos cambios de temperatura a los que están expuestos y la otra son problemas gastrointestinales se presume debido al consumo de agua cruda (sin tratamiento)
Vivienda	Todas las viviendas de la comunidad de Piñán son de Bareque y paja, servicios ambientales que el ecosistema páramo los prevé.

Fuente: El Autor

4.4. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO HEC – HMS

Mediante el Software HEC - HMS 4.0, el cual genera modelamientos hidrológicos se obtuvo los siguientes resultados previo a la obtención del promedio de la curva número, de las categorías de cobertura vegetal, utilizando la tabla de la SCS (ver tabla 6) se obtuvo los caudales de máximas y mínimas, determinando la capacidad de producción hídrica de la cuenca alta del río Apuela.

Tabla 6. Curva número de categoría de cobertura vegetal de los años 1991 y 2010.

CATEGORÍA	Simbología	Valor Curva Número
Bosque nativo	Bn	63
Nieve	On	-
Mosaico agropecuario	Cc	81
Cuerpos de agua	Wn	-
Páramo	Pr	74
Vegetación arbustiva	Va	70
Área sin cobertura vegetal	E	87
Promedio		53,57

Fuente: United States Department of Agriculture (USDA, 1986)

La estructuración del modelo hidrológico se basó de acuerdo con el área de la cuenca y el punto de salida de la misma, incluyendo los datos del período de máximas precipitaciones de los meses de marzo (época lluviosa) y junio (época seca) correspondientes al año 1991; y los meses de enero (época seca) y diciembre (época lluviosa) del año 2010 para la estación meteorológica de Inguincho, como se muestra en la tabla 7. Así mismo se incluye los datos de la estación pluviométrica de Apuela del período de máximas precipitaciones de los meses de enero (época lluviosa) y marzo (época seca) correspondiente al año 1991; y los meses agosto (época seca) y diciembre (época lluviosa) del año 2010, conforme tabla 8.

Tabla 7. Datos del período de máximas precipitaciones (mm) – Inguincho

año 1991			año 2010		
Día	marzo	junio	Día	enero	Diciembre
22	0,0	-	7	-	0,0
23	5,3	-	8	0,0	1,4
24	22,2	-	9	1,3	30,5
25	4,2	-	10	1,5	27,5
26	34,8	0,0	11	9,0	15,6
27	26,7	1,2	12	0,0	7,9
28	14,8	2,0	13	-	0,5
29	2,7	0,7	14	-	34,2
30	2,3	0,6	15	-	1,9
31	0,0	-	16	-	11,0
			17	-	40,8
			18	-	17,0
			19	-	5,2
			20	-	2,7
			21	-	0,4
			22	-	1,2
			23	-	9,4
			24	-	7,2
			25	-	0,0

Fuente: INAMHI, 2015

Tabla 8. Datos del período de máximas precipitaciones (mm) – Apuela

año 1991			año 2010		
Día	enero	marzo	Día	agosto	diciembre
8	0	-	1	2,1	-
9	2	0	2	1,7	-
10	3,4	7	3	1,7	-
11	15	6	4	0,0	-
12	0,8	1,7	13	-	0,0
13	38	8,8	14	-	43,1
14	32,3	5,3	15	-	7,0
15	20	4,5	16	-	20,1
16	10	13,4	17	-	38,5
17	10,9	10	18	-	10,7
18	10,2	13,5	19	-	50,5
19	30,5	0,8	20	-	11,0
20	0	0	21	-	17,3
			22	-	8,3
			23	-	26,2
			24	-	7,5
			25	-	4,6
			26	-	7,3
			27	-	8,0
			28	-	23,5
			29	-	9,9
			30	-	13,3
			31	-	2,3

Fuente: INAMHI, 2015

4.4.1. Modelamiento hidrológico año 1991 estación meteorológica Inguincho

4.4.1.1. Modelamiento hidrológico mes de marzo (época lluviosa)

En el mes de marzo del año 1991 la tormenta duró 9 días y como se muestra en la figura 6, el área de drenaje de la cuenca es de 264,89 km², con un caudal máximo de 73,8 m³/s y un volumen de agua de 71,02 mm, correspondiente al periodo del 22 al 31 de marzo de 1991.

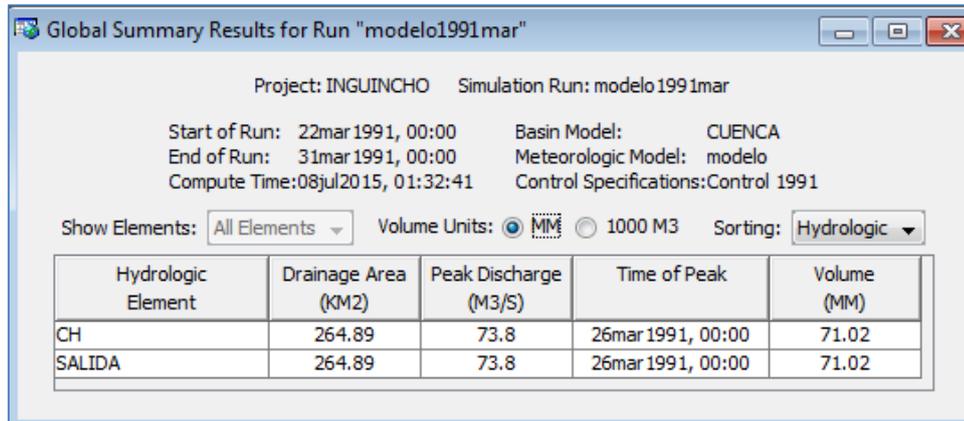


Figura 6. Resultados generales del modelo hidrológico
Fuente: Software HEC-HMS

La pérdida de lluvia o infiltración se genera en el segundo día de tormenta, obteniendo una pérdida o infiltración de 10 mm aproximadamente, en cambio al cuarto día de tormenta la lluvia se transformó en escorrentía (figura 7).

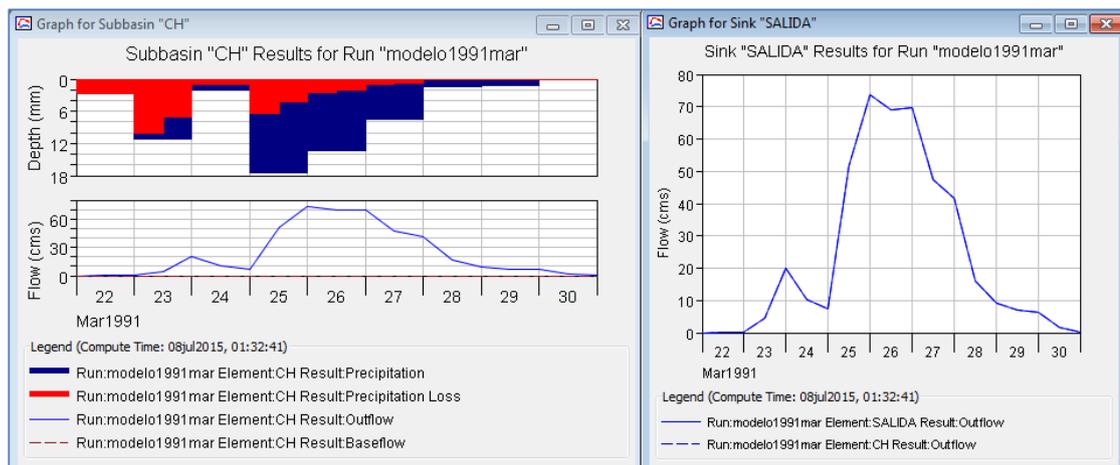


Figura 7. Resultados hidrológicos para la cuenca

El área de color rojo: pérdida de lluvia o infiltración
El área de color azul lo que genera el caudal de la cuenca
Fuente: Software HEC-HMS

Como se indica en la figura 8, la cuenca hidrográfica muestra que el 26 de marzo a las 00h00 se registró como tiempo de máxima descarga con valores de caudal máximo 73,8 m³/s, volumen de precipitación 113,0 mm, volumen de pérdida 41,95 mm, volumen de exceso 71,05 mm, volumen de escorrentía directa 71,02 mm, volumen de caudal base 0,00 mm, volumen de descarga 71,02 mm.

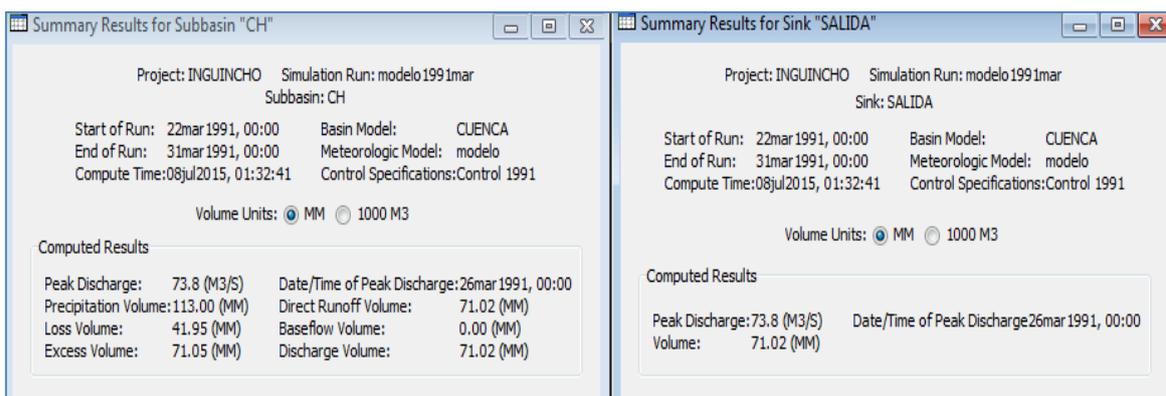


Figura 8. Resultados del modelo generado

Fuente: Software HEC-HMS

Como se indica en la figura 9, el mayor flujo de salida de agua se registró a las 00h00 del 26 de marzo de 1991 con un valor de 73,8 m³/s, en cambio el menor flujo de salida se registró a las 12h00 del 22 de marzo con un valor de 0,1 m³/s.

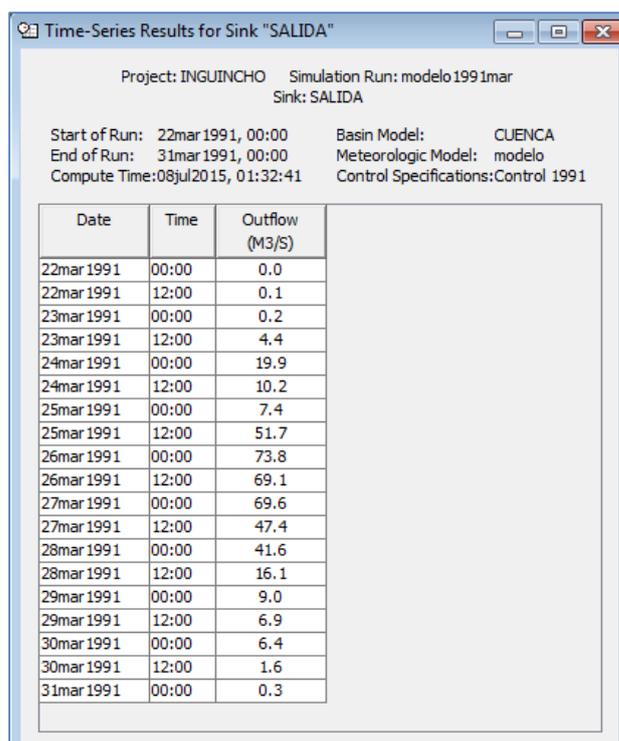


Figura 9. Resultados de la serie “salida”

Fuente: Software HEC – HMS

Según la figura 10, desde las 12h00 del 25 de marzo hasta las 00h00 del 26 de marzo, se registró la mayor precipitación con 17,40 mm; la mayor pérdida de agua se registró a las 12h00 del 23 de marzo de 1991 con un valor de 10,15 mm; con 13,08 mm, se registró el exceso de agua en la subcuenca el 25 de marzo de 1991 a

las 00h00; el flujo directo de agua dentro de la subcuenca se registró el 26 de marzo de 1991 a las 00h00 con un valor de 73,8 m³/s; no se han registrado valores de caudal base para la duración de esta tormenta; finalmente se obtuvo un flujo total de agua el 26 de marzo de 1991 a las 00h00 con un valor de 73,8 m³/s.

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
22mar 1991	00:00				0.0	0.0	0.0
22mar 1991	12:00	2.65	2.62	0.03	0.1	0.0	0.1
23mar 1991	00:00	2.65	2.62	0.03	0.2	0.0	0.2
23mar 1991	12:00	11.10	10.15	0.95	4.4	0.0	4.4
24mar 1991	00:00	11.10	7.01	4.09	19.9	0.0	19.9
24mar 1991	12:00	2.10	1.07	1.03	10.2	0.0	10.2
25mar 1991	00:00	2.10	1.00	1.10	7.4	0.0	7.4
25mar 1991	12:00	17.40	6.47	10.93	51.7	0.0	51.7
26mar 1991	00:00	17.40	4.32	13.08	73.8	0.0	73.8
26mar 1991	12:00	13.35	2.45	10.90	69.1	0.0	69.1
27mar 1991	00:00	13.35	1.96	11.39	69.6	0.0	69.6
27mar 1991	12:00	7.40	0.92	6.48	47.4	0.0	47.4
28mar 1991	00:00	7.40	0.83	6.57	41.6	0.0	41.6
28mar 1991	12:00	1.35	0.14	1.21	16.1	0.0	16.1
29mar 1991	00:00	1.35	0.14	1.21	9.0	0.0	9.0
29mar 1991	12:00	1.15	0.12	1.03	6.9	0.0	6.9
30mar 1991	00:00	1.15	0.12	1.03	6.4	0.0	6.4
30mar 1991	12:00	0.00	0.00	0.00	1.6	0.0	1.6
31mar 1991	00:00	0.00	0.00	0.00	0.3	0.0	0.3

Figura 10. Resultados de la serie subcuenca “CH”

Fuente: Software HEC – HMS

4.4.1.2. Modelamiento hidrológico mes de junio (época seca)

Para la época seca el modelamiento generó un caudal máximo de 0,1 m³/s y un volumen de agua de 0,04 mm, correspondiente al periodo del 26 al 30 de junio de 1991.

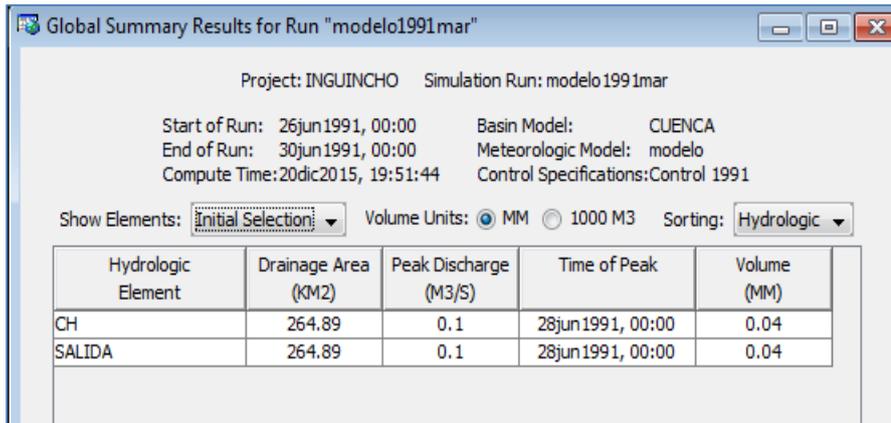


Figura 11. Resultados del modelo hidrológico

Fuente: Software HEC – HMS

La pérdida de lluvia o infiltración se genera en el primer día de tormenta, obteniendo una pérdida o infiltración de 10 mm aproximadamente, en cambio al segundo día de tormenta la lluvia se transformó en escorrentía (figura 12).

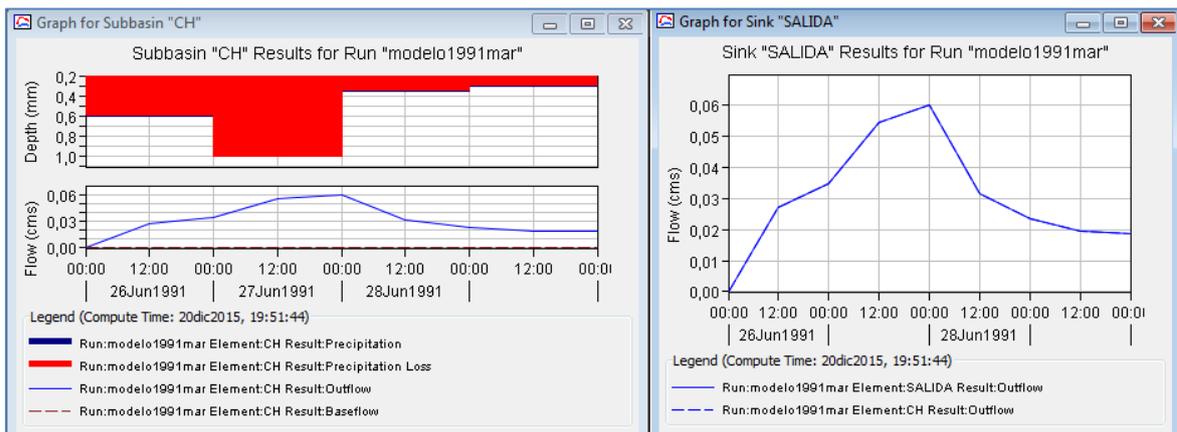


Figura 12. Resultados hidrológicos para la cuenca

El área de color rojo: pérdida de lluvia o infiltración.

El área de color azul lo que genera el caudal de la cuenca.

Fuente: Software HEC – HMS

Como se muestra en la figura 13, la cuenca hidrográfica muestra que el 28 de junio a las 00h00 se registró como tiempo de máxima descarga con valores de caudal máximo 0,1 m³/s, volumen de precipitación 4,50 mm, volumen de pérdida 4,45 mm, volumen de exceso 0,05 mm, volumen de escorrentía directa 0,04 mm, volumen de caudal base 0,00 mm, volumen de descarga 0,04 mm.

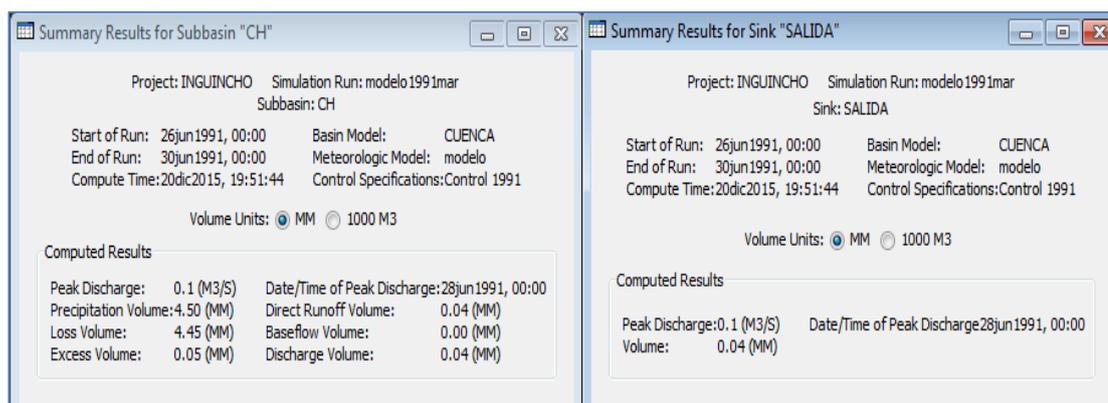


Figura 13. Resultados para salida del modelo generado

Fuente: Software HEC – HMS

Como se indica en la figura 14, el mayor flujo de salida de agua se registró a las 12h00 del 27 de junio y 00h00 del 28 de junio, con un valor de 0,1 m³/s.

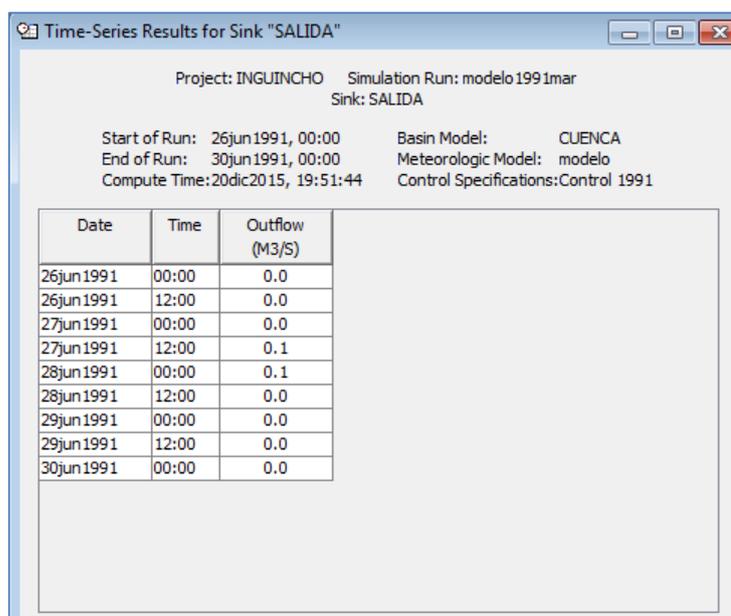


Figura 14. Resultados de la serie "CH"

Fuente: Software HEC – HMS

Según la figura 15, desde las 12h00 del 27 de junio hasta las 00h00 del día siguiente, se registró la mayor precipitación con 1,0 mm; la mayor pérdida de agua se registró desde las 12h00 del 27 de junio hasta las 00h00 del día siguiente con un valor de 0,99 mm; con 0,1 mm se registró el exceso de agua en la subcuenca desde las 12h00 del 26 de junio hasta las 00h00 del 28 de junio; el flujo directo de agua dentro de la subcuenca se registró el 27 de junio hasta las 00h00 del día 28 con un valor de 0,1 m³/s; no se han registrado valores de caudal base

para la duración de esta tormenta; finalmente se obtuvo un flujo total de agua el 27 de junio a las 12h00 hasta el día 28 del mismo mes a las 00h00 con un valor de 0,1 m³/s.

Project: INGUINCHO Simulation Run: modelo1991mar
Subbasin: CH

Start of Run: 26jun1991, 00:00 Basin Model: CUENCA
End of Run: 30jun1991, 00:00 Meteorologic Model: modelo
Compute Time: 20dic2015, 19:51:44 Control Specifications: Control 1991

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
26jun1991	00:00				0.0	0.0	0.0
26jun1991	12:00	0.60	0.59	0.01	0.0	0.0	0.0
27jun1991	00:00	0.60	0.59	0.01	0.0	0.0	0.0
27jun1991	12:00	1.00	0.99	0.01	0.1	0.0	0.1
28jun1991	00:00	1.00	0.99	0.01	0.1	0.0	0.1
28jun1991	12:00	0.35	0.35	0.00	0.0	0.0	0.0
29jun1991	00:00	0.35	0.35	0.00	0.0	0.0	0.0
29jun1991	12:00	0.30	0.30	0.00	0.0	0.0	0.0
30jun1991	00:00	0.30	0.30	0.00	0.0	0.0	0.0

Figura 15. Resultados de la serie subcuenca “CH”

Fuente: Software HEC – HMS

4.4.2. Modelamiento hidrológico año 2010 estación meteorológica Inguincho

4.4.2.1. Modelamiento hidrológico mes de diciembre (época lluviosa)

En el mes de diciembre del año 2010 se muestra un caudal máximo de 113,3 m³/s y un volumen de agua de 166,30 mm. (Ver figura 16)

Project: INGUINCHO Simulation Run: modelo2010

Start of Run: 07dic2010, 00:00 Basin Model: CUENCA
End of Run: 25dic2010, 00:00 Meteorologic Model: modelo
Compute Time: 08jul2015, 02:20:01 Control Specifications: Control 2010

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
CH	264.89	113.3	17dic2010, 00:00	166.30
SALIDA	264.89	113.3	17dic2010, 00:00	166.30

Figura 16. Resultados generales del modelo hidrológico

Fuente: Software HEC – HMS

La pérdida de lluvia o infiltración se genera en el segundo día de tormenta, obteniendo una pérdida o infiltración de 14 mm aproximadamente, en cambio al día 13 y 16 de la tormenta la lluvia se transformó en escorrentía (figura 17).

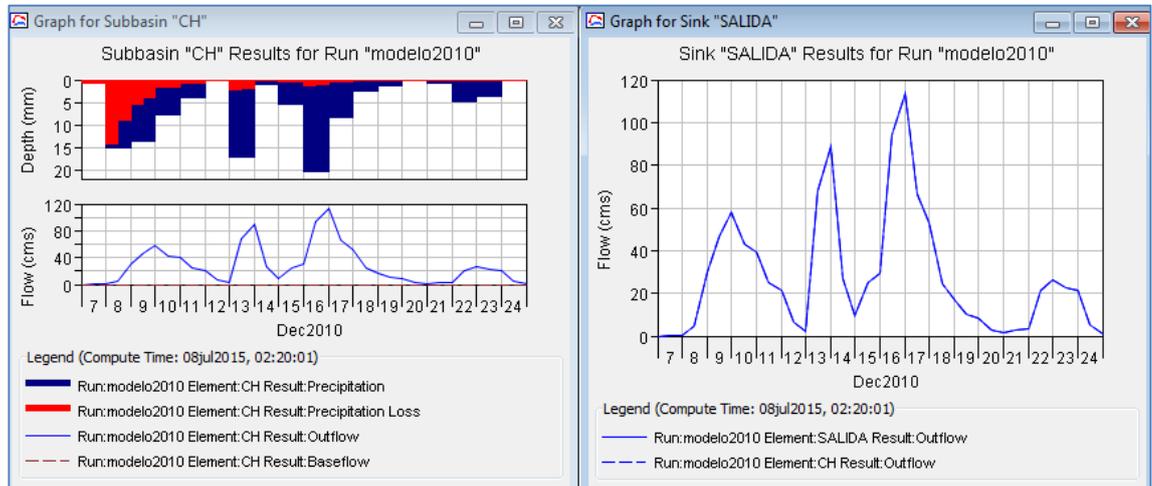


Figura 17. Resultados hidrológicos para la cuenca

El área de color rojo: pérdida de lluvia o infiltración.

El área de color azul lo que genera el caudal de la cuenca.

Fuente: Software HEC – HMS

Como se indica en la figura 18, la cuenca hidrográfica muestra que el 17 de diciembre a las 00h00 se registró como tiempo de máxima descarga con valores de caudal máximo 113,3 m³/s, volumen de precipitación 214,40 mm, volumen de pérdida 47,99 mm, volumen de exceso 166,41 mm, volumen de escorrentía directa 166,30 mm, volumen de caudal base 0,00 mm, volumen de descarga 166,30 mm.

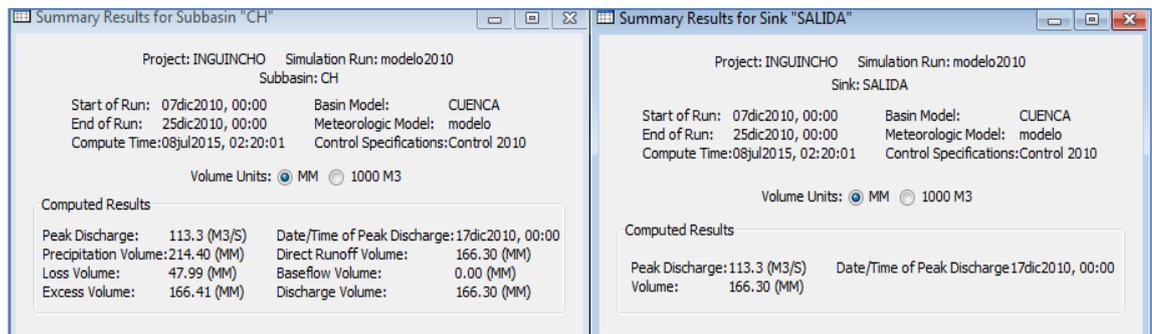


Figura 18. Resultados para el modelo generado de subcuenca

Fuente: Software HEC – HMS

Como se indica en la tabla 9, el mayor flujo de salida de agua se registró a las 00h00 del 17 de diciembre, con un valor de 113,3 m³/s, en cambio el menor flujo de salida registró 25 de diciembre a las 00h00 y 12h00 con valores de 1,0 m³/s.

Tabla 9. Resultados de la serie “salida”

Project: INGUINCHO Simulation Run: modelo2010 Sink: SALIDA					
Start of Run: 07dic2010, 00:00		Basin Model: CUENCA			
End of Run: 25dic2010, 00:00		Meteorologic Model: modelo			
Compute Time:08jul2015, 02:20:01		Control Specifications:Control 2010			
Date	Time	Outflow (m3/s)	Date	Time	Outflow (m3/s)
07-dic-10	0:00	0,0	16-dic-10	12:00	94,0
07-dic-10	12:00	0,0	17-dic-10	0:00	113,3
08-dic-10	0:00	0,0	17-dic-10	12:00	66,3
08-dic-10	12:00	4,8	18-dic-10	0:00	53,0
09-dic-10	0:00	29,9	18-dic-10	12:00	24,7
09-dic-10	12:00	46,7	19-dic-10	0:00	16,9
10-dic-10	0:00	57,7	19-dic-10	12:00	10,1
10-dic-10	12:00	42,8	20-dic-10	0:00	8,3
11-dic-10	0:00	39,4	20-dic-10	12:00	3,0
11-dic-10	12:00	25,0	21-dic-10	0:00	1,5
12-dic-10	0:00	21,2	21-dic-10	12:00	3,0
12-dic-10	12:00	6,3	22-dic-10	0:00	3,4
13-dic-10	0:00	2,2	22-dic-10	12:00	21,4
13-dic-10	12:00	67,9	23-dic-10	0:00	26,5
14-dic-10	0:00	88,6	23-dic-10	12:00	22,7
14-dic-10	12:00	27,2	24-dic-10	0:00	21,6
15-dic-10	0:00	9,6	24-dic-10	12:00	5,5
15-dic-10	12:00	24,9	25-dic-10	0:00	1,0
16-dic-10	0:00	29,6			

Fuente: Software HEC – HMS

Según la tabla 10, desde las 12h00 del 16 de diciembre hasta las 00h00 del día 17 del mismo mes, se registró la mayor precipitación con 20,40 mm; la mayor pérdida de agua se registró a las 12h00 del 08 de diciembre con un valor de 14,20 mm; con 19,23 mm, se registró el exceso de agua en la subcuenca el 17 de diciembre a las 00h00, y el mismo día el flujo directo de agua dentro de la subcuenca a las 00h00 con un valor de 113,3 m³/s; no se han registrado valores de caudal base para la duración de esta tormenta.

Tabla 10. Resultados de la serie subcuenca “CH”

Project: INGUINCHO Simulation Run: modelo2010 Subbasin: CH Start of Run: 07dic2010, 00:00 Basin Model: CUENCA End of Run: 25dic2010, 00:00 Meteorologic Model: modelo Compute Time:08jul2015, 02:20:01 Control Specifications:Control 2010							
Date	Time	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m3/s)	Base flow (m3/s)	Total flow (m3/s)
07-dic-10	0:00				0,0	-	-
07-dic-10	12:00	0,70	0,69	0,01	0,0	-	-
08-dic-10	0:00	0,70	0,69	0,01	0,0	-	-
08-dic-10	12:00	15,25	14,20	1,05	4,8	-	-
09-dic-10	0:00	15,25	8,99	6,26	29,9	-	-
09-dic-10	12:00	13,75	5,31	8,44	46,7	-	-
10-dic-10	0:00	13,75	3,81	9,94	57,7	-	-
10-dic-10	12:00	7,80	1,72	6,08	42,8	-	-
11-dic-10	0:00	7,80	1,49	6,31	39,4	-	-
11-dic-10	12:00	3,95	0,68	3,27	25,0	-	-
12-dic-10	0:00	3,95	0,63	3,32	21,2	-	-
12-dic-10	12:00	0,25	0,04	0,21	6,3	-	-
13-dic-10	0:00	0,25	0,04	0,21	2,2	-	-
13-dic-10	12:00	17,10	2,30	14,80	67,9	-	-
14-dic-10	0:00	17,10	1,80	15,30	88,6	-	-
14-dic-10	12:00	0,95	0,00	0,86	27,2	-	-
15-dic-10	0:00	0,95	0,09	0,86	9,6	-	-
15-dic-10	12:00	5,50	0,49	5,01	24,9	-	-
16-dic-10	0:00	5,50	0,45	5,05	29,6	-	-
16-dic-10	12:00	20,40	1,45	18,95	94,0	-	-
17-dic-10	0:00	20,40	1,17	19,23	113,3	-	-
17-dic-10	12:00	8,50	0,42	8,08	66,3	-	-
18-dic-10	0:00	8,50	0,39	8,11	53,0	-	-
18-dic-10	12:00	2,60	0,11	2,49	24,7	-	-
19-dic-10	0:00	2,60	0,11	2,49	16,9	-	-
19-dic-10	12:00	1,35	0,06	1,29	10,1	-	-
20-dic-10	0:00	1,35	0,06	1,29	8,3	-	-
20-dic-10	12:00	0,20	0,01	0,19	3,0	-	-
21-dic-10	0:00	0,20	0,01	0,19	1,5	-	-
21-dic-10	12:00	0,60	0,02	0,58	3,0	-	-
22-dic-10	0:00	0,60	0,02	0,58	3,4	-	-
22-dic-10	12:00	4,70	0,19	4,51	21,4	-	-
23-dic-10	0:00	4,70	0,18	4,52	26,5	-	-
23-dic-10	12:00	3,60	0,13	3,47	22,7	-	-
24-dic-10	0:00	3,60	0,13	3,47	21,6	-	-
24-dic-10	12:00	0,00	0,00	0,00	5,5	-	-
25-dic-10	0:00	0,00	0,00	0,00	1,0	-	-

Fuente: Software HEC – HMS

4.4.2.2. Modelamiento hidrológico mes de enero (época seca)

En la figura 19 se muestra un caudal máximo de 0,7 m³/s y un volumen de agua de 0,21 mm.

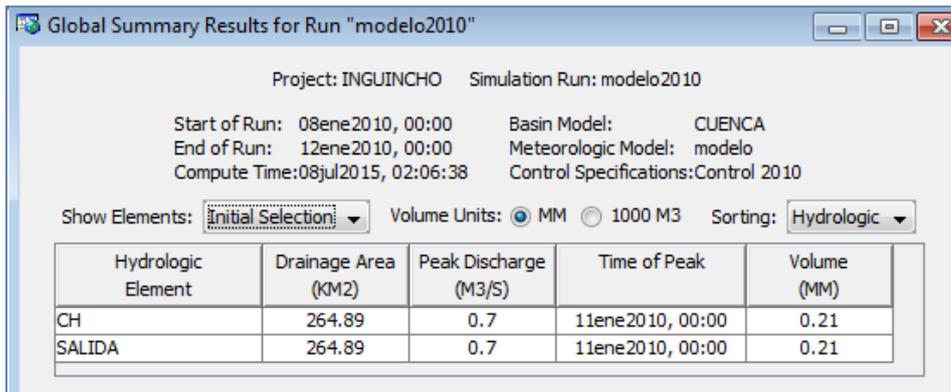


Figura 19. Resultados generales del modelo hidrológico

Fuente: Software HEC – HMS

La pérdida de lluvia o infiltración se generó en el segundo día de tormenta, obteniendo una pérdida o infiltración de 4,5 mm aproximadamente, en cambio al tercer día de tormenta la lluvia se transformó en escorrentía (figura 20).

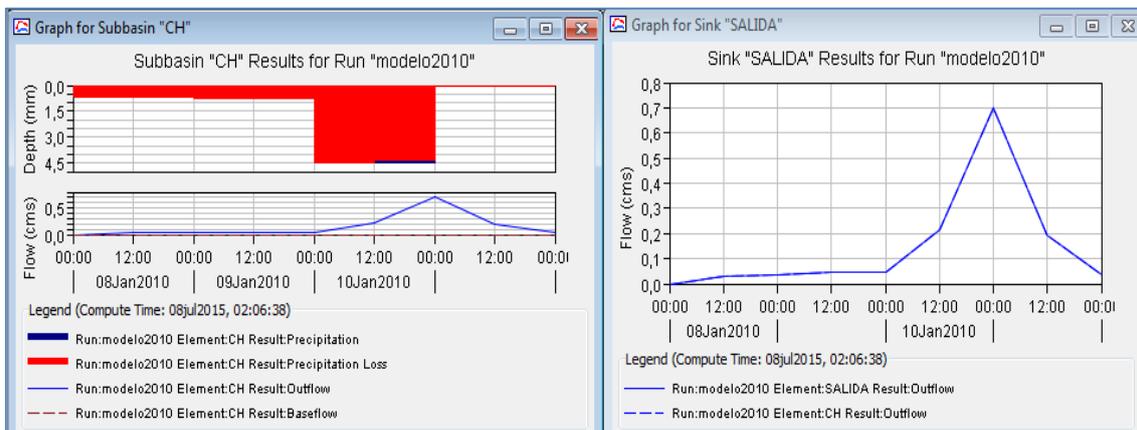


Figura 20. Resultados gráficos para subcuenca

Fuente: Software HEC – HMS

Como se muestra en la figura 21, el 11 de enero a las 00h00 se registró como tiempo de máxima descarga con valores de caudal máximo 0,7 m³/s, volumen de precipitación 11,8 mm, volumen de pérdida 11,59 mm, volumen de exceso 0,21 mm, volumen de escorrentía directa 0,21 mm, no se registra volumen de caudal base y volumen de descarga 0,21 mm.

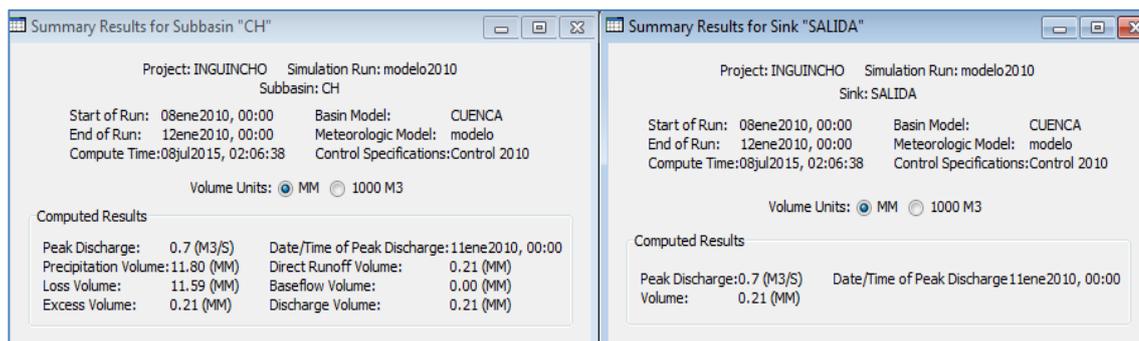


Figura 21. Resultados para el modelo generado de subcuenca
Fuente: Software HEC – HMS

Como se indica en la tabla 22, el mayor flujo de salida de agua se registró a las 00h00 del 11 de enero, con un valor de 0,7 m³/s, en cambio el menor flujo de salida registró el día 10 a las 12h00 al igual que el día 11 con valores de 0,2 m³/s.

Date	Time	Outflow (M3/S)
08ene2010	00:00	0.0
08ene2010	12:00	0.0
09ene2010	00:00	0.0
09ene2010	12:00	0.0
10ene2010	00:00	0.0
10ene2010	12:00	0.2
11ene2010	00:00	0.7
11ene2010	12:00	0.2
12ene2010	00:00	0.0

Figura 22. Resultados de la serie “salida”
Fuente: Software HEC – HMS

Según la tabla 23, desde las 12h00 del 10 de enero hasta las 00h00 del día siguiente, se registró la mayor precipitación con 4,50 mm; la mayor pérdida de agua se registró a las 12h00 del 10 de enero de 2010 con un valor de 4,46 mm; con 0,14 mm, se registró el exceso de agua en la subcuenca el 11 de enero a las 00h00; el flujo directo de agua más relevante dentro de la subcuenca se registró el 11 de enero a las 00h00 con un valor de 0,7 m³/s; no se han registrado valores de caudal base para la duración de esta tormenta; finalmente se obtuvo un flujo total de agua el 11 de enero a las 00h00 con un valor de 0,7 m³/s.

Time-Series Results for Subbasin "CH"

Project: INGUINCHO Simulation Run: modelo2010
Subbasin: CH

Start of Run: 08ene2010, 00:00 Basin Model: CUENCA
End of Run: 12ene2010, 00:00 Meteorologic Model: modelo
Compute Time: 08jul2015, 02:06:38 Control Specifications: Control 2010

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
08ene2010	00:00				0.0	0.0	0.0
08ene2010	12:00	0.65	0.64	0.01	0.0	0.0	0.0
09ene2010	00:00	0.65	0.64	0.01	0.0	0.0	0.0
09ene2010	12:00	0.75	0.74	0.01	0.0	0.0	0.0
10ene2010	00:00	0.75	0.74	0.01	0.0	0.0	0.0
10ene2010	12:00	4.50	4.46	0.04	0.2	0.0	0.2
11ene2010	00:00	4.50	4.36	0.14	0.7	0.0	0.7
11ene2010	12:00	0.00	0.00	0.00	0.2	0.0	0.2
12ene2010	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0

Figura 23. Resultados de la serie subcuenca "CH"

Fuente: Software HEC – HMS

4.4.3. Resumen del Modelamiento hidrológico

4.4.3.1. Resumen para la época lluviosa

Tabla 11. Datos época lluviosa

fecha	hora	época	caudal máximo (m ³ /s)	volumen precipitación (mm)	volumen pérdida (mm)	volumen exceso (mm)	volumen escorrentía directa (mm)	volumen descarga (mm)
marzo 1991	0:00	lluviosa	73,8	113	41,95	71,05	71,02	71,02
diciembre 2010	0:00	lluviosa	113,3	214,4	47,99	166,41	166,3	166,3

Fuente: Software HEC – HMS

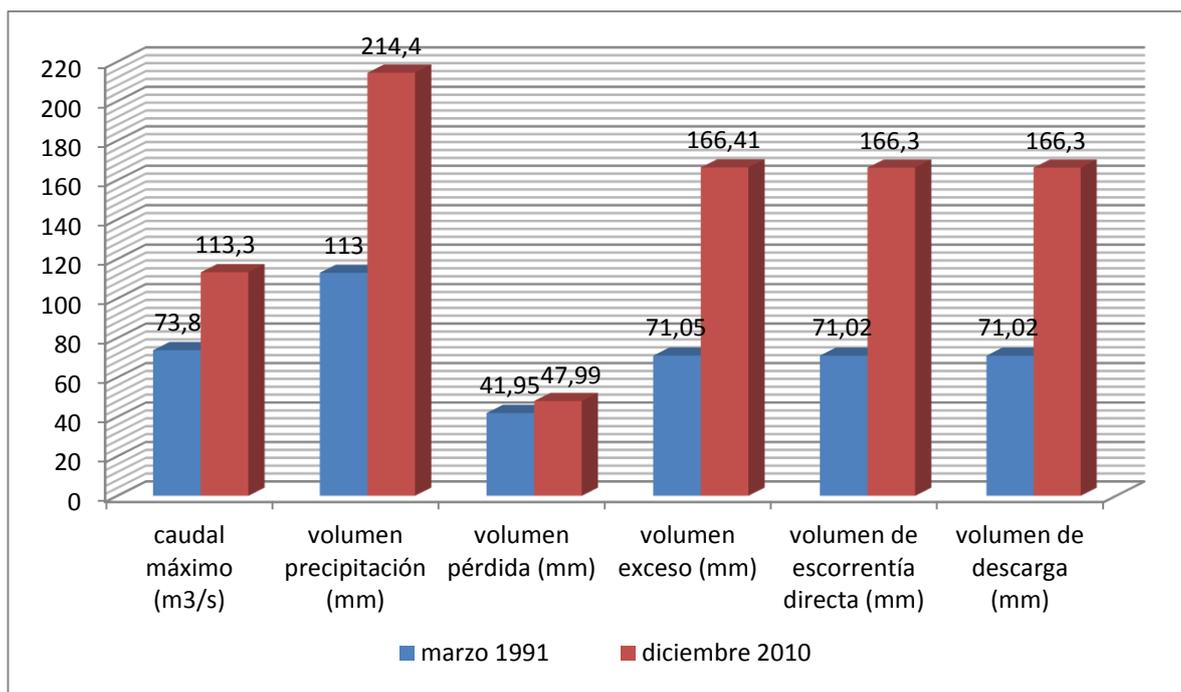


Gráfico 5. Interpretación gráfica de resultados para época lluviosa

4.4.3.2. Resumen para la época seca

Tabla 12. Datos época seca

fecha	hora	época	caudal máximo (m ³ /s)	volumen precipitación (mm)	volumen pérdida (mm)	volumen exceso (mm)	volumen escorrentía directa (mm)	volumen descarga (mm)
junio 1991	0:00	seca	0,1	4,5	4,45	0,05	0,04	0,04
enero 2010	0:00	seca	0,7	11,8	11,59	0,21	0,21	0,21

Fuente: Software HEC-HMS

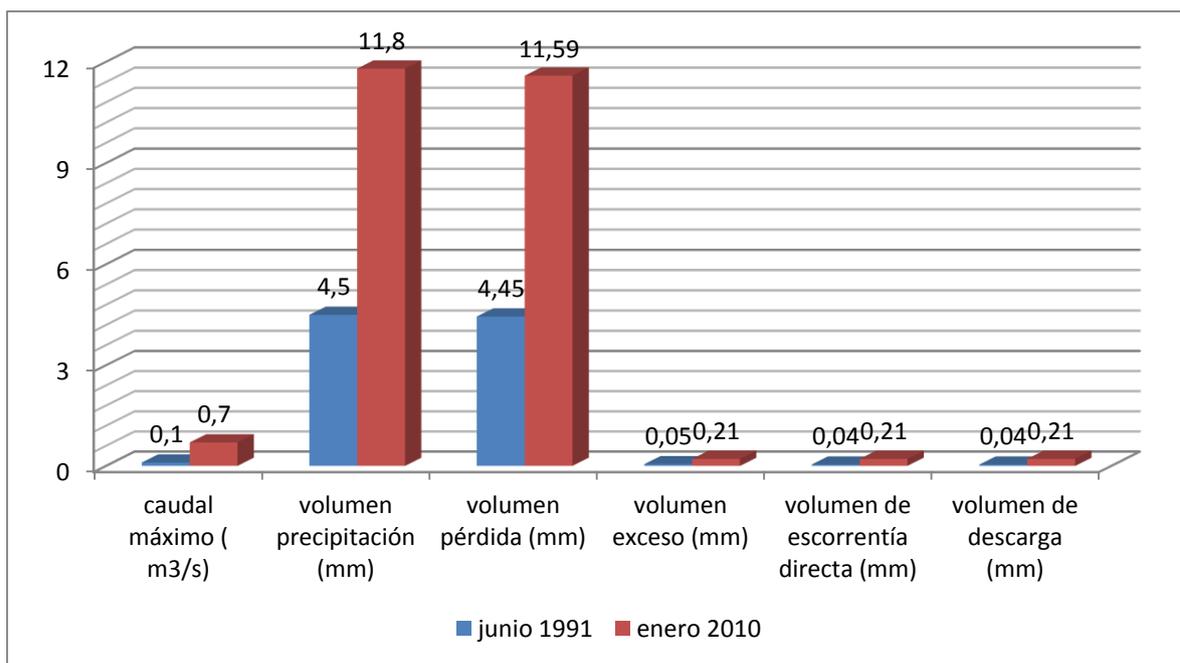


Gráfico 6. Interpretación gráfica de resultados para época seca

4.4.3.3. Interpretación de resultados

En el lapso de 19 años (1991 – 2010), se registró un aumento en el volumen precipitación de 101,4 mm y un aumento en el caudal máximo de 39,5 m3/s en la época lluviosa (tabla 11); en la época seca se registró un aumento en el volumen de precipitación de 7,35 mm y un aumento en el caudal máximo de 0,6 m3/s (tabla 12); según la tabla 4 se tiene que en el mismo lapso de tiempo la cobertura de bosque nativo disminuyó 935,14 hectáreas, lo que indica que la pérdida de cobertura vegetal influye directamente en la producción de agua.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El análisis multitemporal de las imágenes permitió determinar los cambios en la cobertura vegetal y uso del suelo en el intervalo de tiempo de 19 años; las superficies de las categorías: bosque nativo, cultivo anual, nieve, páramo y vegetación herbácea disminuyeron en 3.784,97 hectáreas que equivale al 20% de la superficie total, en cambio las superficies de las categorías: cultivo permanente, mosaico agropecuario, pastizal y vegetación arbustiva aumentaron en 1.820,83 hectáreas que equivale al 9,62% de la superficie total.
- Se identificaron sitios con regeneración natural, los cuales corresponden a las áreas de pajonal afectadas por incendios en años anteriores y también a las áreas de páramo afectadas por sobrepastoreo con ganado vacuno, dichas áreas se localizan en los sectores de Pantaví, Los Corrales, Las Cochas y comunidad de Piñán.
- En el período 1991 – 2010 se registraron disminuciones de superficies en las coberturas: bosque nativo y vegetación herbácea; dichas variaciones influyeron en los valores de condición hidrológica para los grupos hidrológicos del suelo (Curva Número) de la cuenca alta, y por consiguiente dichas disminuciones afectaron también los caudales de escorrentía de los afluentes del río Apuela.
- En el modelamiento hidrológico para el año 1991 el caudal máximo se registró el 26 de marzo con un valor de 73,8 m³/s, mientras que el caudal

máximo para el año 2010 fue de 113,3 m³/s registrado el 17 de diciembre, datos que corresponden a las épocas lluviosas de cada año.

- En el modelamiento hidrológico para el año 1991 el caudal máximo se registró el 28 de junio 0,1 m³/s, mientras que el caudal máximo para el año 2010 fue de 0,7 m³/s registrado el 11 de enero, datos que corresponden a las épocas secas de cada año.
- En la cuenca alta del río Apuela en el período 1991 – 2010, existieron disminuciones de la cobertura vegetal boscosa en un 16% y un aumento en el caudal de 39,5 m³/s y 0,6 m³/s correspondiente a las épocas lluviosa y seca respectivamente, lo que indica que existe una incidencia directa a corto plazo en el aumento del caudal máximo en el punto de salida de la cuenca.
- En la cuenca alta del río Apuela en el período 1991 – 2010, existió un aumento en la cobertura vegetal de páramo en un 3%, esto se debe a que se realizaron capacitaciones de concienciación a la población sobre la protección de los ecosistemas de páramo con enfoque de conservación.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda emplear el modelo hidrológico usado en el presente trabajo en base al análisis multitemporal de la cobertura vegetal para cuencas y microcuencas pluviales montañosas.
- Los resultados obtenidos pueden ser empleados para fortalecer el Plan de Manejo de la Reserva Ecológica, especialmente los recursos hídricos de las microcuencas de la parte alta.
- Se recomienda aplicar la metodología de análisis multitemporal mediante la combinación de la banda del infrarrojo cercano y las bandas del espectro visible, ya que se determinó que las coberturas de páramo, bosque nativo y matorral tienen mayor reflectancia en el infrarrojo; en el caso de mosaicos agropecuarios y pastizales hay una confusión en la combinación de colores por lo que se recomienda utilizar imágenes con mayor resolución espectral.
- El software de modelamiento hidrológico HEC-HMS reportó valores de caudales máximos que pueden ser empleados en la fase de construcción del Proyecto Multipropósito Piñán de la SENAGUA, el mismo que proveerá de agua para consumo humano y riego a los cantones de Cotacachi (riego) y Urcuquí (consumo humano y riego).
- Se recomienda a los GADs parroquiales rurales de Apuela e Imantag incorporar los resultados obtenidos en el presente estudio en las futuras actualizaciones de los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDyOT).
- Las microcuencas de la parte alta de la RECC, al estar cubiertas mayormente de vegetación de páramo, son áreas productoras de agua; por lo que se recomienda mejorar la vigilancia por parte de los guardaparques de la Reserva Ecológica para evitar las actividades extractivistas generadas con los cambios de uso del suelo sobre los recursos del páramo y bosque.

5.3 BIBLIOGRAFÍA CITADA

- ACUÑA, E. 2005. Clasificación no supervisada de bosques y análisis multitemporal sobre imágenes de satélite en el área de influencia de la CAS. Consejo Agropecuario del Sur. San Gil.
- AGENDA 21 IMBABURA; G.P.I. 2005. Plan de desarrollo local sostenible para la provincia de Imbabura. Imbabura – Ecuador
- AGRELO, A. 2009. Metodologías participativas para el desarrollo local
- BELTRÁN C., POZO G., 2010, Zonificación ecológica-económica y propuestas de gestión integral de los recursos naturales del cantón Ibarra, Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales.
- CALVOPIÑA, J; IZURIETA, X.; MANOSALVAS, R.; ULLOA, E. 1994. Plan de Manejo del Bosque y Vegetación Protectores “Montañas de Mindo y Cordillera de Nambillo”. Quito – Ecuador.
- CAÑADAS, L 1983. Mapa Bioclimático del Ecuador. Quito Ecuador.
- CEPAL. 2001. (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). Plan de acción regional de América Latina y el Caribe sobre asentamientos humanos, Versión actualizada, (LC/G.2143). Santiago, CH. CEPAL.
- CHALLENGER, A. 2003. Estrategias para la conservación de los ecosistemas. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Quito. Cap ii
- CHUVIECO, 1986: Fundamentos de teledetección espacial – análisis visual multiestacional de la ocupación del suelo en Madrid.
- DFC. 1999. (Desarrollo Forestal campesino) Manejo de Bosques Nativos Andinos: metodología para la planificación participativa. Proyecto de Desarrollo Forestal Campesino INEFAN-FAO-Gobierno de los Países Bajos. Quito.

- FEMP - FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE MUNICIPIOS Y PROVINCIAS. Sin fecha. Código de Buenas Prácticas Ambientales. Distribuido por Internet en el sitio web: <http://www.femp.es/life/html/docums01.html>
- FONSALCI, 2005. Fondo de Salvamento del Patrimonio Cultural del Cantón Ibarra
- GUÍA DE PLANTAS DEL SENDERO IMBABURA, 2008.
- HOFSTEDE, R.G.M. 2001. El impacto de las actividades humanas en el páramo. Pp. 161-185 En: Mena, P., G. Medina & R.G.M. Hofstede (eds.). Los Páramos del Ecuador. Proyecto Páramo y Abya Yala, Quito.
- INFOPLAN 1999. Información para el desarrollo Oficina de Planificación de la Presidencia ODEPLAN. Quito.
- IÑIGUEZ, V. 2003. Balance hídrico de microcuencas de páramo. Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Cuenca.
- KRAMER & GARCÍA, 2003. Educación Ambiental Para El Desarrollo Sostenible de Sudamerica.
- LUTEYN J.L. 1999. Páramos: a checklist of plant diversity, geographical distribution, and botanical literature. *Memoirs of the New York Botanical Garden* 84.
- MAE, 2003. Memorias del primer congreso Nacional de Áreas Protegidas.
- MAE, 2007. Plan de Manejo de la Reserva Ecológica Cotacachi-Cayapas. Antecedentes. Quito-Ecuador. Pág. 1.
- MARTINEZ, P. 2006. Desarrollo Rural Sostenible. Editorial Mc Graw Hill 7.
- MARTÍNEZ D. 2009. Guía técnica para la elaboración de planes de manejo ambiental. Bogotá D.C.
- MEDINA G. & MENA P. 2001. Los Páramos en el Ecuador.

- MENA P. (En esta publicación). El estado de salud de los páramos en el Ecuador: una aproximación conceptual.
- ORTIZ, P. 2002. Visiones Comunitarias, Uso del Espacio y Manejo RR.NN. Amazonía Ecuatoriana. Cap ii
- PABÓN, G. 2006. Valoración de bienes y servicios ambientales de los bosques andinos “Aprendamos a conservar nuestros bosques andinos”. Proyecto BABONA-FOSTER / ECOPAR. Quito.
- RAMOS, A. 1993. ¿Por qué la conservación de la naturaleza? Real academia de ciencias exactas, físicas y naturales. Madrid.
- SALVATIERRA, C. 2000. Análisis de la cobertura vegetal y el uso de la tierra con el uso de sensores remotos en la Mojana, Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- SUÁREZ, Mario, 2011, Interaprendizaje de Estadística Básica
- UNESCO. 1982. Declaración de Mondiacult. Conferencia Mundial sobre políticas culturales. México D.F.

5.4. ANEXOS

ANEXO 1. MODELO DE ENCUESTA APLICADA

FECHA:
↓
HORA:
↓
COMUNIDAD:
↓
1.-DEMOGRAFÍA
↓
A) ¿Cuántas personas viven en su casa?
↓
Total.....
↓
B) ¿Cuántos hombres y cuántas mujeres viven en su casa?
↓
Hombres.....
↓
Mujeres.....
↓
C) ¿Cuáles son las edades de los miembros de su casa?
↓
De 0 a 5.....De 6 a 12.....De 12 a 20.....
↓
De 21 a 40.....De 41 a 60.....Mayores de 61.....
↓
D) ¿Algún familiar a salido a vivir en otro lugar?
↓
.....
↓
2.-EMPLEO
↓
A) ¿A que se dedican las personas que viven en este hogar? enumere los tipos de empleo que desempeñan:
↓
.....
↓
B) ¿Cuánto dinero gasta usted al mes en su casa?
↓
Total.....
↓
C) ¿Cuánto dinero ingresa mensualmente a su casa?
↓
Total.....
↓
3.-INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS BÁSICOS
↓
A) ¿De qué tipo es el agua que usan en su casa?
↓
Potable.....→ → Entubada.....→ → Acequia.....→ → Vertiente.....
↓
Otra.....
↓
B) ¿Usted de que calidad considera el agua que usa en su casa?
↓
Buena.....→ → Mala.....
↓
¿Porque?.....

FECHA:.....

↓

HORA:.....

↓

COMUNIDAD:.....

C) ¿Con que servicios básicos cuenta su casa?

↓

Energía eléctrica.....→ Recolección de Basura.....→ Teléfono.....

Alcantarillado.....→ Otros.....

↓

4.- EDUCACION

↓

A) ¿Qué tipos de centros de enseñanza existen en su comunidad?

↓

Guardería (-) → Jardín (-) → → Escuela (-) → → Colegio (-)

↓

B) ¿De qué calidad considera la educación en su comunidad?

↓

Buena (-) → → Regular (-) → → Mala (-)

↓

5.- SALUD

↓

A) ¿CUALES SON LAS ENFERMEDADES MÁS FRECUENTES EN SU CASA, EN EL ÚLTIMO AÑO?

↓

Enumere:.....

↓

.....

↓

6.- VIVIENDA

↓

A) TIPO: (ENCUESTADOR)

↓

Bloque.....→ → Ladrillo.....→ → Tierra.....

↓

Otro.....

↓

7.- DISTRIBUCIÓN Y TENENCIA DE LA TIERRA

↓

A) ¿TIENE TIERRAS? (HUERTAS) SI.....(CUANTAS HA) → NO.....

↓

.....

↓

ANEXO 2. FICHA DE EVALUACIÓN ECOLÓGICA RÁPIDA

FICHA DE EVALUACIÓN ECOLÓGICA RÁPIDA

FORMULARIO No. 1	No. SITIO	1
------------------	-----------	---

DESCRIPCIÓN

Investigador: Dany Felipe Andrade Ruiz **Fecha:**
Cantón: Cotacachi **Parroquia:** Imantag **Sector:** Piñán
Coor X 786558 **Coor Y** 10057550 **Altitud:** 3139

Perfil topográfico	Pendiente general	Humedad	Sistema Ecológico	Fisonomía	Altura de Cobertura
Tope montaña	plano: 0-5%	seco	terrestre	bosque	> 25 m
Altiplanicie	L. od: 5-12%	medio	lacustre	arbustal	15-25 m
Pie de monte	ond: 12-25%	húmedo	palustre	herbazal	6-15 m
Llanura	mon: 25-50%	saturado	ripario	c. antrópica	2-6 m
Otros:	mm: 50-70% esc: >70%	inundado	subterráneo		< 2 m

Comentarios:

la vegetación predominante de este sitio es el pajonal, existe pequeños remanentes de arbustos
 fauna observada: quilico, conejo

Anexo



FICHA DE EVALUACIÓN ECOLÓGICA RÁPIDA

FORMULARIO No. 2	No. SITIO 1
------------------	-------------

INVENTARIO DE FLORA

Nombre Vulgar	Nombre Científico	Árbol	Arbusto	Pastos	Epífitas
Mortiño	<i>Vaccinium floribunda</i>		x		
Moridera	<i>Pernettya prostrata</i>		x		
Pacunga	<i>Bidens andicola</i>			x	
Achicoria	<i>Hypochaeris sonchoides</i>			x	
Achupalla	<i>Puya hamata</i>			x	
Pajonal	<i>Calamagrostis intermedia</i>			x	
Cacho venado	<i>Halenia weddeliana</i>			x	
Ashpa chocho	<i>Lupinus pubescens</i>			x	
Candelilla	<i>Castilleja fussifolia</i>			x	
Aya ramos	<i>Orthrosanthus chiboracensis</i>			x	

FICHA DE EVALUACIÓN ECOLÓGICA RÁPIDA

FORMULARIO No. 3

No. SITIO

1

Características generales

Estado sucesional de la comunidad	x			
Número de estratos	uno	dos	tres	
Estacionalidad de la vegetación	siem. verde	semidecíduo	decíduo	
Presencia de epífitas	abundante	presente	escasa	ausente
Presencia de musgos	abundante	presente	escasa	ausente
Presencia de bejucos y lianas	abundante	presente	escasa	ausente

Densidad de la cobertura	Presencia de claros	Porcentaje de suelos desnudos	Tipo superficie sin vegetación	Drenaje	Erosión
denso	abundante	alto	piedras	muy pobre	no visible
medio	presente	medio	humus	pobre	p. erosionado
ralo	escasa	bajo	roca	moderado	erosionado
	ausente		madera	bien drenado	muy erosionado
			agua		

Tipo de roca	Textura del suelo	Rocosidad	Color del suelo	Profundidad capa humus	Otras características
ígneas	arcilla	sin rocas	gris oscuro	media	
metamórficas	limo	< 2 %			
sedimentarias	arena	2-10 %			
no consolidadas	arcillo-arenosa	10-28 %			
ausente	arcillo-limosa	28-50 %			
	otra	50-90 %			
		> 90 %			

Vientos extraord. S N Nubosidad media

Neblina ninguno Temperatura 11 °C

Estructura de la vegetación y dominancia

Coloque una X en el cuadro apropiado para indicar la densidad de la vegetación para cada estrato de árboles, para arbustos y pastos. Además, escriba las especies dominantes para cada estrato.

Densidad	Árboles (altura en metros)												Arbustos		Pastos		
	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	2-5	1-2	0,5-1	>0,5	
Densa																	
Algo abierta																	
Abierta																	
Muy abierta																	
Rala																	

FICHA DE EVALUACIÓN ECOLÓGICA RÁPIDA

FORMULARIO No. 4	No. SITIO	1
------------------	-----------	---

INVENTARIO DE FAUNA

Nombre Vulgar	Nombre Científico	Hora	Número	Identificación	
Lobo	<i>Lycalopex culpaeus</i>			E. visual	
conejo	<i>Sylvilagus brasiliensis</i>			E. visual	
Cóndor	<i>Vultur gryphus</i>			encuesta	
Quilico	<i>Falco sparverius</i>			E. visual	

FICHA DE EVALUACIÓN ECOLÓGICA RÁPIDA

FORMULARIO No. 1	No. SITIO	2
------------------	-----------	---

DESCRIPCIÓN

Investigador:	Dany Felipe Andrade Ruiz	Fecha:	
Cantón:	Cotacachi	Parroquia:	Apuela
Sector:	Vía Guananí		
Coor X	787208	Coor Y	10052955
Altitud:	3087		

Perfil topográfico	Pendiente general	Humedad	Sistema Ecológico	Fisonomía	Altura de Cobertura
Tope montaña	plano: 0-5%	seco	terrestre	bosque	> 25 m
Altiplanicie	L. od: 5-12%	medio	lacustre	arbustal	15-25 m
Pie de monte	ond: 12-25%	húmedo	palustre	herbazal	6-15 m
Llanura	mon: 25-50%	saturado	ripario	c. antrópica	2-6 m
Otros:	mm: 50-70%	inundado	subterráneo		< 2 m
	esc: >70%				

Comentarios:

Existe gran cantidad de vegetación arbustiva y pastizales
fauna observada: mirlo, quilico, conejo, ratón campestre

Anexo



FICHA DE EVALUACIÓN ECOLÓGICA RÁPIDA

FORMULARIO No. 2

No. SITIO

2

INVENTARIO DE FLORA

Nombre Vulgar	Nombre Científico	Árbol	Arbusto	Pastos	Epífitas
Veneno de perro	<i>Bomarea multiflora</i>		x		
Chilca	<i>Baccharis arbutifolia</i>		x		
Mosquera	<i>Croton wagneri</i>		x		
Romerillo	<i>Hypericum laricifolium</i>		x		
Shanshi	<i>Coriaria ruscifolia</i>		x		
Mortiño	<i>Vaccinium floribunda</i>		x		
Moridera	<i>Pernettya prostrata</i>		x		
Pacunga	<i>Bidens andicola</i>			x	
Achicoria	<i>Hypochaeris sonchoides</i>			x	
Achupalla	<i>Puya hamata</i>			x	
Pajonal	<i>Calamagrostis intermedia</i>			x	

FICHA DE EVALUACIÓN ECOLÓGICA RÁPIDA

FORMULARIO No. 3

No. SITIO

2

Características generales

Estado sucesional de la comunidad	x			
Número de estratos	uno	dos	tres	
Estacionalidad de la vegetación	siem. verde	semidecíduo	decíduo	
Presencia de epífitas	abundante	presente	escasa	ausente
Presencia de musgos	abundante	presente	escasa	ausente
Presencia de bejucos y lianas	abundante	presente	escasa	ausente

Densidad de la cobertura	Presencia de claros	Porcentaje de suelos desnudos	Tipo superficie sin vegetación	Drenaje	Erosión
denso	abundante	alto	pedras	muy pobre	no visible
medio	presente	medio	humus	pobre	p. erosionado
ralo	escasa	bajo	roca	moderaro	erosionado
	ausente		madera	bien drenado	muy erosionado
			agua		

Tipo de roca	Textura del suelo	Rocosidad	Color del suelo	Profundidad capa humus	Otras características
igneo	arcilla	sin rocas	amarillento	media	
metamórfica	limo	< 2 %			
sedimentaria	arena	2-10 %			
no consolidada	arcillo-arenosa	10-28 %			
ausente	arcillo-limosa	28-50 %			
	otra	50-90 %			
		> 90 %			

Vientos extraord. **S** N Nubosidad media

Neblina ninguno Temperatura 13 °C

Estructura de la vegetación y dominancia

Coloque una X en el cuadro apropiado para indicar la densidad de la vegetación para cada estrato de árboles, para arbustos y pastos. Además, escriba las especies dominantes para cada estrato.

Densidad	Árboles (altura en metros)												Arbustos		Pastos		
	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	2-5	1-2	0,5-1	>0,5	
Densa																	
Algo abierta																	
Abierta																	
Muy abierta																	
Rala																	

FICHA DE EVALUACIÓN ECOLÓGICA RÁPIDA

FORMULARIO No. 4

No. SITIO

2

INVENTARIO DE FAUNA

Nombre Vulgar	Nombre Científico	Hora	Número	Identificación	
Lobo	<i>Lycalopex culpaeus</i>			encuesta	
conejo	<i>Sylvilagus brasiliensis</i>			encuesta	
Avefría andina	<i>Vanellus resplendens</i>			E. Visual	volando
Cóndor	<i>Vultur gryphus</i>			E. Visual	volando

FICHA DE EVALUACIÓN ECOLÓGICA RÁPIDA

FORMULARIO No. 1	No. SITIO	3
------------------	-----------	---

DESCRIPCIÓN

Investigador:	Dany Felipe Andrade Ruiz		Fecha:		
Cantón:	Cotacachi	Parroquia:	Apuela	Sector:	Irubí
Coor X	786928	Coor Y	10046767	Altitud:	2147

Perfil topográfico	Pendiente general	Humedad	Sistema Ecológico	Fisonomía	Altura de Cobertura
Tope montaña	plano: 0-5%	seco	terrestre	bosque	> 25 m
Altiplanicie	L. od: 5-12%	medio	lacustre	arbustal	15-25 m
Pie de monte	ond: 12-25%	húmedo	palustre	herbazal	6-15 m
Llanura	mon: 25-50%	saturado	ripario	c. antrópica	2-6 m
Otros:	mm: 50-70%	inundado	subterráneo		< 2 m
	esc: >70%				

Comentarios:

Existe gran cantidad de vegetación arbustiva, además pastizales y cultivos de ciclo corto
fauna observada: mirlo

Anexo



FICHA DE EVALUACIÓN ECOLÓGICA RÁPIDA

FORMULARIO No. 2

No. SITIO

3

INVENTARIO DE FLORA

Nombre Vulgar	Nombre Científico	Árbol	Arbusto	Pastos	Epífitas
Veneno de perro	<i>Bomarea multiflora</i>		x		
Chilca	<i>Baccharis arbutifolia</i>		x		
Shanshi	<i>Coriaria ruscifolia</i>		x		
Pacunga	<i>Bidens andicola</i>			x	
Pajonal	<i>Calamagrostis intermedia</i>			x	
Maíz	<i>Zea mais</i>			x	
Fréjol	<i>Phaseolus vulgaris</i>			x	

FICHA DE EVALUACIÓN ECOLÓGICA RÁPIDA

FORMULARIO No. 3	No. SITIO	3
------------------	-----------	---

Características generales

Estado sucesional de la comunidad	x			
Número de estratos	uno	dos	tres	
Estacionalidad de la vegetación	siem. verde	semideciduo	deciduo	
Presencia de epífitas	abundante	presente	escasa	ausente
Presencia de musgos	abundante	presente	escasa	ausente
Presencia de bejucos y lianas	abundante	presente	escasa	ausente

Densidad de la cobertura	Presencia de claros	Porcentaje de suelos desnudos	Tipo superficie sin vegetación	Drenaje	Erosión
denso	abundante	alto	piedras	muy pobre	no visible
medio	presente	medio	humus	pobre	p. erosionado
ralo	escasa	bajo	roca	moderado	erosionado
	ausente		madera	bien drenado	muy erosionado
			agua		

Tipo de roca	Textura del suelo	Rocosidad	Color del suelo	Profundidad capa humus	Otras características
ígneas	arcilla	sin rocas	amarillento	baja	
metamórficas	limo	< 2 %			
sedimentarias	arena	2-10 %			
no consolidada	arcillo-arenosa	10-28 %			
ausente	arcillo-limosa	28-50 %			
	otra	50-90 %			
		> 90 %			

Vientos extraord. S N Nubosidad media
 Neblina ninguno Temperatura 13 °C

Estructura de la vegetación y dominancia

Coloque una X en el cuadro apropiado para indicar la densidad de la vegetación para cada estrato de árboles, para arbustos y pastos. Además, escriba las especies dominantes para cada estrato.

Densidad	Árboles (altura en metros)												Arbustos		Pastos		
	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	2-5	1-2	0,5-1	>0,5	
Densa																	
Algo abierta																	
Abierta																	
Muy abierta																	
Rala																	

FICHA DE EVALUACIÓN ECOLÓGICA RÁPIDA

FORMULARIO No. 4

No. SITIO

3

INVENTARIO DE FAUNA

Nombre Vulgar	Nombre Científico	Hora	Número	Identificación	
conejo	<i>Sylvilagus brasiliensis</i>		1	E. visual	
ratón campestre	<i>Akodon mollis</i>		1	E. visual	

ANEXO 3. REGISTRO FOTOGRÁFICO



Foto 1: Deforestación en la parte alta



Foto 2: Toma de datos de caudales



Foto 3: Medición del lecho del río



Foto 4: Lagunas someras



Foto 5: Atractivos turísticos



Foto 6: Acumulación de agua



Foto 7: Almohadillas de páramo



Foto 8: Fuente hídrica



Foto 9: Vía afectada por lluvias

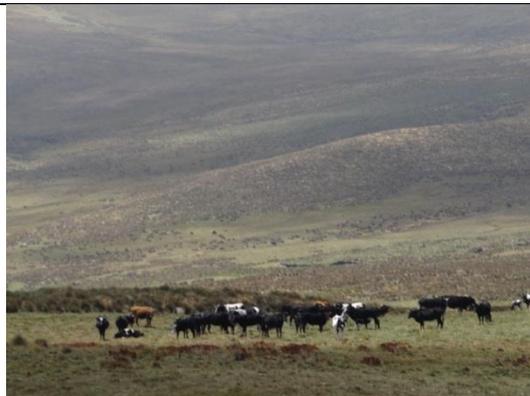


Foto 10: Sobrepastoreo de ganado vacuno



Foto 11: Ubicación de puntos de referencia



Foto 12: Encuestas a la población



Foto 13: Afectación por incendios



Foto 14: Presencia de proyectos nacionales



Foto 15: Medición de caudales



Foto 16: Medición de caudales río Pitura



Foto 17: Medición de caudales río Piñán



Foto 18: Medición de caudales río Manzano

LISTADO CARTOGRÁFICO

ANEXO 4. MAPA DE UBICACIÓN

ANEXO 5. MAPA BASE

ANEXO 6. MAPA HIDROLÓGICO

ANEXO 7. MAPA DE TIPO DE SUELO

ANEXO 8. MAPA DE USO DEL SUELO

ANEXO 9. MAPA DE PENDIENTES

ANEXO 10. MAPA DE ISOTERMAS E ISOYETAS

ANEXO 11. MAPA DE TIPO DE CLIMA

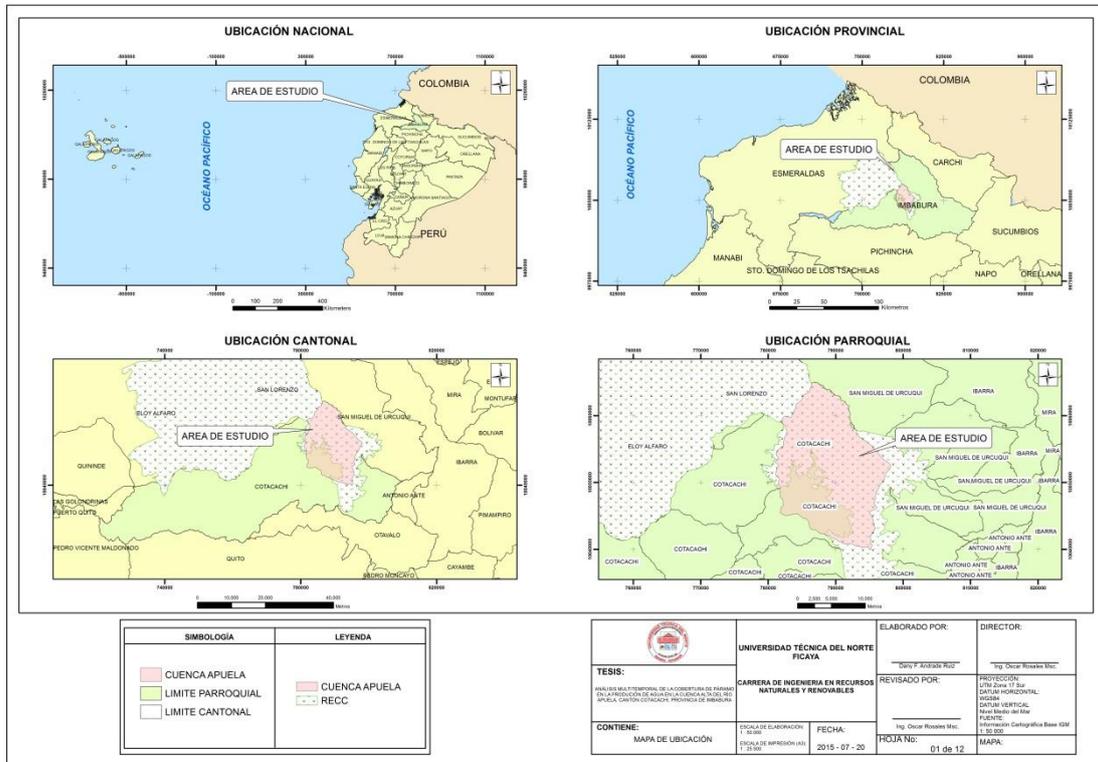
ANEXO 12. MAPA DE ZONAS DE VIDA

ANEXO 13. MAPA DE COBERTURA VEGETAL AÑO 1991

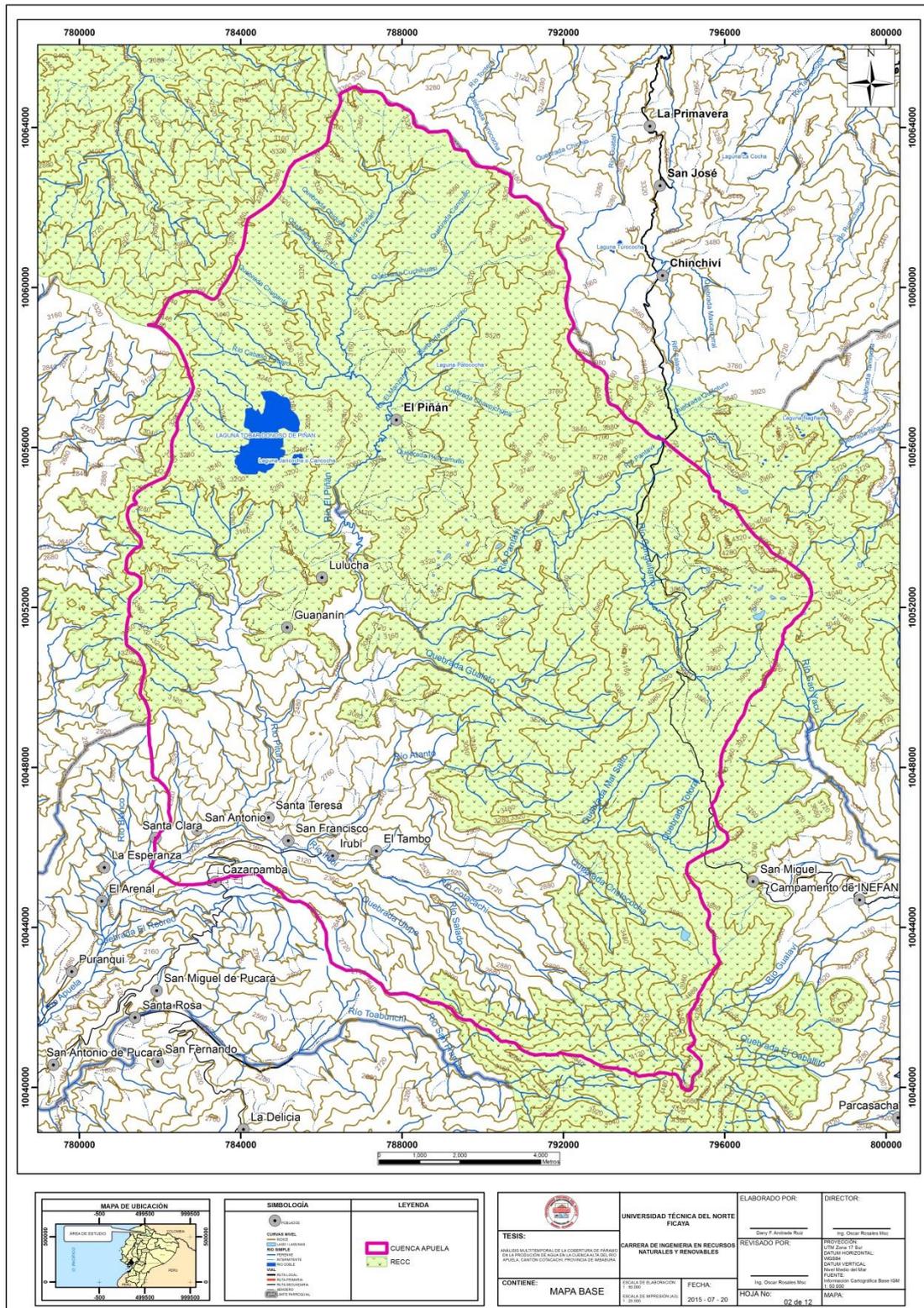
ANEXO 14. MAPA DE COBERTURA VEGETAL AÑO 2010

ANEXO 15. MAPA DE COBERTURA VEGETAL AÑO 2015

ANEXO 4. MAPA DE UBICACIÓN



ANEXO 5. MAPA BASE

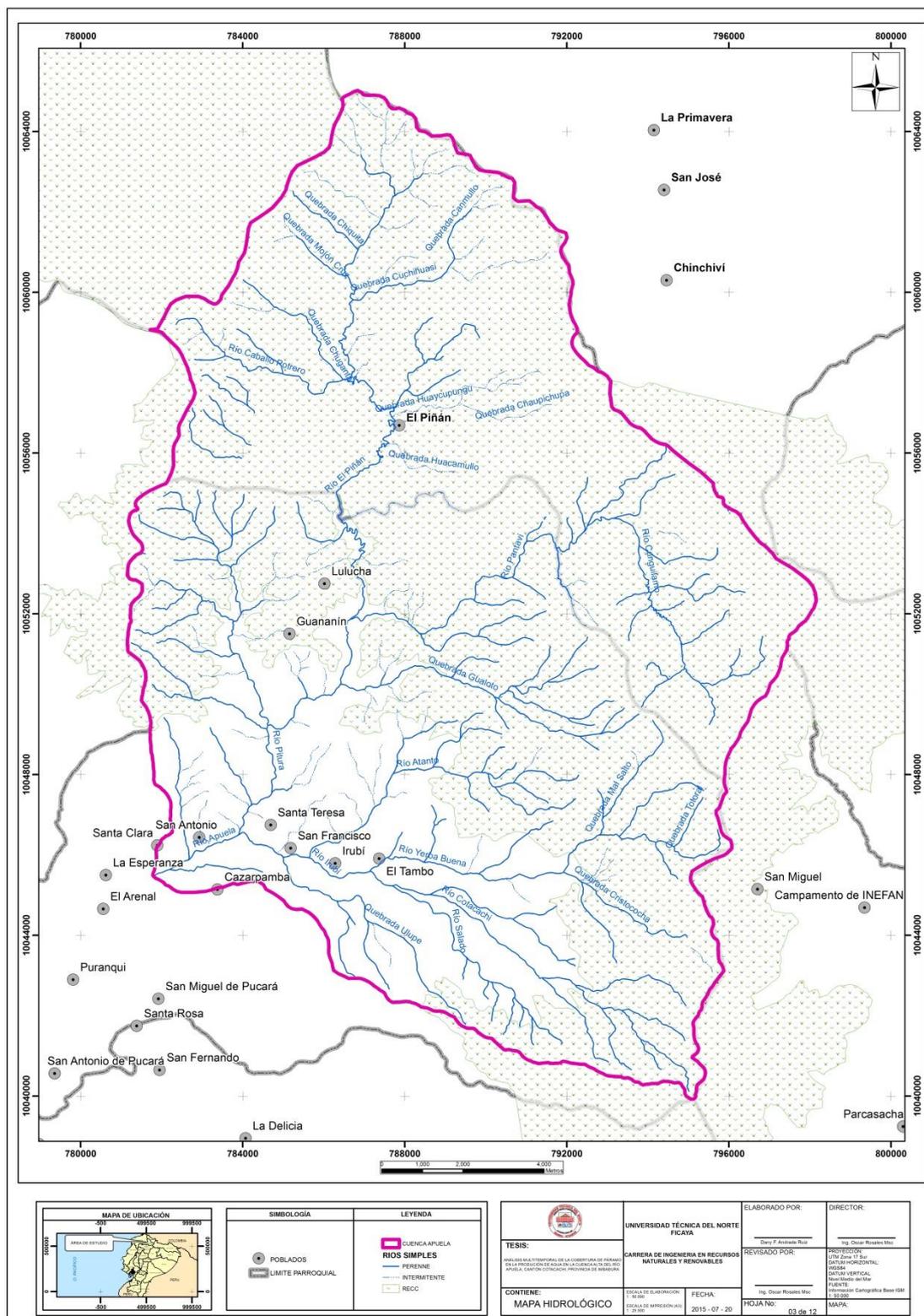


SIMBOLOGÍA	
	CUENCA APUELA
	REC

LEYENDA	
	CUENCA APUELA
	REC

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FICHA	ELABORADO POR:	DIRECTOR:
	Ing. Oscar Rosales Múz Dany F. Andrade Ruiz	Ing. Oscar Rosales Múz
TESIS: ANÁLISIS TÉCNICO DE LA COMERCIALIZACIÓN DE MADERA EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA EN LA CUENCA DE SAN JOSÉ APUELA, CANTÓN CUENCA, PROVINCIA DE COTACACHI	CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES Y RENOVABLES	REVISADO POR: Ing. Oscar Rosales Múz
CONTIENE: MAPA BASE	ESCALA DE ELABORACIÓN: 1:50.000 ESCALA DE IMPRESIÓN AÑO: 1:20.000	FECHA: 2015-07-20 HOJA NO: 02 de 12
		PROTECCIÓN: Zona II B DATUM HORIZONTAL: WGS84 DATUM VERTICAL: Nivel Medio del Mar PUEBLO
		Información Cartográfica Base INM L. 26.000 MAPA

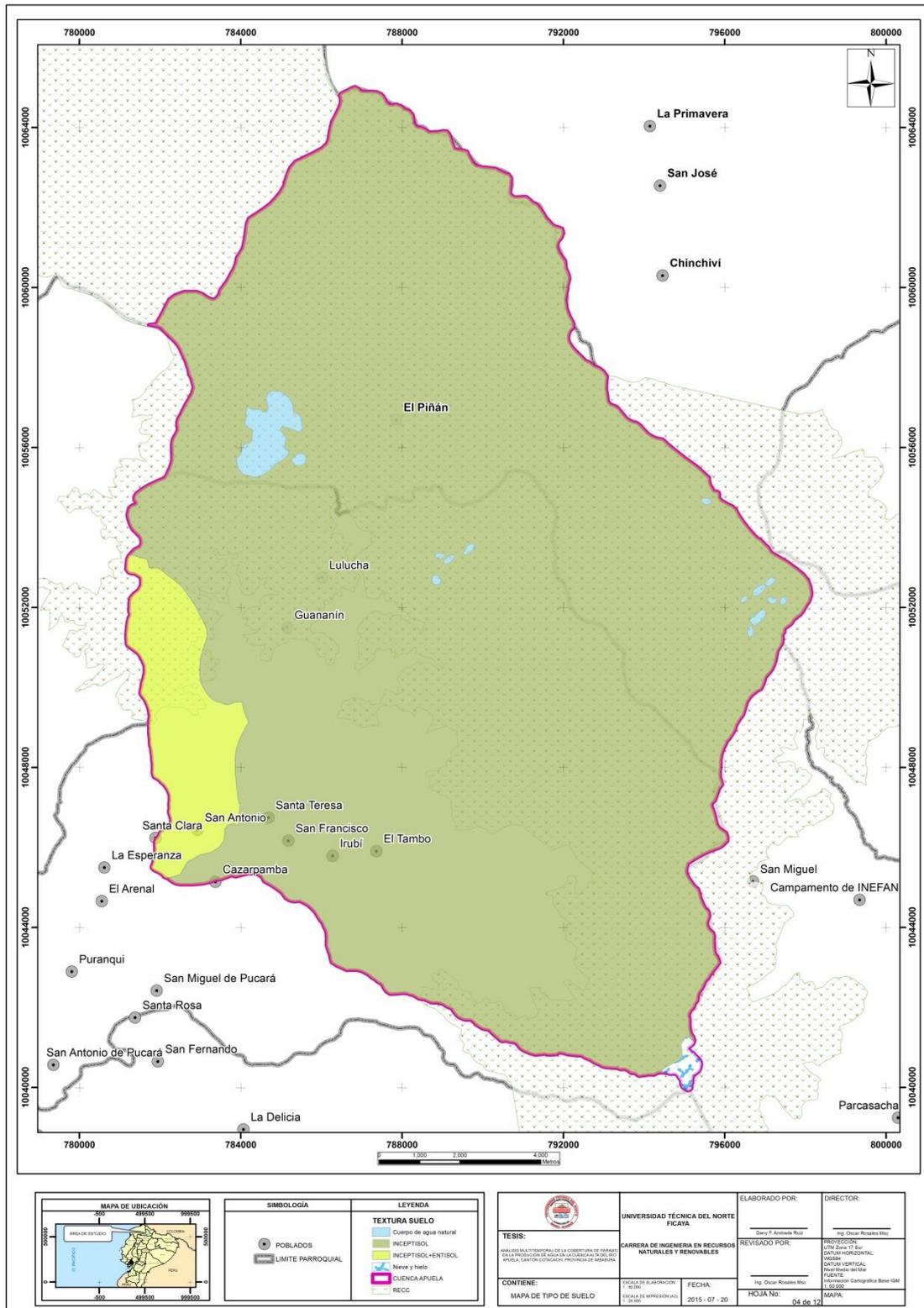
ANEXO 6. MAPA HIDROLÓGICO



SIMBOLOGÍA	LEYENDA
● POBLADOS	■ CUENCA APULEIA
— LIMITE PARROQUIAL	— RIOS SIMPLES
	— PERENENTE
	— INTERMITENTE
	□ RECC

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FICARA	ELABORADO POR: Dey F. Arriola Ruiz	DIRECTOR: Ing. Oscar Rosales Mto.
	TESIS: ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DE NARRÓN EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA EN LA COMUNIDAD DEL RÍO APULEIA, CANTÓN COCHACACHI, PROVINCIA DE BOLÍVAR.	REVISADO POR: Ing. Oscar Rosales Mto.
CONTIENE: MAPA HIDROLÓGICO	ESCALA DE ELABORACIÓN: 1:20.000 ESCALA DE IMPRESIÓN AÑO: 1:20.000	FECHA: 2015-07-20 HOJA NO: 03 de 12
		Información Cartográfica Base IGN L. 36.005 MAPA:

ANEXO 7. MAPA DE TIPO DE SUELO

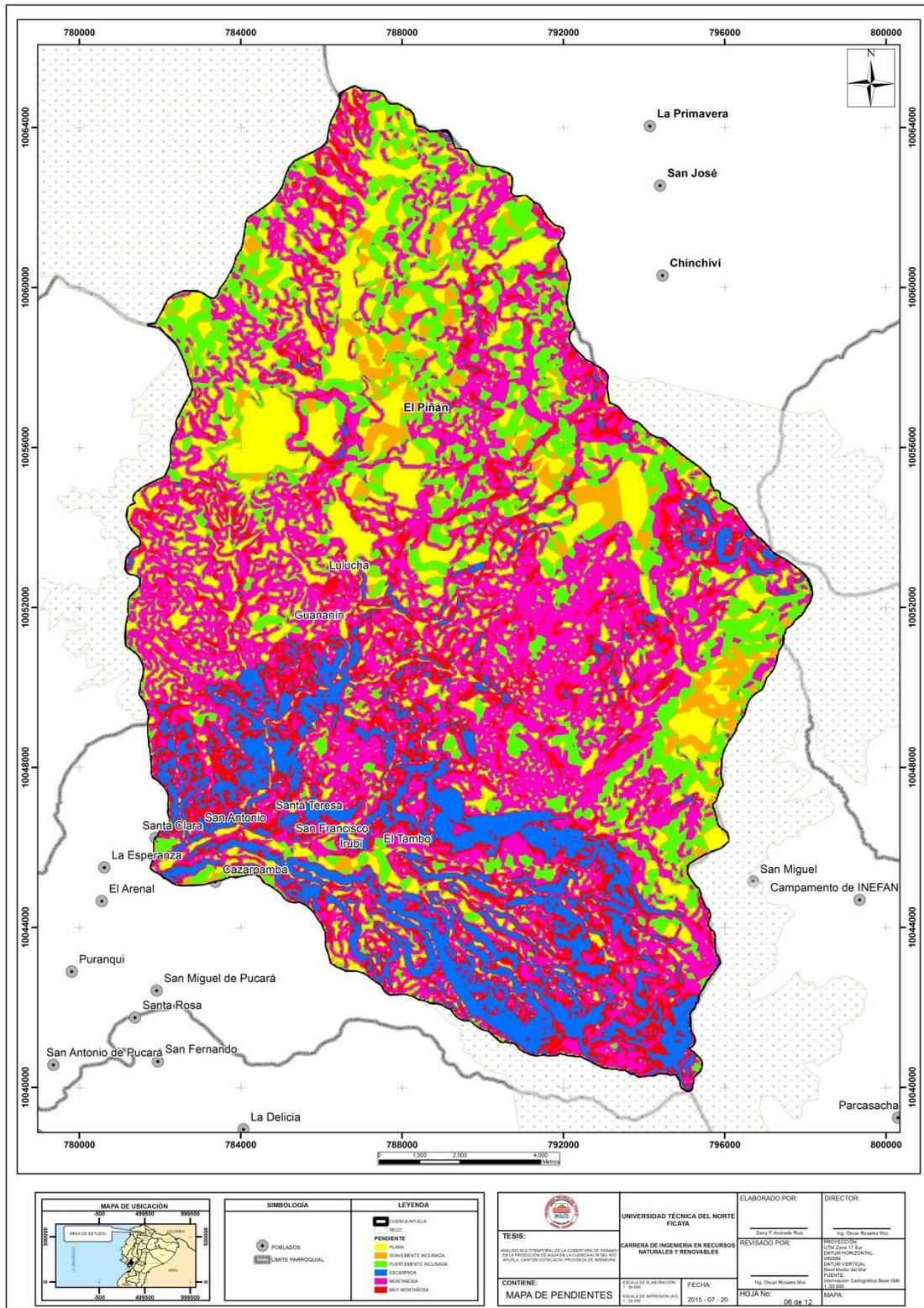


SIMBOLOGÍA	
	POBLADOS
	LIMITE PARROQUIAL

LEYENDA	
	Cuerpo de agua natural
	INCEPTISOL
	INCEPTISOL-ENTISOL
	Nieve y hielo
	CUENCA APUEÑA
	RECC.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FIGARVA	ELABORADO POR:	DIRECTOR:
	TESIS: ANÁLISIS DEL TIPO DE SUELO DE LA CUENCA DE APUEÑA EN LA COMUNIDAD DEL PUEBLO APUEÑA, CANTÓN COTACACHI, PROVINCIA DE BOLÍVAR	Dany F. Arizola Ruiz Ing. Oscar Rosales Múz
CONTIENE: MAPA DE TIPO DE SUELO	ESCALA DE ELABORACIÓN: 1:20.000 ESCALA DE IMPRESIÓN: 1:20.000	FECHA: 2015-07-20
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES Y RENOVABLES		HOJA N°: 04 de 16
PROTECCIÓN: UTM Zona 17 Sur DATUM HORIZONTAL: WGS84 DATUM VERTICAL: Nivel Medio del Mar PUEBLO		MAPA: Información Cartográfica Base IGN L. 28.000

ANEXO 9. MAPA DE PENDIENTES

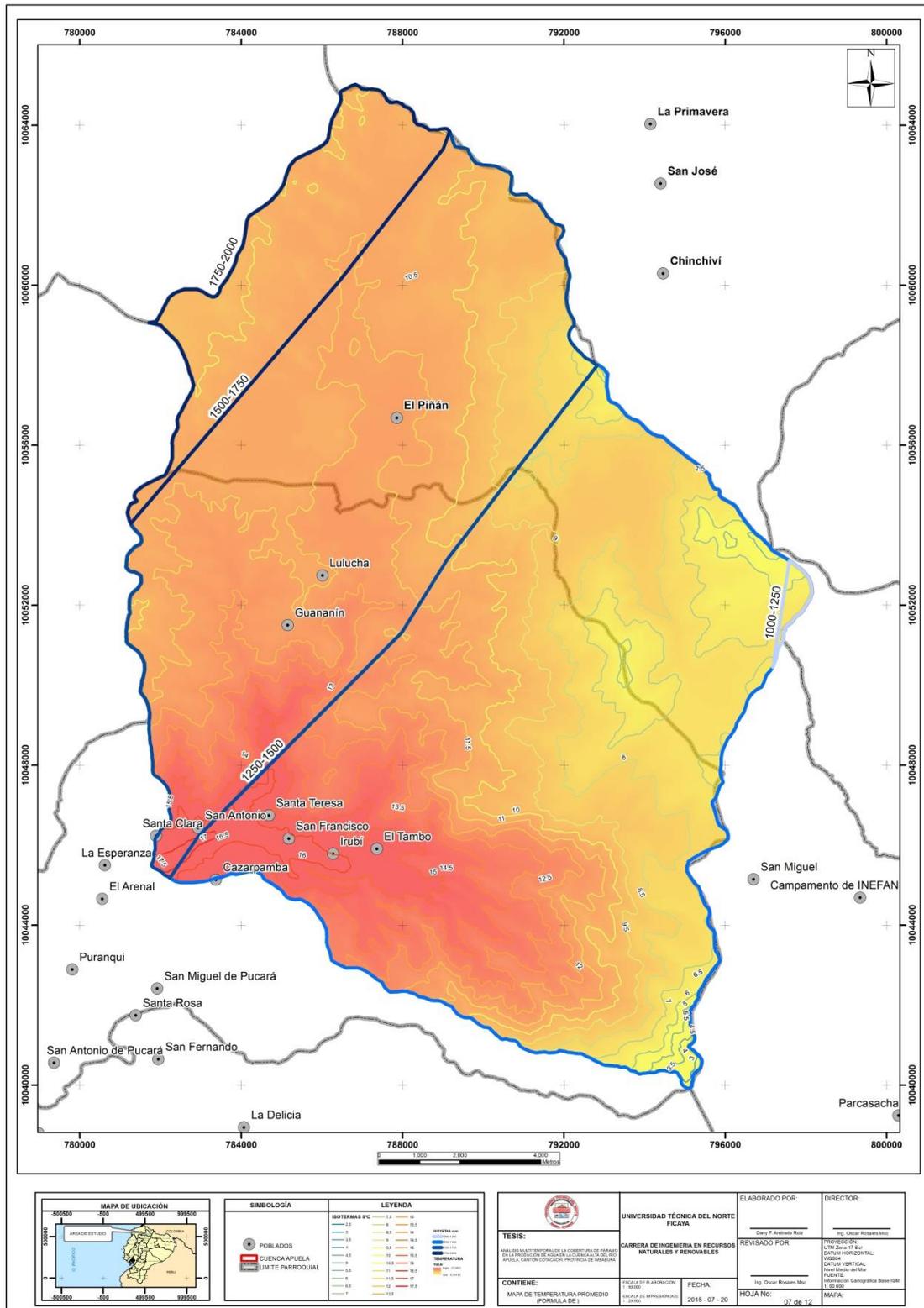


SIMBOLOGÍA	
	POBLADOS
	LÍMITE PARROQUIAL

LEYENDA	
	LÍNEA ARROYAL
	PENDIENTE
	FLUVA
	SUAVEMENTE INCLINADA
	FUERTEMENTE INCLINADA
	ESPERANZA
	MONTEADIA
	MUY MONTEADIA

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FICHA	ELABORADO POR: Dany F. Arriola Ruiz	DIRECTOR: Ing. Oscar Rosales Muz
	REVISADO POR: Ing. Oscar Rosales Muz	PROTECCIÓN: UTM Zona 17 Sur DATUM HORIZONTAL: WGS84 DATUM VERTICAL: Nivel Medio del Mar PUEBLO
CONTIENE: MAPA DE PENDIENTES	ESCALA DE ELABORACIÓN: 1:20.000 ESCALA DE IMPRESIÓN: 1:20.000	FECHA: 2015-07-20
HOJA NO.: 06 de 12		MAPA: Información Cartográfica Base IGN L.28.005

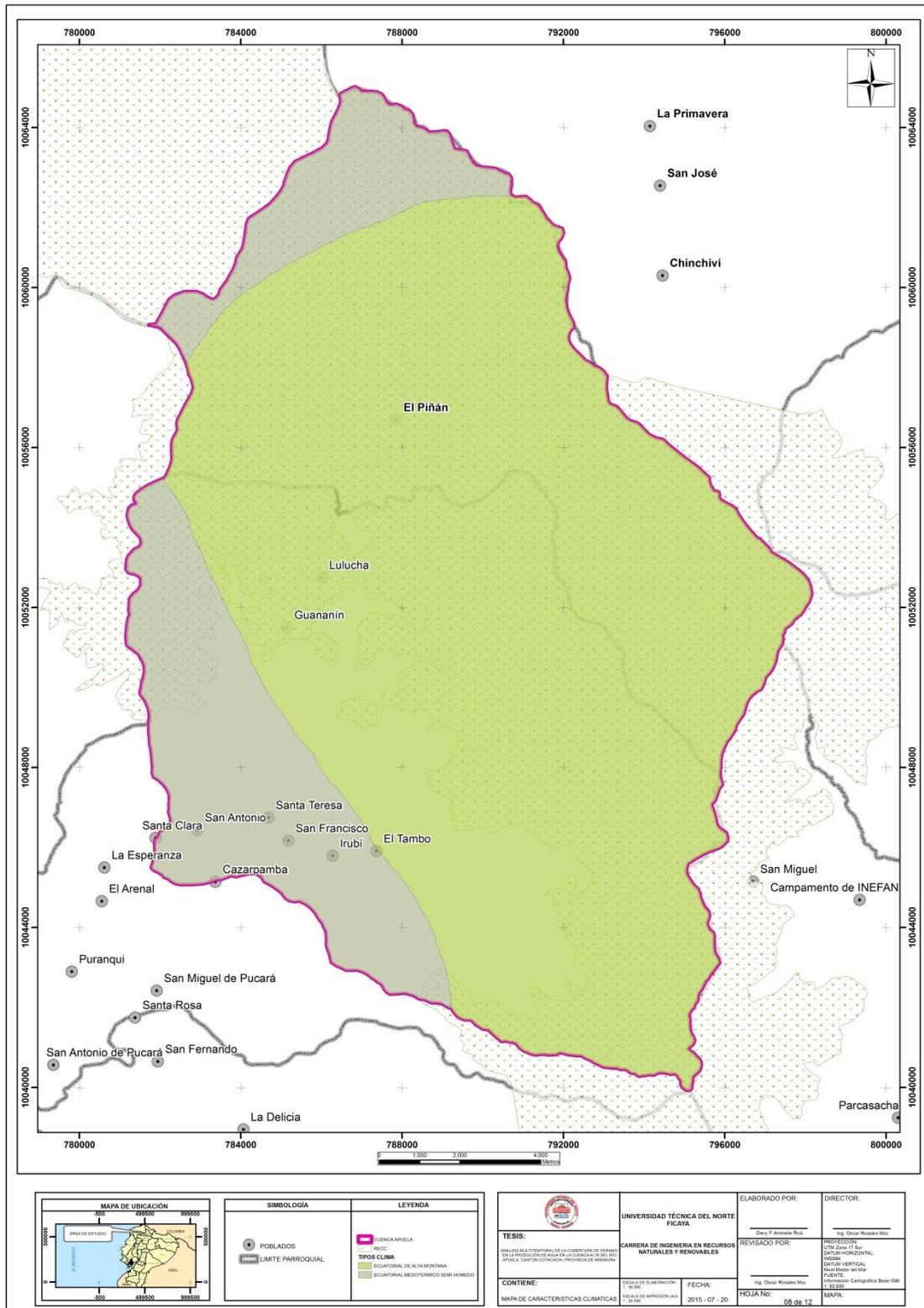
ANEXO 10. MAPA DE ISOTERMAS E ISOYETAS



SIMBOLOGÍA		LEYENDA	
	POBLADOS		1000-1250
	CUENCA APUELA		1250-1500
	LÍMITE PARROQUIAL		1500-1750
			1750-2000
			50
			100
			150
			200
			250
			300
			350
			400
			450
			500
			550
			600
			650
			700
			750
			800
			850
			900
			950
			1000

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FICAY	ELABORADO POR:	DIRECTOR:
	Ing. Oscar Rosales Muz	Ing. Oscar Rosales Muz
TESIS: ANÁLISIS ISOTERMAL DE LA COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO APUELA, ANEXO CATEGORÍA PRODUCCIÓN DE AGUA	REVISADO POR: Ing. Oscar Rosales Muz	PROTECCIÓN: LÍNEA ZONA II B
	CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES Y RENOVABLES	FECHA: 2015-07-20
CONTIENE: MAPA DE TEMPERATURA PROMEDIO (FORMULA DE I)	ESCALA DE ELABORACIÓN: 1:20.000	HOJA NO: 07 de 12
	ESCALA DE IMPRESIÓN AÑO: 1:20.000	MAPA: Información Cartográfica Base IGN L. 28205

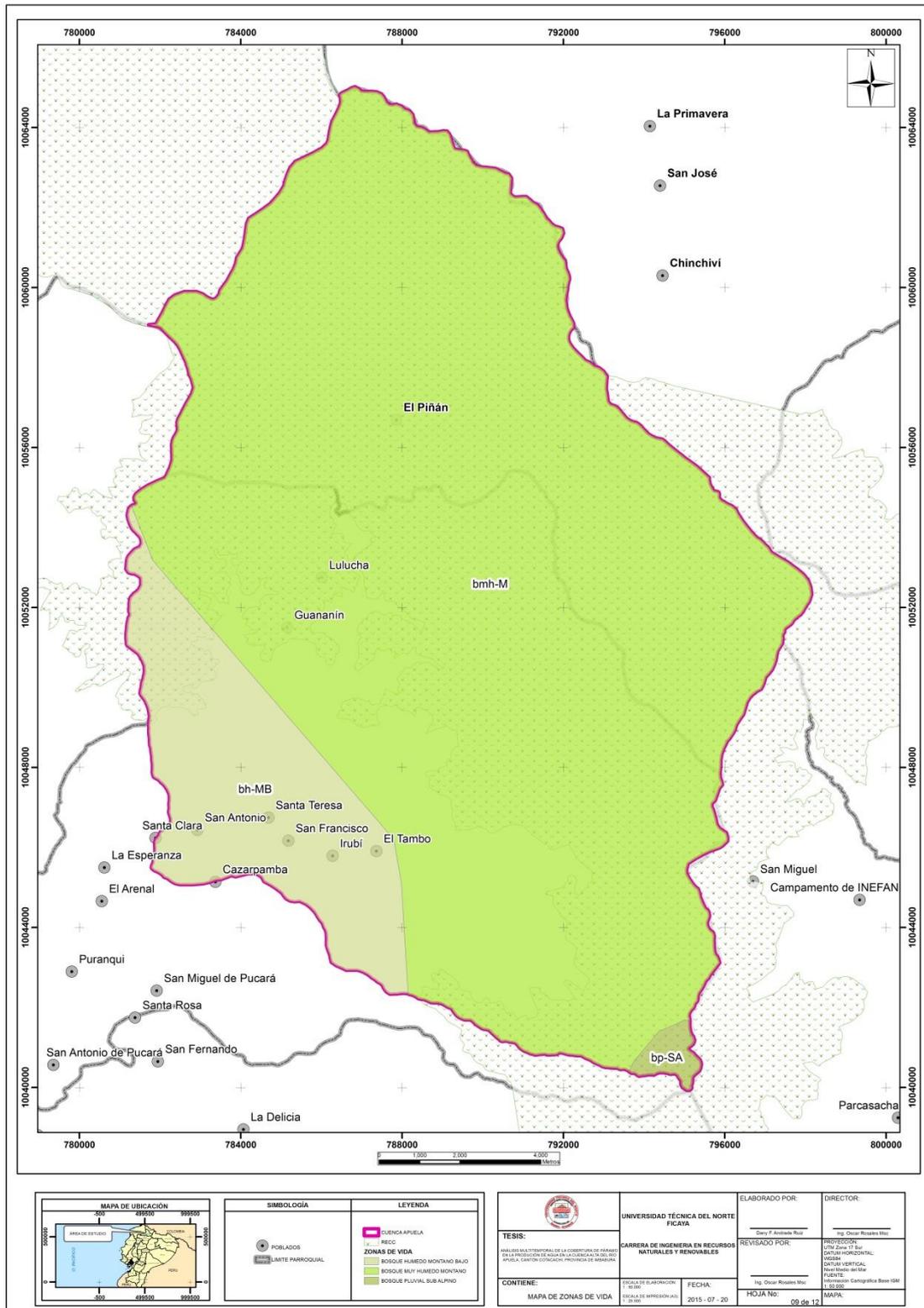
ANEXO 11. MAPA DE TIPO DE CLIMA



SIMBOLOGÍA	LEYENDA
	TIPOS CLIMA
	ECUATORIAL DE ALTA MONTAÑA
	ECUATORIAL INTERTROPICAL SEMI-HÚMEDO

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FICVA CARRERA DE INGENIERIA EN RECURSOS NATURALES Y RENOVABLES	ELABORADO POR: Dany F. Arriola Ruiz	DIRECTOR: Ing. Oscar Rosales Múz
	REVISADO POR: Ing. Oscar Rosales Múz	PROTECCIÓN: Luz Zúñiga DARTUN HORIZONTAL: WGS84 DATUM VERTICAL: Nivel Medio del Mar Punto:
CONTENIDO: MAPA DE CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	ESCALA DE ELABORACIÓN: 1:20.000 ESCALA DE IMPRESIÓN: 1:20.000	FECHA: 2015-07-20 HOJA NO: 08 de 12 MAPA:

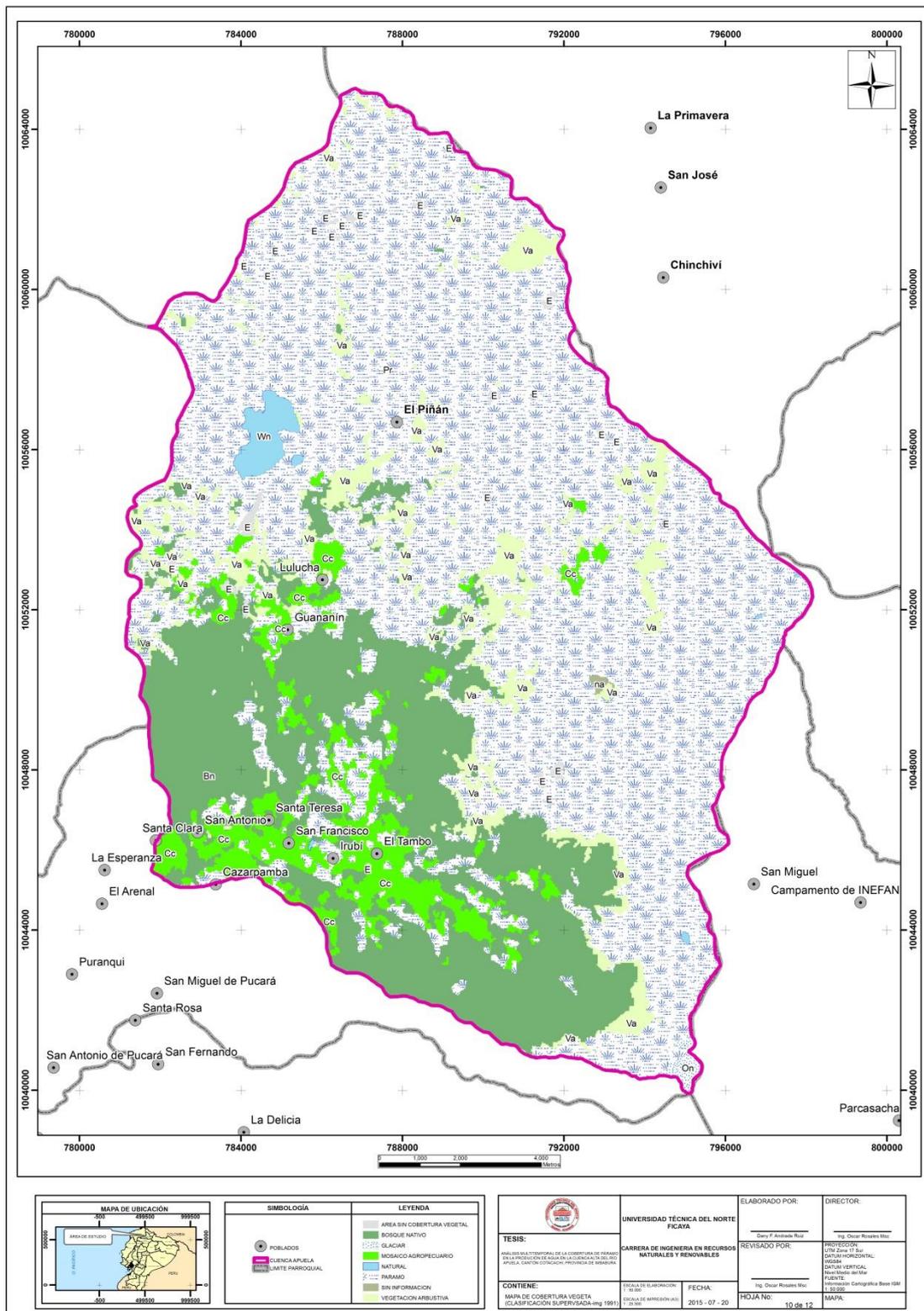
ANEXO 12. MAPA DE ZONAS DE VIDA



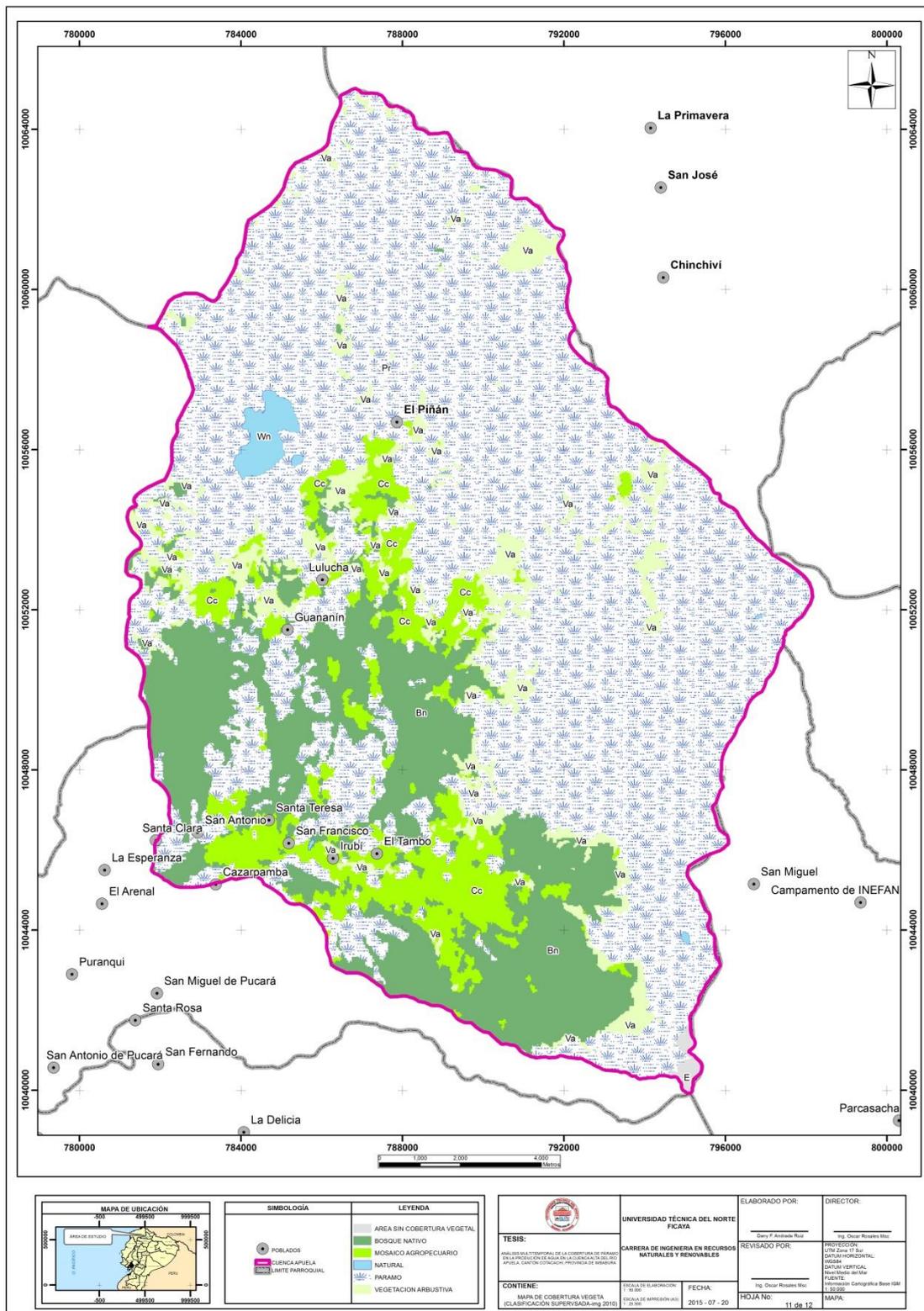
SIMBOLOGÍA	LEYENDA
	CUENCA APURELA
	ZONAS DE VIDA
	BOSQUE HUMEDO MONTANO BAJO
	BOSQUE MUY HUMEDO MONTANO
	BOSQUE FLUVIAL SUB ALPINO

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FICAR CARRERA DE INGENIERIA EN RECURSOS NATURALES Y RENOVABLES	ELABORADO POR: Dany F. Arriola Ruiz	DIRECTOR: Ing. Oscar Rosales Múz
	TESIS: ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE AGUA EN LA COMUNIDAD DEL BARRIO EL PIÑÁN, ANEXO COMUNICACIÓN PRODUCCIÓN DE AGUA	ESCALA DE ELABORACIÓN: 1:20.000	REVISADO POR: Ing. Oscar Rosales Múz
CONTIENE: MAPA DE ZONAS DE VIDA	ESCALA DE IMPRESIÓN: 1:20.000	FECHA: 2015-07-20	HOJA No: 09 de 12

ANEXO 13. MAPA DE COBERTURA VEGETAL AÑO 1991



ANEXO 14. MAPA DE COBERTURA VEGETAL AÑO 2010



ANEXO 15. MAPA DE COBERTURA VEGETAL AÑO 2015

