

628.114
LOP



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

" APLICACION DE SENSORES REMOTOS EN EL ESTUDIO DE
AREAS PROPICIAS PARA LA PROSPECCION DE AGUAS
SUBTERRANEAS EN LA ZONA OCCIDENTAL DE LOJA."

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del Título de:

INGENIERA GEOLOGA

Presentada por:

KATTHY FERNANDA LOPEZ ESCOBAR



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Guayaquil

Ecuador

Año

1998 • 1999

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“APLICACIÓN DE SENSORES REMOTOS EN EL ESTUDIO DE
ÁREAS PROPICIAS PARA LA PROSPECCIÓN DE AGUAS
SUBTERRÁNEAS EN LA ZONA OCCIDENTAL DE LOJA.”**

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del Título de:

INGENIERA GEÓLOGA



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

Presentada por:

KATTHY FERNANDA LÓPEZ ESCOBAR

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO

1.998 – 1.999



TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**



**Ing. Miguel A. Chávez
DECANO DE FICT**



**Ing. Edison Navarrete
DIRECTOR DE TESIS**



**Ing. Jorge Calle
VOCAL**



**Ing. Gaston Proaño.
VOCAL**



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

DEDICATORIA

Dedico todo el esfuerzo de este trabajo, a mi gran Amiga y Madre, Julia I. Escobar, que con su ejemplo de fidelidad y honestidad, me enseñó a perseverar aún en las circunstancias más difíciles. A mi Padre, hombre disciplinado, que me brindó su ayuda en el momento que más la necesite. Y a Mónica, Betty y Héctor López Escobar, que vieron en mi anhelo, su anhelo cumplido.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por haberme permitido conocer en el transcurso de esta ardua tarea a personas capacitadas y humanitarias que colaboraron en el desarrollo de esta tesis de grado.

Al Crnel (R) Jorge Mora, subdirector técnico de CLIRSEN (Centro de Levantamientos de Recursos Naturales por Sensores Remotos), quien de manera desinteresada me demostró su apoyo, facilitándome los equipos necesarios para la realización de esta tesis durante todo el tiempo de mi pasantía en este centro. Al Geólogo Jorge Coloma por el apoyo y ayuda técnica, que supo brindarme, a los técnicos del Departamento de Integrados, que con mucha paciencia supieron compartir sus momentos de labores conmigo. A los Ingenieros Camilo Quiroga y Rodrigo Moreno y al Sr. Joselito Santamaria, quienes sin celo, me compartieron sus valiosos conocimientos. A los señores Héctor Guerra y Luis Reina, que desde el primer momento hicieron grata mi estadía en CLIRSEN y me brindaron su amistad y apoyo desinteresado. Gracias a todo el personal, de esta prestigiosa institución, que hicieron posible este trabajo.

De manera especial, infinitas gracias, al Dr. Kashyapa A.S. Yapa, por impartirme el ánimo en todo momento y creer en mi capacidad, su apoyo fue muy valioso para la culminación de esta tesis.

Estoy segura que Dios sabrá recompensar a cada uno de ustedes toda la ayuda desinteresada que me brindaron.



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente, y el patrimonio Intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL y al CENTRO DE LEVANTAMIENTOS INTEGRADOS DE RECURSOS NATURALES POR SENSORES REMOTOS.

Kathy López Escobar

BIBLIOTECA



**FACULTAD DE ING.
CIENCIAS DE LA TIERRA**

RESUMEN

BIBLIOTECA FICT
ESPOL

La utilización de imágenes de satélite en Ciencias de la Tierra es múltiple y de mucha utilidad, se requiere de mucha experiencia en el campo, combinado con un buen uso de softwares. En geología, variedad de aplicaciones podían ser demostradas, el desarrollo de ésta tesis es destacar esta tecnología y los altos beneficios que ofrece la teledetección en la prospección de aguas subterráneas.

Esta técnica ha sido tomada de una institución a nivel nacional como lo es el Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN), que presta todo tipo de servicios referentes a Imágenes de satélite y el procesamiento temático de estas. Para lo cual cuenta con toda la infraestructura necesaria y los técnicos experimentados en estos procedimientos y procesamientos.

El trabajo consiste en obtener el mapa hidrogeológico de la zona occidental y centro de la provincia de Loja, para esto se realizaron mapas preliminares de permeabilidades primaria y secundaria; obteniendo como resultado las formaciones de mayor permeabilidad, sobre este resultado se ubicó la información referente a la hidrometría (precipitaciones, resistividad del agua de los pozos) y la geomorfología de estas para establecer la infiltración que estas formaciones ofrecen. De esta manera quedan establecidas las zonas (A, B, C, D) posibles a prospectar.

Las Imágenes de satélite, fueron útiles, en esta tesis, para obtener la permeabilidad secundaria, o lineamientos y fallas que afectan el gran área de estudio. Este proceso requirió de gran tiempo de trabajo, todo el necesario para aprender la técnica de el tratamiento y procesamiento de las mismas.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	III
INDICE DE MAPAS.....	VI
INDICE DE TABLAS.....	VII
INDICE DE FIGURAS.....	VIII
INDICE DE FOTOGRAFIAS.....	IX
INTRODUCCIÓN.....	1
1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL AREA DE ESTUDIO	
1.1 Climatología.....	8
1.2 Hidrografía.....	13
1.2.1 Cuenca Puyango.....	13
1.2.2 Cuenca Catamayo.....	14
1.3 Geomorfología.....	16
1.3.1 La Cordillera Occidental.....	16
1.3.2 Estribaciones de la Cordillera Occidental.....	16
1.3.3 Zona Costera.....	18
1.4 Población y Vialidad.....	20

2. PERMEABILIDAD PRIMARIA

2.1 Unidades Litológicas.....	22
2.1.1 Paleozoico.....	22
2.1.2 Mesozoico.....	24
Triásico.....	24
Cretáceo.....	26
2.1.3 Cenozoico.....	30
Terciario	30
Cuaternario.....	42
2.2 Clasificación Litológica por Permeabilidad Primaria.....	45
2.2.1 Permeabilidad primaria Alta.....	46
2.2.2 Permeabilidad primaria Media.....	47
2.2.3 Permeabilidad primaria Baja.....	47
2.2.4 Permeabilidad primaria Nula.....	48

TRATAMIENTO DE IMAGENES DE SATELITE

3.1 Productos de Sensores Remotos.....	50
3.1.1 Selección de Tipo de Imagen.....	53
3.1.2 Soporte.....	53
3.1.3 Selección de escala.....	54
3.1.4 La preparación del mosaico.....	54
3.2 Método de Procesamiento.....	55
3.3 Mapa de lineamientos.....	56

4. PERMEABILIDAD SECUNDARIA

4.1 División estratigráfica del área de estudio.....	59
------------------------------------------------------	----



BIBLIOTECA FICT
ESPOL



FACULTAD DE ING.
EN CIENCIAS DE LA TIERRA

4.2 Analisis del Mapa de permeabilidad secundaria	62
Rocas Metamórficas.....	62
Rocas Plutónicas.....	63
Rocas Volcánicas.....	63
Rocas Sedimentarias.....	64

5. HIDROGEOLOGIA

5.1 Posibles zonas para la prospección de agua subterránea.....	67
5.2 Zonas de Precipitación.....	70
5.3 Geomorfología vs Infiltración.....	72
5.4 Recursos hídricos en explotación en el área de estudio.....	75
5.5 Análisis y reclasificación de área posibles para prospectar.....	78
5.6 Calidad de agua en las áreas posibles para prospectar.....	81

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 Importancia de Permeabilidad Secundaria en la búsqueda de acuíferos.....	83
6.2 Aguas Subterráneas para consumo humano o para riego.....	84
6.3 Ciudades y Poblaciones que se benefician del agua subterránea.....	85
6.4 Areas propicias vs poblaciones.....	85
6.5 Prospección a mayor escala.....	85
6.6 Pozos a perforar para prospección.....	86
6.7 Construcción de galerías de captación.....	87

APENDICES

- A. El Espectro Infrarrojo
- B. Bandas de Imagen de Satelite Landsat-TM 5
- C. Datos de Pozos y Vertientes del área de estudio

BIBLIOGRAFIA



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

INDICE DE MAPAS



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Mapa # 1	Regiones Climáticas de las Cuencas Hidrograficas de Puyango y Catamayo.....	12
Mapa # 2	Cuencas Hidrográficas	15
Mapa # 3	Mapa Geomorfológico.....	19
Mapa # 4	Mapa Geológico.....	44
Mapa # 5	Mapa de Permeabilidad Primaria.....	49
Mapa # 6	Mapa de Lineamientos.....	58
Mapa # 7	Mapa de División Estratigráfica.....	66
Mapa # 8	Mapa de Areas Propicias para la prospección de Aguas Subterráneas.....	82

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Clasificación de las Formaciones de acuerdo al tipo de roca que la caracteriza.....	61
Tabla 2	Clima de las Formaciones posibles a prospectar.....	71
Tabla 3	Clasificación de zonas de Infiltración.....	73
Tabla 4	Resumen de inventario de puntos de captación de aguas.....	76
Tabla 5	Resistividades de los pozos perforados.....	81



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ubicación del área de estudio en el territorio ecuatoriano.....	4
Figura 2	Distorsiones en zonas montañosas.....	52
Figura 3	Alto porcentaje de coberturas de nubes.....	55

BIBLIOTECA



FACULTAD DE INGENIERÍA
CIENCIAS DE LA TIERRA

INDICE DE FOTOGRAFIAS

		Pag.
Foto # 2	Pórfido Purunumá y Formación Chinguinda.....	24
Foto # 3	Típica Celica.....	27
Foto # 4	Formación Cazaderos.....	28
Foto # 5	Formación Zapotillo.....	30
Foto # 6	Formación Río Playas.....	31
Foto # 7	Lavas de Sacapalca.....	33
Foto # 8	Piroclástos de Sacapalca.....	33
Foto # 9	Batolito San Lucas.....	35
Foto # 10	Pórfido Purunumá.....	36
Foto # 11	Formación Saraguro.....	37
Foto # 12	Formación Loma Blanca.....	39
Foto # 13	Formación Trigal.....	40
Foto # 14	Formación Quilollaco.....	42

ABREVIATURAS

C	Cuenca de primer orden -Catamayo
C-1	Cuenca de Segundo orden -Río Macara
C-2	Cuenca de segundo orden -Río Catamayo
C-3	Cuenca de segundo orden -Río Alamor
P	Cuenca de primer orden -Puyango-
P-1	Cuenca de segundo orden -Río Pindo-
P-2	Cuenca de segundo orden -Río Puyango Medio
P-3	Cuenca de segundo orden -Río Puyango Bajo
CODIGEN	Corporación de Desarrollo e Investigación Geológico Minero Metalúrgica.
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INEMIN	Instituto Nacional Ecuatoriano de Minería
CNRH	Consejo Nacional de Recursos Hídricos
LANDSAT	Satélite de la Tierra
CLIRSEN	Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos
Esc.	Escala
Km.	Kilómetros
m	Metros
cm	Centímetros
umhos	Micro homios



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

SIMBOLOGIA

PzTt	Unidad El Tigre
PzTv	Unida La Victoria
Pzc	Unidad Chinguinda
TrGm	Granito Gnéisico
Trpp	Unidad Quebrada Plata
TrMp-m	Plutones El Prado y Marcabellí
TrMb	Unidad La Bocana
grT	Batolito de Tangula
Ksv	Rocas Sedimentarias y Volcánicas
Kc	Formación Célica
KAza	Formación Zambí
KAzp	Formación Zapotillo
KAc	Formación Casaderos
KAcn	Formación -Ciano
Tp	Formación Río Playas
Pcs	Formación Sacapalca
PcG	Formación Gonzanamá
gsl	Batolito San Lucas
gt-gdp	Intrusivos Tingo y Portachuelo
Ep	Pórfido Purunumá
Os	Formación Saraguro
Gda	Granodiorita de Amaluzá
OML	Formación Loma Blanca
Ms	Formación San Cayetano
MT	Formación Trigal
Ti	Intrusivo
M-Plp	Volcánicos Pisayambo
M-PIQ	Formación Quilollaco
P	Flujos de Lava andesítica
dg	Depósitos glaciales
a	Aluviales
c	Coluviales



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

INTRODUCCION

La provisión de agua para consumo humano y riego en sectores marginales es una necesidad cada vez mas creciente y que debe ser atendida de manera preferencial. Las fuentes de agua superficial, aunque son más accesibles, tienen en su mayoría dificultades para atender nuevas demandas en las épocas secas y en cantidades adecuadas, razón por la cual se prevee la construcción y operación de obras de regulación, las mismas que demandan cuantiosas inversiones. Por lo tanto, desde hace muchos años atrás, se ha implementado la práctica de explotación y uso del agua de los reservorios subterráneos, especialmente en regiones de marcado déficit hídrico superficial. Esta responsabilidad, de proveer agua para diversos usos en áreas rurales que carecen de este servicio, llevo a considerar, por parte de la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra de la ESPOL, el desarrollo de este tema de tesis.

El desarrollo tecnológico ofrece la oportunidad de hacer más sencillo este tipo de prospecciones en áreas con marcada dificultad por su gran extensión y por el alto costo que representan. En esta tesis se aplica la tecnología de la Teledetección a través del procesamiento de imágenes de satélite en la prospección de aguas subterráneas.

Objetivo General

El objetivo general de esta tesis es demostrar la gran utilidad que brinda la Teledetección en la prospección de aguas subterráneas, utilizando una imagen satelital para definir los lineamientos geológicos de una región de gran extensión, y combinarlos

con la litología y la geomorfología de la zona para preparar un mapa hidrogeológico, que delinea las áreas propicias para prospectar agua subterránea.

Objetivos Específicos

Los objetivos específicos de esta tesis son:

- 1) Elaborar el mapa de Permeabilidad Primaria.
- 2) Elaborar el mapa de Lineamientos Geológicos.
- 3) Elaborar el mapa de Permeabilidad Secundaria.
- 4) Obtener el mapa Hidrogeológico y finalmente,
- 5) Definir las áreas propicias para la prospección de aguas subterráneas.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Area de Estudio

La parte Sur del Ecuador presenta un marcado déficit hídrico superficial. La mayor parte de la provincia de Loja y una parte de la provincia de El Oro (Fig. 1) constituyen el área sobre la cual se realizaron todos los procedimientos que ofrece la Teledetección para la prospección de aguas subterráneas.

Los límites del área de estudio se escogieron en base a la división de cuencas hidrográficas, conocidas como las cuencas de Puyango y Catamayo (ver mapa # 2). El área de estudio esta ubicada en el Suroeste del territorio continental ecuatoriano localizada entre los 3° 30' a 4° 45' latitud Sur y entre los 79° 10' a 80° 30' de longitud

Oeste (ver fig 1). El área total de investigación alcanza 10.881 km², comprendiendo gran parte de la provincia de Loja, desde Catamayo hasta Puyango y Zapotillo, en el límite con la República del Perú, y una parte de la provincia de El Oro, que abarca los cantones Zaruma, Portovelo, Piñas y Paccha.

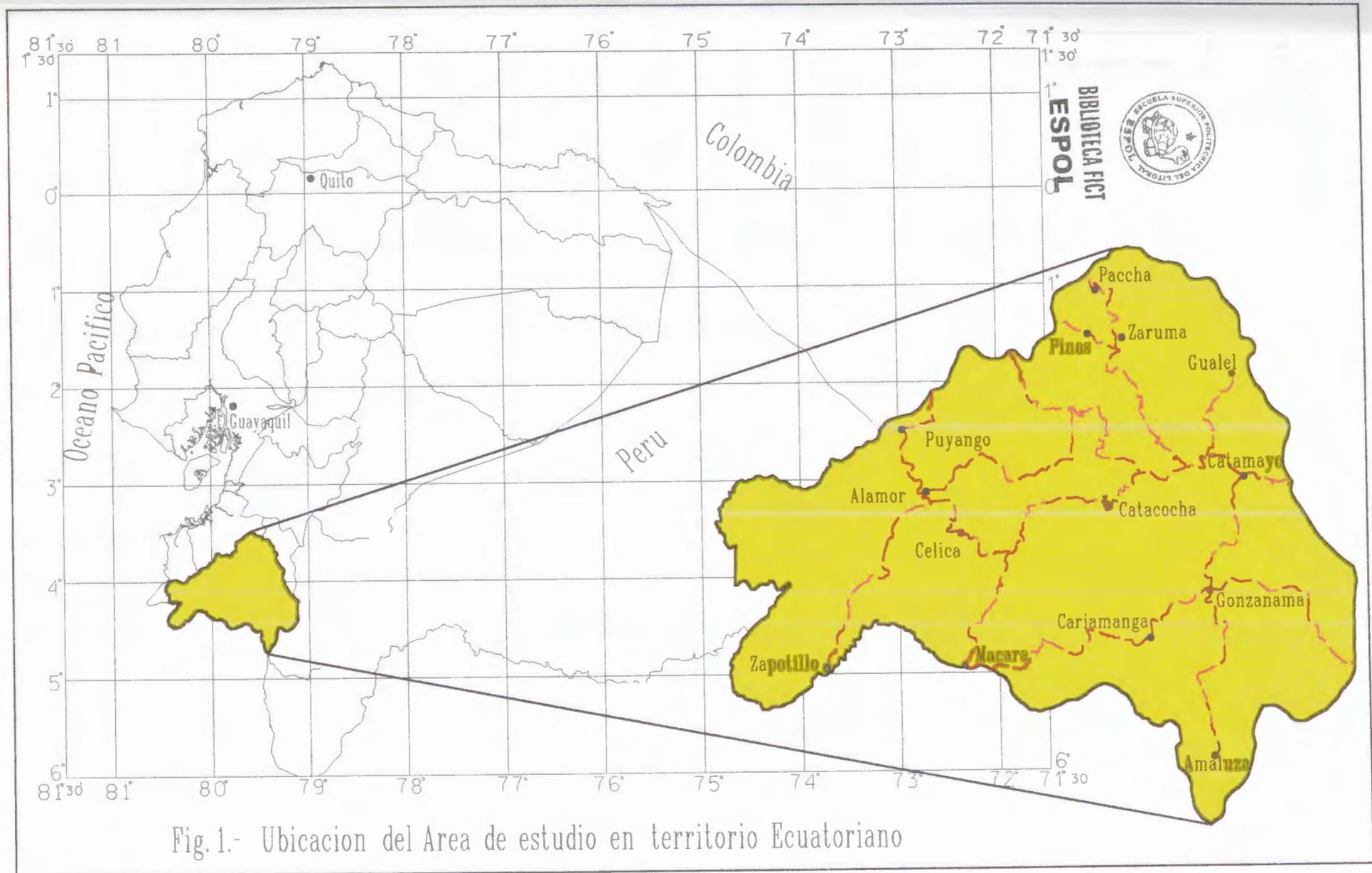


Fig.1.- Ubicacion del Area de estudio en territorio Ecuatoriano



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

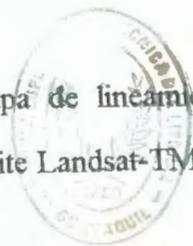
Trabajos Anteriores

Entre los trabajos realizados anteriormente en la provincia de Loja, está el mapa hidrogeológico levantado por el Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), en conjunto con la Organización de Estados Americanos (Plan Hidráulico de Loja, 1985). Este se realizó sólo en base a la litología de las formaciones geológicas de la provincia, aportando a la información de permeabilidad primaria, punto de partida para completar una prospección hídrica. Con la finalidad de responder a la necesidad de conocer la calidad del recurso hídrico superficial y subterráneo, el CNRH y el Proyecto Puyango del Programa Regional para el Desarrollo del Sur Ecuatoriano (PREDESUR) prepararon un estudio hidrometeorológico e hidrogeológico de la cuenca en 1985. El Centro de Levantamiento de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN) también ha realizado varios trabajos en la zona como los mapas de lineamientos (CLIRSEN, 1995) y de geomorfología (CLIRSEN, 1996).

Metodología de Trabajo

Las etapas de trabajos seguidas en este estudio, para alcanzar los objetivos propuestos, se describen a continuación:

- 1) El mapa de permeabilidad primaria se obtuvo de la litología descrita en los mapas de la CODIGEM, de escala 1:100.000 (CODIGEM, 1980-85), y además en el Mapa Geológico del Ecuador 1:1.000.000 (CODIGEM, 1993).
- 2) La interpretación geológica estructural, sintetizada en el mapa de lineamientos geológicos, se realiza a través de un mosaico de imágenes de satélite Landsat-TM 5, y



FACULTAD DE ING.
Y CIENCIAS DE LA TIERRA

la combinación con el mapa de división estratigráfica sirvió para obtener el mapa de permeabilidad secundaria.

3) Las zonas posibles para la prospección de agua subterránea se lograron combinando los mapas de permeabilidad primaria y secundaria.

4) La información climática, combinada con la de geomorfología, indicó las zonas de recarga. La información hidrométrica de INAMHI e IEOS, referente a pozos y vertientes de la zona, facilitó verificar la disponibilidad de agua, y permitió preparar el mapa hidrogeológico de áreas propicias para la prospección de aguas subterráneas.

Estas etapas, están desarrolladas en cada uno de los capítulos de esta tesis, de la siguiente manera:

El primer capítulo contiene las características generales del área de estudio, el clima, la hidrografía, la geomorfología y la vialidad. Basado en la litología de la zona, el mapa de la permeabilidad primaria se obtiene en el siguiente capítulo. Una introducción a los tipos de imágenes satelitarias que se disponen en el Ecuador y los parámetros importantes en el proceso de la selección de la imagen y su procesamiento, en la búsqueda de los lineamientos geológicos, están incluidos en el capítulo 3. En el siguiente, se analiza la incidencia de los lineamientos junto con la división estratigráfica de las rocas de la zona, para definir áreas propicias de alta permeabilidad secundaria.

El capítulo 5, primero se combina la información climática y geomorfológica de la zona con los mapas de permeabilidades, para localizar las zonas de recarga, que nos indica las áreas aptas para la prospección de agua subterránea. Los datos hidrométricos de los pozos y vertientes permiten una primera verificación esta información. A continuación,

se analiza la calidad de agua subterránea de la zona, en base a la resistividad eléctrica. Finalmente, en el capítulo 6, se discute la importancia de la permeabilidad secundaria para la prospección de aguas subterráneas, analiza las economías de su explotación y describe los beneficios que prestan las imágenes satelitarias, en forma de conclusiones. En seguida, se recomienda las medidas que debe tomar, en los trabajos futuros, para evitar los problemas surgidos durante este proceso, y los estudios necesarios para llevar a cabo exitosamente un programa de explotación de agua subterránea para esta zona muy sufrida de la falta de ese líquido vital.

CAPITULO 1

CARACTERISTICAS GENERALES DEL AREA DE ESTUDIO



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

En este capítulo se describe la información previa existente sobre clima, hidrogeología, geomorfología y la vialidad del área de estudio.

1.1 Climatología

En el mapa climático (Mapa # 1), que cubre el área de estudio, se encuentran las siguientes regiones (Ref: mapa Bioclimático escala 1:1.000.000 del PRONAREG, 78):

Sub-desértico Tropical - Región 3

Esta región se encuentra en la cuenca baja del río Puyango hacia su confluencia con la quebrada Cazaderos, y en la cuenca del río Alamor cerca de Zapotillo. Los desplazamientos estacionales de masas de aire y agua del Pacífico, determinan las características climáticas de la región. Durante el período de enero a abril, estas masas se desplazan hacia la zona de estudio, presentándose lluvias fuertes, dando origen a la estación lluviosa. A medida que las masas de aire regresan hacia la parte Norte del país, la influencia fresca y estabilizadora de la corriente del Perú se hace sentir y comienza en la región la estación seca, a partir de mayo, que se prolonga hasta diciembre. La región se encuentra a elevaciones entre 0 y 300 m.s.n.m., su temperatura media anual oscila entre 23° y 26° C, con una precipitación media anual mayor a los 200 mm, pero menor a los 500 mm.

Muy seco Tropical - Región 7

Esta región se encuentra cerca de Puyango, y en las confluencias de los ríos Catamayo y Macará. La región tiene un relieve que varía entre las cotas 5 y 300 msnm, con una temperatura media anual de 23^o- 26^o C. La precipitación promedio entre 500 y 1000 milímetros. La estación lluviosa se extiende de enero a abril a mediados de mayo, mientras la estación seca comienza en mayo y termina en diciembre.

Muy seco Sub-tropical - Región 4

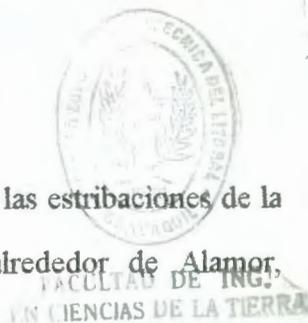
Esta región se encuentra entre 1200 y 1800 metros sobre el nivel del mar, en la parte Occidental de la provincia de Loja. En la Sierra, en el valle de Catamayo, se encuentra por debajo de los 2000 m.s.n.m. Está caracterizada por una temperatura media anual que oscila entre 18^o y 22^o C. La lluvia promedio anual es superior a los 200 milímetros, pero inferior a los 500 milímetros.

Seco Sub-tropical - Región 8

Esta región cubre casi toda la zona de estudio, y se encuentra desde los 300 hasta los 1900 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura media anual entre los 18^o y 22^o C. Las lluvias promedio fluctúan en el año, entre 500 y 1000 milímetros. La estación seca se prolonga de mayo hasta septiembre, aunque puede prolongarse hasta diciembre, como ocurre de manera particular en Macará.

Sub-húmedo Sub-tropical - Región 12

Esta región se encuentra en la provincia de El Oro en la parte de las estribaciones de la cordillera de Piñas y Zaruma y en la provincia de Loja, alrededor de Alamor,



Guachanamá, Gonzanamá, Cariamanga, Las Aradas, Amaluza y Yangana. La altitud está entre los 300 y 1900 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura media anual entre los 18° y 22° C. Las precipitaciones son mayores a 1000 mm. pero menores a 1500 mm. En general, las lluvias se distribuyen de enero a mayo, aunque la tendencia es tener algo de lluvia durante todo el año.

Sub-húmedo Templado - Región 9

Esta región se encuentra al Norte de Catamayo y entre Sozoranga y Cariamanga. Se localiza entre las altitudes de 2000 a 3050 metros sobre el nivel del mar, aproximadamente. La temperatura promedio anual oscila entre 12° y 18° C, y la precipitación media anual varía entre los 500 y 1000 milímetros. La estación lluviosa es de tipo zenital o equinoccial, con una estación seca, que comprende los meses de julio a septiembre.

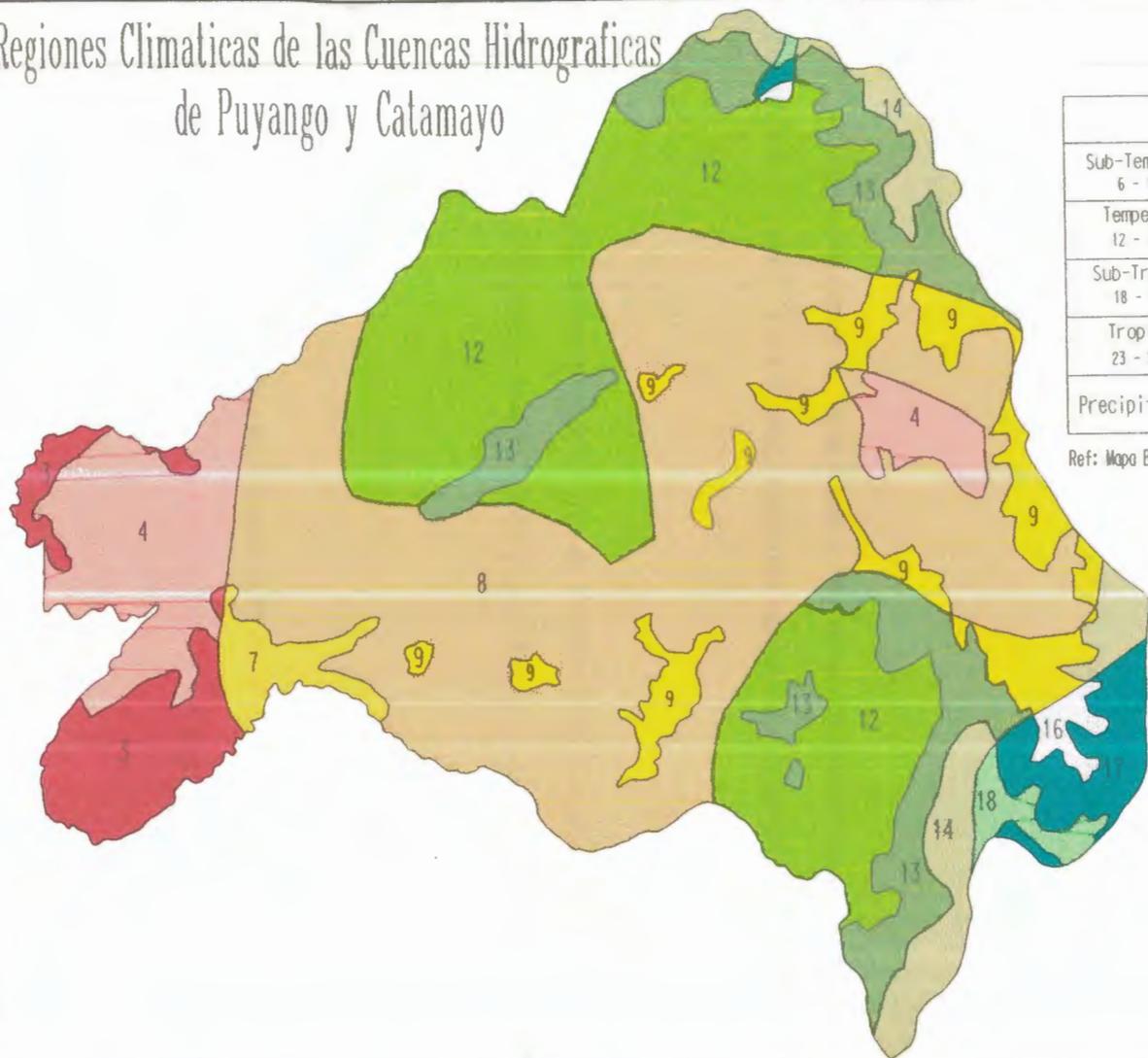
Húmedo Templado - Región 13

Esta región se encuentra en la provincia de Loja, cerca de Gualiel y Santiago, en las estribaciones de Celica y en las lomas de Cariamanga, Gonzanamá, Santa Teresita y Jimbura. Se localiza entre altitudes de 1800 y 3000 metros sobre el nivel del mar, su temperatura entre 12° y 18° C, recibiendo precipitaciones promedias entre los 1000 y 1500 mm. El patrón de distribución de lluvias es zenital, la duración de la estación seca es un tanto variable, pero corresponde mayormente a los meses de junio a noviembre.

Muy húmedo Sub-temperado - Región 14

Esta región se encuentra desde el nudo de Sabanilla hasta el nacimiento del río Macará y en las estribaciones occidentales de la cordillera de Tioloma. Se extiende de los 3000 hasta los 4000 metros, con registros de temperatura entre los 6° y 12° C, el promedio de las lluvias oscila entre los 1000 y 1500 mm anuales. Dentro de estos límites, la precipitación se distribuye durante todo el año, con menor intensidad durante los meses correspondiente a julio y agosto.

Regiones Climaticas de las Cuencas Hidrograficas de Puyango y Catamayo



CLASIFICACION CLIMATICA				
Sub-Temperado 6 - 12 C			14 Muy húmedo	18 Lluvioso
Temperado 12 - 18 C		8 sub-húmedo	11 húmedo	15 muy húmedo
Sub-Tropical 18 - 22 C	4 Muy seco	5 seco	12 sub-húmedo	16 húmedo
Tropical 23 - 26 C	3 sub-húmedo	7 Muy húmedo		
Precipitaciones	200 P 500	500 P 1000	1000 P 1500	1500 P 2000

Ref: Mapa Bioclimatico del Ecuador (PRONAREG)

Escala 1:1'000.000



BIBLIOTECA FICT
ESPOL



1.2 Hidrografía

Una cuenca hidrográfica es una zona del relieve en la que las aguas del arroyamiento en superficie circulan y se reúnen hacia un cauce único. Está determinada por la morfología, esencialmente por las líneas de crestas y de la división de las aguas. Una cuenca hidrográfica es la unidad que determina un manto acuífero por consiguiente, condiciona la circulación subterránea y sus reservas

En el Ecuador existen cuencas hidrográficas con vertientes hacia el Océano Pacífico y hacia la Cuenca Amazónica. Las cuencas hidrográficas que comprenden el área de estudio corresponden a los ríos Puyango y Catamayo, con vertientes hacia el Océano Pacífico (ver mapa # 2)

1.2.1 Cuenca Puyango

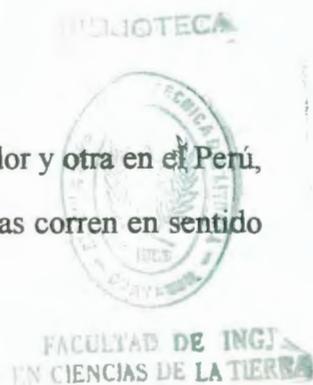
La Cuenca Puyango comprende la parte Norte y Noroeste del área de estudio con una superficie de 3683,13 Km². Esta Cuenca esta formada por las siguientes subcuencas:

Río Pindo (P-1)

La subcuenca del Río Pindo comprende el área de drenaje de el río del mismo nombre y sus afluentes con un área total 1564,96 Km², y con el sentido de desplazamiento de sus aguas hacia el N-O.

Río Puyango Medio (P-2)

La subcuenca del Río Puyango se encuentra una parte en el Ecuador y otra en el Perú, posee 1358.52 Km² de área de drenaje en nuestro país y sus aguas corren en sentido E-O.



Río Puyango Bajo (P-3)

Solo una parte de la subcuenca de la parte baja del Río Puyango, está en el Ecuador, posee 759.65 Km² de área de drenaje, con sentido de desplazamiento S-N.

1.2.2 Cuenca Catamayo

La cuenca Catamayo comprende la parte Sur y Sudeste del área de estudio, con una superficie de 3433,66 Km². Esta cuenca esta formada por las siguientes subcuencas:

Río Macará (C-1)

La subcuenca del Río Macará comprende el área de drenaje de este río y sus afluentes, posee 1822,50 Km² de área de drenaje en nuestro país y el río principal corre en sentido NO.

Río Catamayo (C-2)

La subcuenca del Río Catamayo comprende un área de drenaje de 4260,46 Km² y el río corre hacia SO.

Río Alamor (C-3)

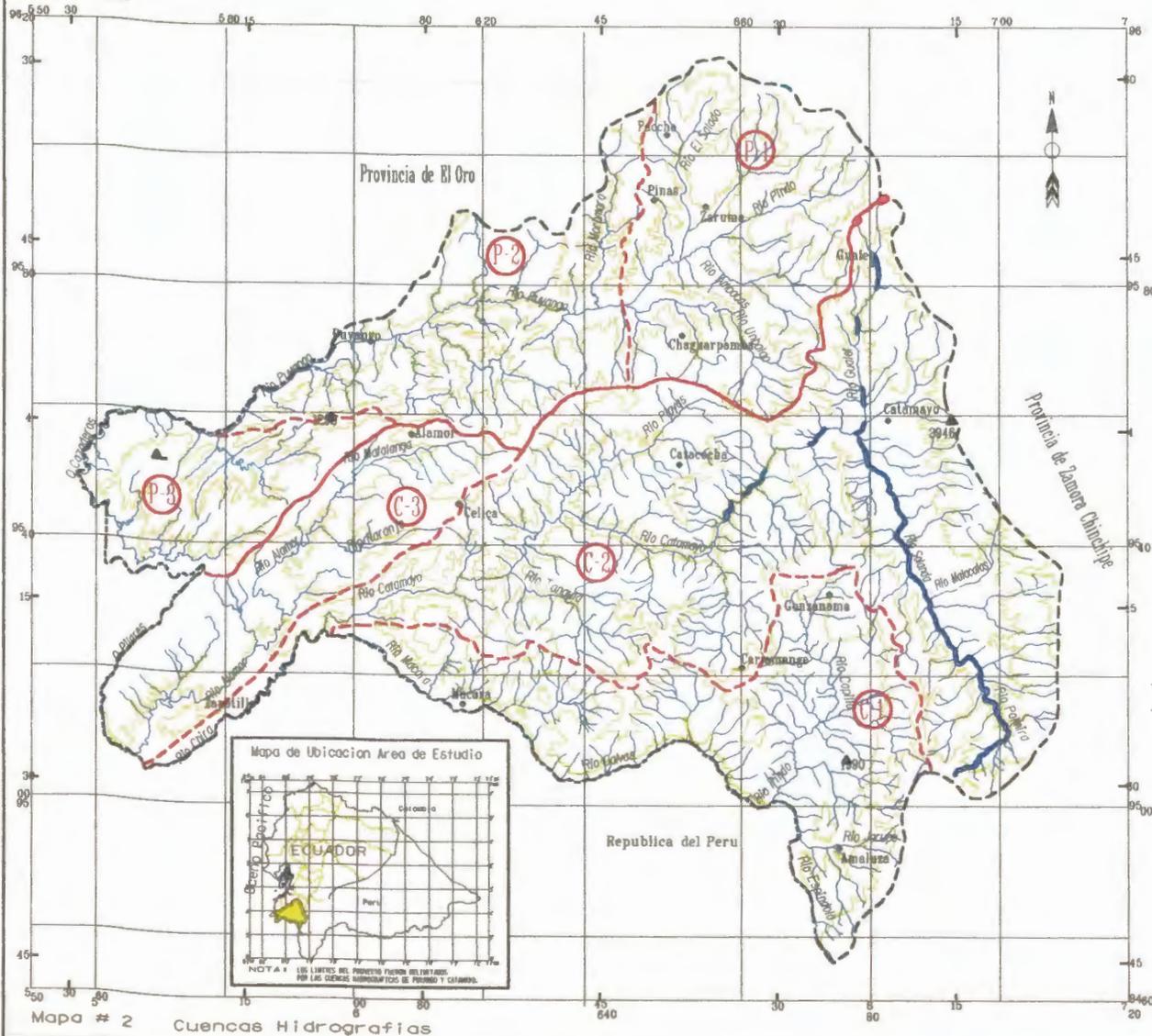
La subcuenca del Río Alamor, posee 1114,70 Km² de área de drenaje y el río se desplaza en el sentido SO.



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

Cuencas Hidrograficas de Puyango y Catamayo

CLIRSEN - ESPOL



SIGNOS CONVENCIONALES

- Ciudades
- Cursos de Agua
- Curvas de Nivel
- Divisoria Hidrografica 1er orden
- Limite Internacional
- Limite del Proyecto
- Divisoria Hidrografica 2do. orden
- Vertice Geodesico

LEYENDA HIDROGRAFICA	
CUENCAS	SUBCUENCAS
P	Rio Pindo (P1)
	Rio Puyango Medio (P2)
	Rio Puyango Bajo (P3)
C	Rio Macara (C1)
	Rio Catamayo (C2)
	Rio Almor (C3)

MAPA HIDROGRAFICO

INFORMACION ACTUALIZADA EN 1998

CARTA TEMATICA ELABORADA EN EL ISEN

- CARTOGRAFIA BASICA DEL INSTITUTO GEOGRAFICO DEL ISEN

- CARTOGRAFIA HIDROLOGICA 1:250.000 ELABORADA POR EL ISEN



NOTA: LOS LIMITES DEL PROYECTO FUERON DELINEADOS POR LAS CUENCAS SUBCATEGORICAS DE PUYANGO Y CATAMAYO.

CLIRSEN
CENTRO DE LEVANTAMIENTOS INTEGRADOS DE RECURSOS NATURALES POR SENSORES REMOTOS

ESPOL
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

PROYECTO: APLICACION DE SENSORES REMOTOS EN EL ESTUDIO DE AREAS PROPICIAS PARA LA PROSPECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS EN LA ZONA OCCIDENTAL DE LOJA




ELABORADO POR: Esteban Paredes Lopez Bander / DISEÑO: Geolga Jorge Cadena Vera

FECHA: Agosto-98

1.3 Geomorfología

La Geomorfología del área de estudio (Mapa # 3) está conformada por tres grandes paisajes que son de Este a Oeste (CLIRSEN, 1987):

- La Cordillera Occidental de los Andes,
- Las estribaciones de la Cordillera Occidental y
- la zona Costera.



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

1.3.1 La Cordillera Occidental

Localizada en el extremo oriental del área de estudio sobre la cota de 2.500 m, este paisaje esta conformado por los siguientes sub-paisajes:

Colinas Muy Altas (CMA)

Es un paisaje muy accidentado, fuertemente disectado con gargantas profundas y valles encajonados, desniveles relativos mayores a 120 m., y pendientes superiores al 70%.

Colinas Altas (CA)

Se caracteriza por presentar desniveles relativos entre 80 y 120 m., gargantas profundas en los interfluvios y valles encajonados; las colinas tienen cimas redondeadas y las pendiente varían entre el 40 y 70%.

1.3.2 Estribaciones de la Cordillera Occidental

Este paisaje está localizado en el extremo Occidental de la Cordillera Occidental, entre las cotas 1.200 a 2.500 m, de relieves muy heterogéneos con una disección muy fuerte *sobre los materiales volcánicos, constituidos de piroclastos gruesos y finos, formando gargantas profundas en su parte superior, con valles encajonados.* En éste se

encuentran las siguientes unidades, desde la parte alta que es la que domina, hasta la baja que solo son inclusiones entre las mas altas.

Colinas Muy Altas (CMA)

Este paisaje es muy accidentado, como en el caso anterior, se encuentran indistintamente colinas de cimas redondeadas separadas por valles encañonados. Los cuales albergan valles estrechos, las altitudes relativas de estas colinas son superiores a 150 m. y sus pendientes son mayores al 70%; como inclusiones de este paisaje se encuentran áreas de ondulaciones y colinas bajas.

Colinas Altas (CA)

Se localiza en la parte inferior de la Cordillera Occidental, el área esta fuertemente disectada formando gargantas y cañones profundos , pues el material volcánico en el sector es fácilmente erosionable; se ha formado valles encajonados y colinas de cimas agudas y redondeadas. Las altitudes relativas varían entre 120 y 150 m y la pendiente entre 40 y 70%.

Colinas Medias (CM)

Se localiza inmediatamente debajo de las colinas altas, y el paisaje se presenta disectado, la disección ha producido gargantas profundas por donde corren sistemas de drenaje o ríos encajonados, y también colinas medias con cimas agudas y redondeadas. Son comunes las cimas agudas, las cuales se pueden asociar a material volcánico metamorfizado. Tienen altitudes relativas entre 50 a 120 m y su pendiente fluctúa entre 25 y 40%.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Relieves Planos (RP)

Se localizan al pie de las anteriores, donde existe una brusca ruptura de la pendiente formando un paisaje de relieves planos y ondulaciones bajas con altitudes relativas menores a 40 metros y pendientes entre 5 y 12%.

1.3.3 Zona Costera

Localizada en el extremo Occidental del área de estudio. Varía entre los 400 y 1200 metros sobre el nivel del mar. Las Colinas Altas de las estribaciones Occidentales, desaparecen dando lugar a las Colinas Bajas a Medias, que conforman el paisaje costero.

Colinas Bajas a Medias (CBM)

Se sitúa bajo el paisaje montañoso de las estribaciones. Estas geoformas están disectadas formando gargantas y valles encajonados. La cima de esta geoforma es redonda, ocasionalmente hay cimas agudas que se asocian con material metamórfico. La pendiente general varía del 25 al 40 % y la altitud relativa de las geoformas varía entre 40 y 120 m. de altitud.

PROVINCIA DE LOJA

ECUADOR - ESCALA 1:1.000.000

ESPOL - CLIRSEN

SIGNOS CONVENCIONALES

- Límite Internacional  N
 Límite del Proyecto 
 Poblaciones 
 CA. Disección (Pendiente)  CA 516

MAPA GEOMORFOLOGICO

INFORMACION ACTUALIZADA A 1.998

PROYECCION TRANSVERSA DE MERCATOR
ESPEROIDE INTERNACIONAL - ZONA 17

CARTA TEMATICA ELABORADA EN BASE A:

- CARTOGRAFIA GEOLOGICA ESC. 1:100.000 ELABORADA POR EL CODIGEM
- CARTOGRAFIA GEOLOGICA ESC. 1:250.000 ELABORADA POR CLIRSEN PARA EL PROYECTO POTENCIAL MINERO FASE I JULIO-89
- INFORMACION SATELITARIA LANSAT-5 TM AGOSTO-96 ENERO-98

LEYENDA

RELIEVE	SIMBOLO	GRADO DE DISECCION	SIMBOLO PENDIENTE	SIMBOLO
Colina Muy Alta	CM	Sin Disección	1	0 - 5
Colina Alta	CA	Poco disectado	2	5 - 12
Colina Media	CM	Moderao Disectado	3	12 - 25
Colina Baja	CB	Disectado	4	25 - 40
Relieve Plano	RP	Muy Disectado	5	40 - 70
Relieves Ondulados	RO	Fuerramente Disectado	6	70 - 100

CLIRSEN

CENTRO DE LEVANTAMIENTOS INTEGRADOS DE
RECURSOS NATURALES POR SENSORES REMOTOS

ESPOL

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

PROYECTO: APLICACION DE SENSORES REMOTOS EN EL
ESTUDIOS DE AREAS PROPICIAS PARA LA PROSPECCION DE
AGUAS SUBTERRANEAS EN LA ZONA OCCIDENTAL DE LOJA

ELABORADO POR: Eddy Perdomo Lopez Becerra

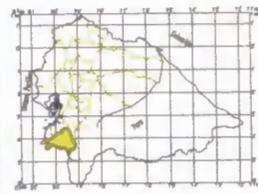
REVISADO: Celso Jara Coloma Vera

APROBADO

FECHA: Agosto - 98



Mapa de Ubicacion Area de Estudio



NOTA: LOS LIMITES DEL PROYECTO FUERON DELIMITADOS
POR LAS FUENTES HIDROGRAFICAS DE PASTAZA Y PATATE.

BIBLIOTECA FICL
ESPOL



1.4 Poblaciones y Vialidad

Las principales ciudades que se encuentran en el área de estudio son: en la provincia de Loja, Catamayo, Gonzanama, Amaluza, Cariamanga, Sozoranga, Macará, Catacocha, Zapotillo, Alamor, Celica y Chaguarpamba; en la provincia de El Oro, Zaruma, Portovelo, Piñas y Paccha.

La vía principal que atraviesa el área de estudio es la que conecta Loja y Machala que pasa por Catamayo y Chaguarpamba. Existen otras vías de segundo orden, como las de Catamayo-Gonzanama-Cariamanga, Sozoranga-Macará, Gonzanama-Amaluza, Catacocha-Macara, Zapotillo-Celica, Alamor-Puyango-Machala y Zaruma-Portovelo, Piñas-Machala (ver mapa # 4)..

BIBLIOTECA

FACULTAD DE ING.
UNIVERSIDAD DE LA TIERRA



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

CAPITULO 2

PERMEABILIDAD PRIMARIA.

El desarrollo de este capítulo se hace en base a la litología de la zona para lo cual se utilizó información de las hojas geológicas 1:100.000 (CODIGEM,1980-1990), el mapa geológico del Ecuador 1:1.000.000 (CODIGEM,1993) e informaciones personales de colaboradores del mapa geológico del Ecuador (Arturo Eguez,1998), presentando la compilación de la información en un mapa geológico de las cuencas hidrográficas de Puyango y Catamayo a escala 1:500.000. Luego, se caracterizan las formaciones geológicas por su permeabilidad primaria, clasificándolas de manera general en cuatro grupos, desde altamente permeables hasta impermeables, las cuales presentan en el mapa de permeabilidad primaria (Mapa # 5).

Se debe prestar atención en primer lugar a algunas definiciones preliminares. En condiciones naturales, y desde un punto de vista hidrogeológico, es posible distinguir dos grandes tipos de rocas: las rocas con permeabilidad por intersticios, o permeabilidad primaria, como las arenas y las gravas, y las rocas con permeabilidad por fisuras, o permeabilidad secundaria, cuyo tipo son las basálticas y metamórficas, en el área de estudio.

Porosidad

La porosidad total, porosidad verdadera, coeficiente de porosidad o módulo de los espacios vacíos, es la relación, expresada en tanto por ciento, entre el volumen de los espacios vacíos y el volumen total de la roca.

Permeabilidad

La permeabilidad es la propiedad del material acuifero que consiste en transmitir el agua por gravedad.

La permeabilidad no esta en relación directa con la porosidad, pero, a alta permeabilidad, habrá una considerable porosidad.

2.1 Unidades Litológicas

A continuación, se detalla la litología de las formaciones de modo sinóptico y empleando la nomenclatura adoptada en los mapas geológicos de la CODIGEM, siguiendo un orden cronológico, desde las unidades más antiguas hasta las más jóvenes. La mayoría de las formaciones y unidades están ilustradas en fotografías, indicando en cada una su ubicación con referencia a poblaciones o puentes cercanos a estos sectores.

2.1.1 Paleozoico

División Tahuín

La División Tahuín consiste de una secuencia semipelítica variablemente metamorfizada que muestra un rápido incremento en el grado metamórfico de sur a norte, toma su nombre de la cordillera Tahuín, se le asigna una edad de Paleozoico Inferior, y se divide en dos unidades: La Victoria y El Tigre.

LIOTECA



FACULTAD DE ING.
Y CIENCIAS DE LA TIERRA

Unidad La Victoria (PzTv).

Comprende una secuencia semipelítica de bajo a alto grado de metamorfismo compuesta por metasedimentos, filitas, esquistos, gneises y cuarcitas impuras. Si se toma a las unidades La Victoria y El Tigre como un solo grupo de rocas, existe un aumento gradual del metamorfismo de la unidad inferior El Tigre a la superior La Victoria. Las dos unidades se encuentran localizadas en la parte central norte del área de estudio.

Unidad El Tigre (PzTt).

La unidad El Tigre es una secuencia no metamorfizada a débilmente metamorfizada de cuarcitas feldespáticas de grano fino a medio, con estratos intercalados de lutitas que presentan un brillo sedoso debido a la presencia de sericita. Las estructuras sedimentarias remanentes sugieren que la unidad tiene un origen esencialmente turbidítico.

Unidad Chinguinda (Pzc)

El nombre de esta unidad se la ha tomado del mapa geológico del Ecuador escala 1:1.000.000 (1.993). En los mapas antiguos esta unidad era parte del denominado grupo Zamora. Esta compuesta por una serie de rocas metamórficas constituidas por cuarcitas, esquistos y gneises (Fotos # 1). En general, se encuentran aflorando en la parte sudeste del área de estudio. Al sur de Catamayo la serie esta bien expuesta, donde predominan los mica-esquistos y esquistos graníticos, aunque también se encuentran cuarcitas y cuarcitas sericiticas. *Pertenece al Paleozoico superior.*



Foto # 2 Esquistos Verdes de Formación Chinguinda intruida por Pórfido Purunuma. Subida a Purunuma vía Malacatos-Purunuma. Cortesía del Ing. Victor Maldonado (CNRH).

Se puede observar que en casi toda su extensión consiste de cuarcitas, filitas, esquistos grafiticos, sericíticos y micáceos, caracterizados en parte por abundantes capas de segregación de cuarzo blanco lechoso. En general, el rumbo de la foliación es NNE y las rocas están plegadas isoclinalmente siguiendo ejes de dirección similar. Los ejes de plegamientos son pocos, pero los registros presentan una inmersión suave hacia el Sur.

2.1.2 Mesozoico

Triásico

Complejo Moromoro.

Este complejo está constituido, en forma general, por rocas granitoides del Triásico Superior, entre estas se encuentran la unidad La Bocana y los Plutones El Prado y Marcabelí.



BIBLIOTECA
ESP

Unidad La Bocana (TrMb).

Esta unidad incluye rocas de diferentes variedades constituidas por: granodioritas de grano fino a medio con biotita, muscovita, granate y turmalina; en menor cantidad, migmatitas y paragneises, variablemente foliadas con presencia de xenolitos metasedimentarios. Los afloramientos se encuentran en el sector central norte del área de estudio.

Plutones El Prado y Marcabelí (TrMp-m).

Los Plutones El Prado y Marcabelí afloran en la parte central-norte del área e intruyen las unidades Paleozoicas de La Victoria y El Tigre de la división Tahuín, la unidad Triásica de La Bocana y Rocas Volcánicas y Sedimentarias indiferenciadas del Cretácico.

No se tiene edades del Plutón El Prado, pero su rumbo EW y la presencia de igual composición y textura granitoide al Plutón Marcabelí, sugieren que tienen una edad similar, que corresponde al Triásico Superior. Están constituidos principalmente por granodioritas de grano medio con biotita y muscovita. Se encuentran, por lo general, muy meteorizados y atravesados por diques básicos.

Granito Gnéisico (TrGm)

Este cuerpo Intrusivo se encuentra ubicado en el extremo sur oriental del área de estudio, intruyendo la unidad Paleozoica de Chinguinda, comprende un granito gnéisico peraluminico con biotita, muscovita y a veces granate, cordierita y topacio, con numerosos megacristales de feldespatos (mayores de 10x4 cm).

Cretáceo

Batolito de Tangula (grT).

Intruye a la Formación Celica, pero está cubierto por los volcánicos Sacapalca, este complejo intrusivo es uno de los más antiguos de la multifase de Batolitos costeros.

Rocas Sedimentarias y Volcánicas (Ksv).

Este conjunto de rocas indiferenciadas fueron reportadas en el proyecto Potencial Minero fase 1 elaborado por Clirsen (Julio 89). Afloran en el cauce del río Puyango al NE del área de estudio y están compuesto por arenisca, conglomerados, limolitas, lutitas, calizas y rocas volcánicas ácidas, las cuales afloran en el cauce del río Puyango.

Formación Celica (Kc)

La Formación Celica esta constituida por lavas andesíticas de color verde, homogéneas y masivas de matriz afanítica, sin silificación, además se presentan brechas y tobas. Los afloramientos de esta formación (Foto # 3) se encuentran en la parte centro y sur del área de estudio, descansa discordalmente sobre los metamórficos Chinguinda.



UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y
CIENCIAS DE LA TIERRA

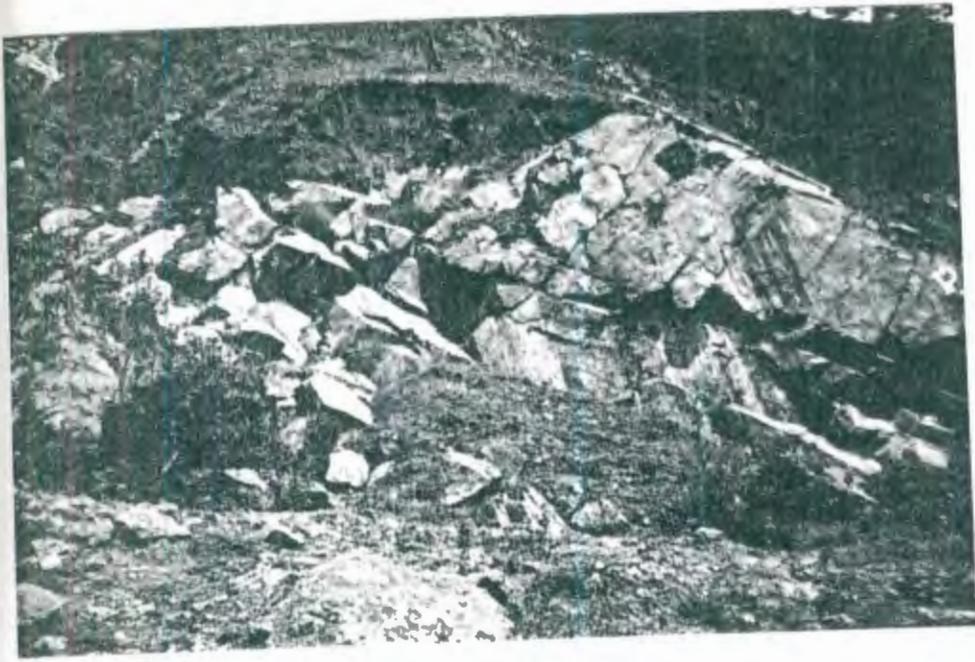


Foto # 3 Afloramiento típico de la FM Celica. Carretero San Pedro la Bendita – Chaguarpamba-Balsas. Cortesía del Ing. Victor Maldonado (CNRH).



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Grupo Alamor.

El Grupo antes conocido como Grupo Puyango comprende las formaciones Cazaderos, Ciano, Zapotillo y Zambí, tiene un afloramiento amplio en el Oeste del área de estudio, y pasa al Perú donde es conocido con nombres peruanos. Las divisiones están basadas principalmente en cambios de facies que ocurren a lo largo del afloramiento, pero también por las discordancias y metamorfismo que afectan a los sedimentos.

La Formación Cazaderos basal, descansa sobre rocas paleozoicas en el NO y consiste en un conglomerado basal seguido por calizas y lutitas negras. La Formación Zapotillo es interpretada como equivalente, pero depositada en agua más profunda, fuera de la playa. Kennerley (82), interpreta la Formación Ciano como equivalente a la Formación Zapotillo, pero de facies diferentes. Al Norte la Formación Ciano, muestra metamorfismo ligero. Se cree que la Formación Zambí representa a la Formación

Zapotillo pero metamorfizada. El espesor es desconocido pero pasa de algunos miles de metros.

Formación Cazaderos (KAc).

Aflora en la esquina noroeste del área y se extiende hacia el Perú. Está compuesta de lutitas negras calcáreas que contienen grandes concreciones y capas de calizas fosilíferas de 1 a 3 metros de espesor. También se encuentran depósitos conglomeráticos con guijarros bastante grandes de 10 cm. de granito, metasedimentos y cuarzo de vetas, en una matriz de gravaca (Foto # 4). Hacia el Norte de la formación, el metamorfismo se hace progresivamente más intenso y los sedimentos se transforman en rocas metamórficas de la división Tahuín.



Foto # 4 Formación Cazaderos, a 300 metros del puente sobre el río Puyango, en la vía Arenillas-Puyango. Cortesía del Ing. Victor Maldonado (CNRH).



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

Formación Ciano (KAcn).

Compuesta en su mayoría por sedimentos, aunque también hay volcánicos intercalados. Los sedimentos están constituidos principalmente de estratos de limolitas laminadas y lutitas, con una cantidad menor de areniscas. Mientras que los volcánicos están formados por capas de lava y piroclastos. La parte Norte de esta formación ha sufrido un metamorfismo débil, que ha dado metalimolitas y filitas y un clivaje a los sedimentos. La formación está plegada a lo largo del eje Este - Oeste y aflora en la parte central del área de estudio.

Formación Zapotillo (KAzp).

La Formación Zapotillo consiste de grauvacas y lutitas negras con conglomerados locales en capas que varían de 0.5 cm a 3 metros de grosor.

Las grauvacas (Foto # 5) son de color amarillento y contienen concreciones esferoidales. Las lutitas negras son muy uniformes y ocupan terrenos más bajos, son menos resistentes a la erosión que las grauvacas. Los conglomerados son de andesita porfirítica. Estas rocas cubren una gran superficie al sudeste del área.



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

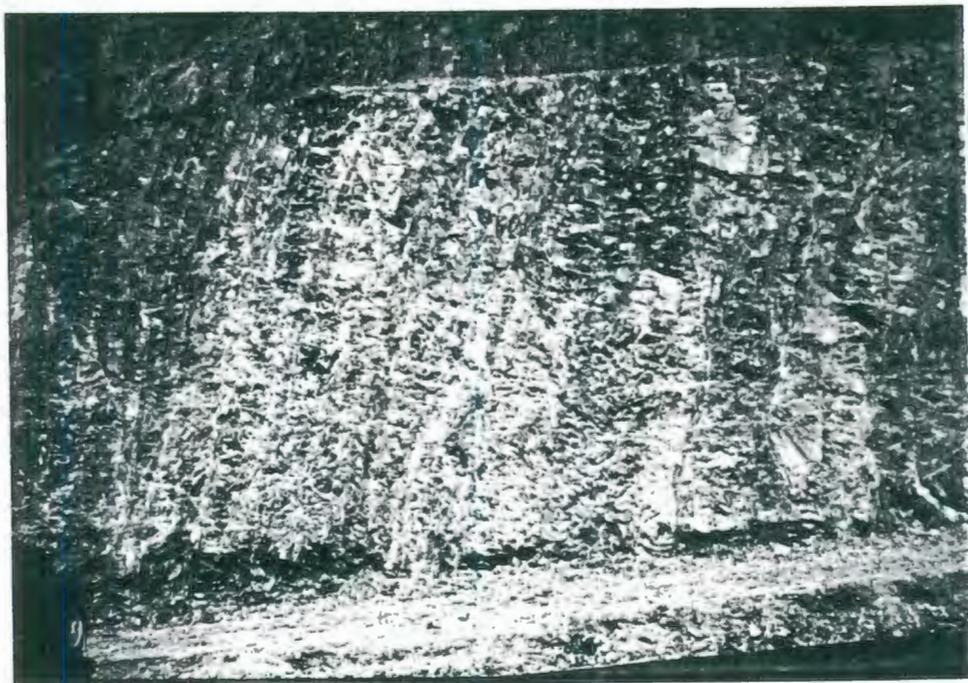


Foto # 5 Areniscas y gravacas de la Formación Zapotillo, ubicadas en Alamor. Cortesía del Ing. Victor Maldonado (CNRH).

Formación Zambí (KAza).

Es la formación más oriental del Grupo Alamor. El flysch, de metamorfismo bajo consiste principalmente de filitas y cuarcitas; posiblemente es equivalente a la Formación Zapotillo. Las filitas predominan al S a lo largo de la vía Panamericana; en cambio, las cuarcitas predominan en el N. Al Norte, la formación pasa por incremento del grado de metamorfismo a la División Tahuín; en el S y E la formación está en contacto con la Fm. Sacapalca.

2.1.3 Cenozoico.

Terciario

Paleoceno

Formación Río Playas (Tp).

Ocupa la mayor parte de la depresión del Río Playas al Oeste de Catacocha y contiene arcillas semiconsolidadas, limolitas, areniscas y conglomerados, con rocas volcánicas interstratificadas (Foto # 6). Los conglomerados son conspicuos a lo largo de los márgenes de la depresión y contienen guijarros de lutitas negras calcáreas, derivadas del Grupo Alamor del Cretáceo Superior. A esta formación se la puede comparar con los sedimentos de las Cuencas de Loja y Malacatos que son considerados de edad Terciaria. El afloramiento de esta unidad se encuentra en la parte central del área de estudio.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Foto # 6 Formación Río Playas Puente Río Playas, carretero Catacocha – Naranjal. Cortesía del Ing. Victor Maldonado (CNRH).

UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y
ARQUITECTURA DE LA TUMBURA

Formación Sacapalca (Pcs).

Está constituida de lavas y piroclastos que afloran en el Graben de Amaluza, rellenando la fosa tectónica, de aproximadamente 25 Km. de ancho alineada de Norte a Sur al este de la zona de estudio. Las lavas, que son más resistentes a la erosión forman los terrenos altos, mientras que los piroclastos forman las depresiones. Las lavas (Foto # 7) son pórfidos andesíticos de color café, castaño o gris, en contraste con las andesitas verdes de la Celica. Los piroclastos (Foto # 8) se encuentran en capas de espesor irregular y de extensión lateral limitada, en la cual rara vez, se puede ver estratificación. Consisten principalmente de tobas riolíticas con tobas aglomeráticas y aglomerados subordinados. Las tobas son ligeramente coloreadas, usualmente verde claro, morado, amarillo o café y compuestas de fragmentos cristalinos, líticos y vítreos. Fragmentos de ortoclasa y cuarzo son particularmente abundantes en la toba riolítica. Las tobas aglomeráticas consisten en bloques andesíticos de mas de 50 cm. de diámetro dispersas en una matriz tobácea y constituyendo el 5 a 10 por ciento de toda la rocas.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL



Foto # 7 Lavas de Sacapalca. Carretero Catamayo – Cariamanga. Cortesía del Ing. Victor Maldonado (CNRH)



Foto # 8 Piroclastos de Sacapalca cerca de Gonzanama. Cortesía del Ing. Victor Maldonado (CNRH).

Los aglomerados están formados casi enteramente por bloques angulares a sub-angulares. La Formación Sacapalca descansa discordantemente sobre el Batolito de Tangula que intruye a la Formación Celica. La Formación Sacapalca. Esta recubierta concordantemente por la Formación Gonzanamá, del Maestrichtiense.

Se desconoce el espesor de la Formación Sacapalca porque ocupa un graben, pero probablemente es del orden de varios miles de metros. Está intruída por la granodiorita de El Tingo que tiene una edad radiométrica de 49 millones de años por lo que se atribuye una edad paleocénica.

Formación Gonzanama (PcG).

Se encuentra en una franja estrecha a lo largo del borde oriental de la fosa ocupada por la Formación Sacapalca, al este del área de estudio. Es una secuencia de sedimentos volcánicos intercalados. Los sedimentos están bien estratificados en capas de 2 a 30 cm de espesor y consisten de lutitas predominantes negras y limolitas con areniscas y arenas de grano grueso. Estratos de Chert y concreciones calcáreas aparecen en las lutitas y capas delgadas de caliza que se encuentran a lo largo del camino de Nambacola.

Las rocas volcánicas son andesitas y consisten principalmente en toba y toba aglomerática con lavas intercaladas. La secuencia buza al este pero localmente, estratos contorsionados sugieren hundimiento intra-formacional, donde la estratificación es más gruesa aparece un plegamiento en chevron.

La Formación Gonzanamá descansa sobre la Formación Sacapalca con concordancia aparente en las localidades de Gonzanamá y Gerinoma, pero en otros sitios no se puede

establecer la relación. Está cubierta discordantemente por la Formación Loma Blanca y las Porfiritas Purunuma en la Cuenca de la Toma. Lo cual indica una edad Paleocénica para la Formación Gonzanamá que tiene por lo menos 1000 m. de espesor.

Batolito San Lucas (gsl)

Está compuesto por un granito grueso o granito biotítico de grano medio y está cruzado por diques aplíticos y pegmatíticos y en menor escala por laprófidos (Foto # 9). En la Juntas este Plutón presenta una estructura casi vertical con un rumbo de $N75^\circ$, en otros lugares la presencia de gneises bandeados sugieren la posibilidad de migmatización.



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

Foto # 9 Batolito de San Lucas, cerca de Loja Cortesía del Ing. Victor Maldonado (CNRH).

Eoceno

Intrusivos Tingo y Portachuelo (gt-gdp)

Se encuentran esparcidos sus afloramientos en la parte sur-este del área de estudio. El Intrusivo principal es el de Portachuelo que se extiende hacia la frontera con el Perú. Consiste fundamentalmente de granodiorita, con biotita, principalmente de grano grueso a medio, hasta muy fino en las áreas marginales. El Intrusivo El Tingo es una granodiorita de grano grueso, gris a rosado, con xenolitos de rocas volcánicas.

Pórfido Purunuma (Ep).

Las Porfiritas cuarzosas de Purunuma se encuentran sobre ambos lados de la Cuenca de Malacatos (Foto # 10). Representan una extrusión eocénica y una cuña intercalada de limo y lutita negra que sugiere sedimentación contemporánea. Afloran al oeste del área de estudio, en contacto con la Formación Chinguinda.



Foto # 10 Pórfido Purunuma 2 Km al este de la población de Purunuma Carretero Purunuma-Malacatos, Cortesía del Ing. Victor Maldonado (CNRH).

Oligoceno

Formación Saraguro (Os).

Consiste en una alternancia de lavas andesíticas y riolíticas con piroclásticos ácidos. Los piroclastos son predominantes y están representados por tobas finas, ignimbritas y aglomerados andesíticos (Foto # 11).

Las andesitas son de carácter intermedio y de color verdoso, muy meteorizadas, forman un gran escarpe como consecuencia de la Falla del Río Jubones. En general, la Formación Saraguro tiene un buzamiento suave hacia el Suroeste. Su potencia ha sido estimada alrededor de 3000 m.



Foto # 11 Aglomerados Andesíticos de la Fm. Saraguro 3 Km al NE de Poblacion Saraguro Carretero Saraguro – Cuenca. Cortesía del Ing. Victor Maldonado (CNRH).



BIBLIOTECA FI
ESPOL



Granodiorita de Amaluza (Gda).

Como su nombre lo indica consiste en una granodiorita/tonalita que intruye , en el extremo norte del área de estudio a las rocas volcánicas de la Formación Saraguro. Las edades radiométricas sugieren que esta intrusión se emplazo en la transición del Oligoceno al Mioceno. Aflora en el extremo Norte del área de estudio.

Formación Loma Blanca (OMI).

La Formación Loma Blanca consisten en un aglomerado basal cubierto por toba aglomerática, toba, flujos de lava y sills (Foto # 12). Los aglomerados contienen bloques de más de un metro de diámetro. Las tobas que llegan a ser dominantes al Sur de la formación, en el área de estudio, son generalmente amarillas y de composición andesítica. Contienen abundantes cristales de cuarzo y fragmentos de filita de más de 4 cm de diámetro. Un flujo de lava presente en la formación es una andesita porfírica con fenocristales de hiperteno y andesita en una matriz de vidrio ligeramente desvitrificada y cristales de magnetita.

Se estima que el espesor supera los 1500 m. En el extremo meridional de la Cuenca de Loja aparece un afloramiento pequeño de aglomerados andesíticos. Esta formación descansa discordantemente sobre las rocas metamórficas de la Formación Chinguinda al este de la zona de estudio.



Foto # 12 Volcánicos de Loma Blanca Población Loma Blanca. Cortesía del Ing. Victor Maldonado (CNRH).



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

Mioceno

Formación San Cayetano (Ms).

Descansa concordantemente sobre la Formación Trigal. Está constituida por areniscas finamente estratificadas, limolita, lutita silícea, lutita calcárea, mantos de carbón, estratos delgados de conglomerados y capas guijarrosas. Las areniscas están bien estratificadas, de color gris a amarillo. Muestran localmente, estratificación cruzada. Las lutitas contienen vetas de yeso de más de 10 cm de espesor y fracturas cubiertas de sulfuro. *Las lutitas blancas silíceas forman escarpas prominentes y contienen capas de diatomitas separadas por capas más suaves de tierra diatomácea.* Los mantos de carbón que llegan hasta 2 m. de espesor: están clasificados como sub-bituminosos a

lignitos. El espesor de la Formación se estima en 700 m y aflora al este del área de estudio.

Formación Trigal (MT)

Descansa concordantemente sobre la Formación Loma Blanca. Esta constituida por arcilla con capas delgadas de arenisca, limolita y toba. Las arcillas contienen vetas de yeso y cristales de selenita impregnada de sulfuro. Mantos de lignito se encuentran al tope de la formación. El espesor es de 450 m. La Formación Trigal (Foto # 13) en la Cuenca de Loja está localmente laminada y en la zona de estudio aflora al Este del área.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Foto # 13 Formación Trigal Yesos de Malacatos. Cortesía del Ing. Victor Maldonado (CNRH).

Intrusivo (Ti).

Roca intrusiva. Localizado en el Nor-este del área de estudio.

Volcánicos Pisayambo (MPIp).

Esta unidad está localizada en el extremo centro oeste del área de estudio conformada de lavas andesíticas basálticas, de 10 a 25 m de espesor y piroclastos que son principalmente aglomerados con bloques de la misma composición de las lavas. Generalmente son horizontales o con buzamientos débiles. Su edad según el mapa geológico a escala 1:1.000.000 del CODIGEM (93) es Terciario.

Plioceno

Formación Quilollaco (MPIQ).

Descansa discordantemente sobre las formaciones del Terciario más antiguas (Foto # 14). Está compuesta principalmente de conglomerados con arenas de grano grueso, arenisca y limolita micácea, formando capas prominentes. El conglomerado es generalmente amarillento-café y lo forman componentes bien redondeados, de 2 a 30 cm de diámetro de cuarcita, cuarzo de vetas, filita y esquistos sericíticos derivados de las rocas metamórficas circundantes. Tiene estratificación gruesa y en la Cuenca de Loja forman crestos pronunciados. El espesor es cerca de 800 metros y en el área de estudio se encuentra ubicada al este.

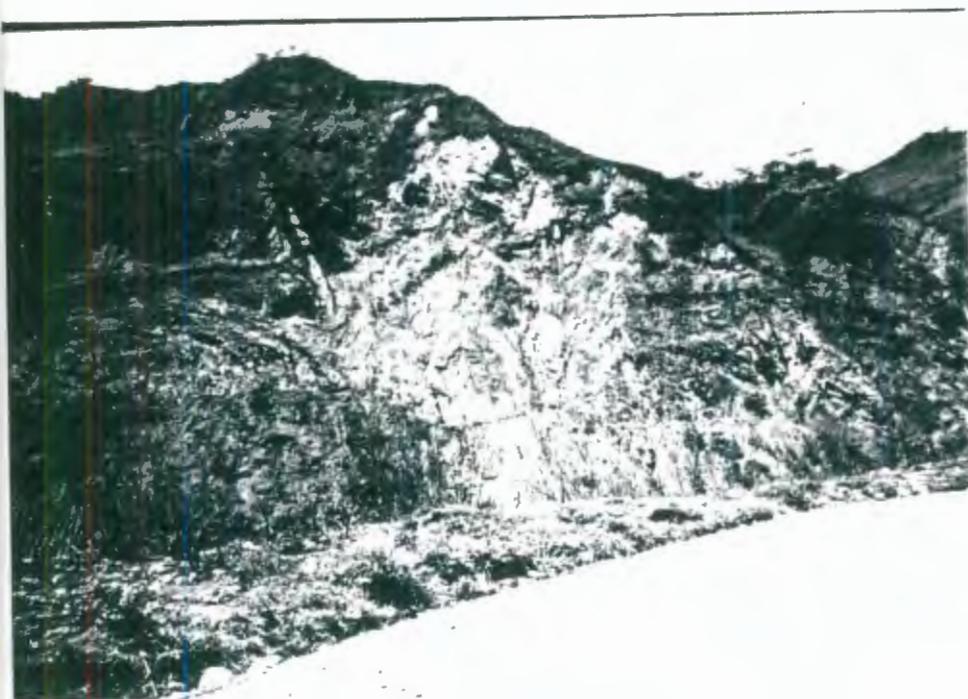


Foto # 14 Contacto Quilollaco y Chinguinda Salida al carretero Loja – Llangana. Cortesía del Ing. Victor Maldonado (CNRH).

Cuaternario

Pleistoceno

Flujos de Lava andesítica (P).

Este grupo de rocas está constituido por un flujo extenso de pórfidos andesíticos que cubre la superficie al sur de Gonzanamá y un domo de lava con irradiación de flujos de ignimbrita al NO de Gonzanamá. En general, se localizan en el sector centro este del área. Un flujo extenso de pórfidos andesíticos cubre la superficie al Sur de Gonzanamá, y al Noreste de Gonzanamá un domo de lava ha irradiado flujos de ignimbritas.



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

Holoceno

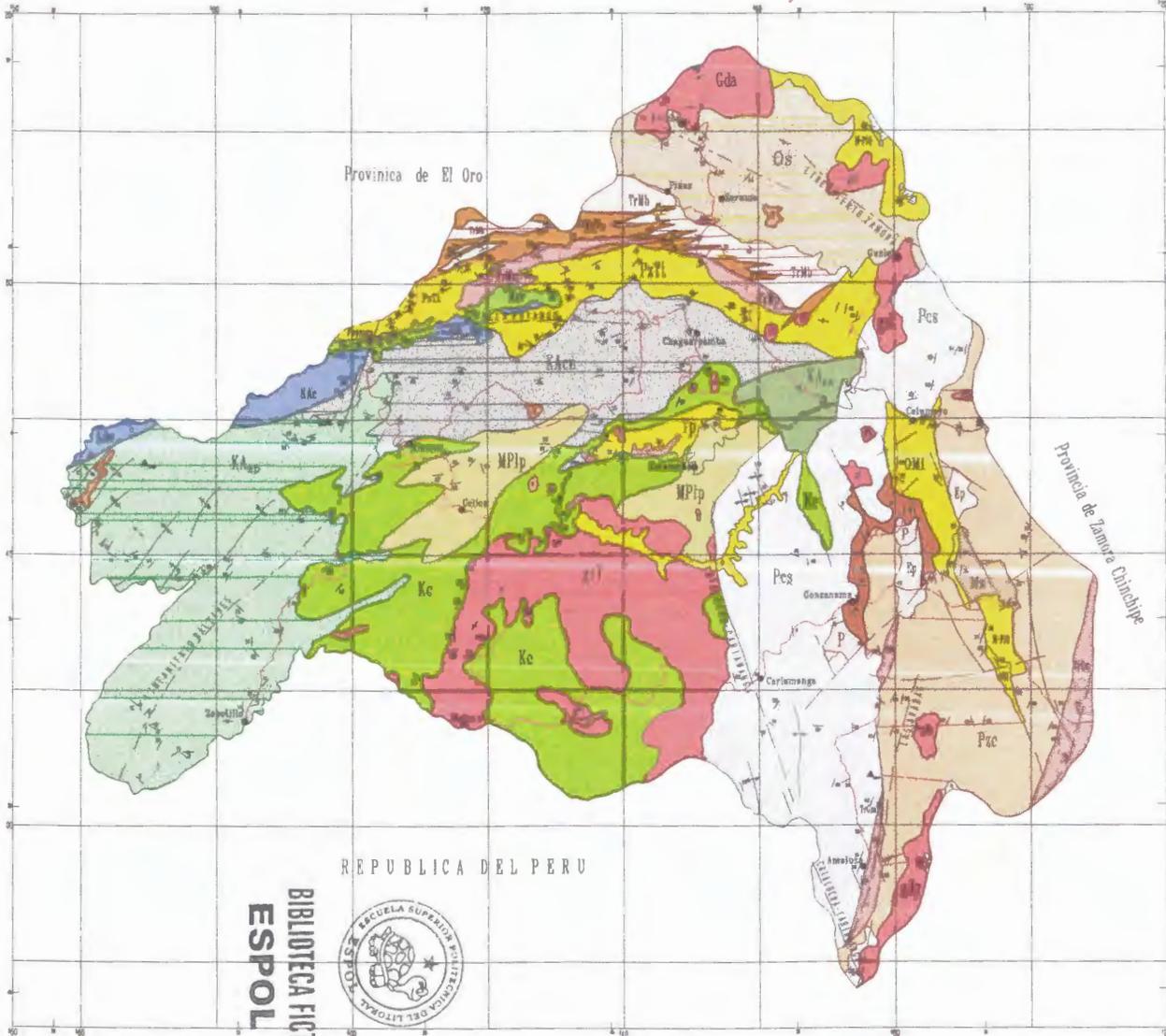
Depósitos Glaciales (dg).

Los depósitos glaciales son morrenas y tilitas prominentes que ocupan las depresiones a lo largo de la cordillera de los Andes, sobre los 3.200 m. Se encuentran ubicados en el sur y norte del área de estudio.

Depósitos Aluviales y Coluviales (a-c)

Los depósitos aluviales se hallan confinados a los valles de los ríos y en particular a las áreas de los Plutones graníticos debido a que la roca gruesamente granulada es fácilmente rota por los procesos de meteorización. Varios tramos con material coluvial se encuentran en los valles tributarios del Río Playas.

El afloramiento de todas estas Formaciones y Unidades se aprecia claramente en el mapa geológico del área, a escala de 1:500.000 (Mapa # 4). En la leyenda se detalla de forma sintética, la litología en orden cronológico de cada Formación geológica, con sus respectivas simbologías y color. Este dato fue el principal para realizar la clasificación primaria de las unidades.



EDAD		DESCRIPCION LITOLÓGICA	
SÍMBOLO	DESCRIPCION	SÍMBOLO	DESCRIPCION
CENÓZOICO	Quaternario	Qa	Aluviales y terrazas
	Neógeno	Ng	Depositos continentales
	Paleógeno	Pg	Depositos marinos
MESOZOICO	Triásico	Tr	Fajas de lava andalítica
	Jurásico	Ju	Depositos marinos y volcanes andalíticos
	Cretácico	Cr	Fajas de lava y piróxenos de composición andalítica o félsica
	Triásico	Tr	Basas volcánicas y Conglomerados andalíticos
	Jurásico	Ju	Andalítica y lavas raras
	Cretácico	Cr	Conglomerados (basas andalíticas, andalítica y andalítica) (CMB II)
	Triásico	Tr	Andalítica y lavas raras en las fajas de la zona de Inabanga (CMB II)
	Jurásico	Ju	Principal cuerpo intrusivo que se emplaza en zona andalítica
	Cretácico	Cr	Lavas andalíticas e raras, piróxenos (CMB III)
	Jurásico	Ju	Porfírida cortical con intercalaciones de lavas y lavas
PALEOZOICO	Triásico	Tr	Granodioritas y granitos
	Jurásico	Ju	Granodioritas y granitos
	Cretácico	Cr	Granodioritas y granitos
	Triásico	Tr	Granodioritas y granitos
	Jurásico	Ju	Granodioritas y granitos
	Cretácico	Cr	Granodioritas y granitos
	Triásico	Tr	Granodioritas y granitos
	Jurásico	Ju	Granodioritas y granitos
	Cretácico	Cr	Granodioritas y granitos
	Triásico	Tr	Granodioritas y granitos
PRIMARIO	Triásico	Tr	Lavas, brechas y arenitas con intercalaciones de andalítica y porfírida (CMB II)
	Jurásico	Ju	Granodioritas y granitos
	Cretácico	Cr	Granodioritas y granitos
	Triásico	Tr	Granodioritas y granitos
	Jurásico	Ju	Granodioritas y granitos
	Cretácico	Cr	Granodioritas y granitos
	Triásico	Tr	Granodioritas y granitos
	Jurásico	Ju	Granodioritas y granitos
	Cretácico	Cr	Granodioritas y granitos
	Triásico	Tr	Granodioritas y granitos
TERCIARIO	Triásico	Tr	Lavas, brechas y arenitas con intercalaciones de andalítica y porfírida (CMB II)
	Jurásico	Ju	Granodioritas y granitos
	Cretácico	Cr	Granodioritas y granitos
	Triásico	Tr	Granodioritas y granitos
	Jurásico	Ju	Granodioritas y granitos
	Cretácico	Cr	Granodioritas y granitos
	Triásico	Tr	Granodioritas y granitos
	Jurásico	Ju	Granodioritas y granitos
	Cretácico	Cr	Granodioritas y granitos
	Triásico	Tr	Granodioritas y granitos

SIMBOLOS GEOLÓGICOS	
(Línea con guiones)	ESTRATIFICACION CON INCLINACION
(Línea con guiones y punto)	ESTRATIFICACION CON SUZAMIENTO HORIZONAL
(Línea con guiones y punto)	FALDÓN NOROCCIDENTAL
(Línea con guiones y punto)	FALDÓN SURESTE
(Línea con guiones y punto)	FRACCIÓN CON SUZAMIENTO
(Línea con guiones y punto)	TRINCHERA NEOTECÓNICA

CARTA TEMÁTICA ELABORADA EN BASE A:
 - CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA ESC. 1:100.000 ELABORADA POR EL CSO
 - CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA ESC. 1:250.000 ELABORADA POR CLIRSEN PARA EL PROYECTO POTENCIAL MINERO FASE I JULIO-87
 - INFORMACION SATELITARIA LANDSAT-5 TM JULIO-84 AGOSTO 86

CLIRSEN
 CENTRO DE LEVANTAMIENTOS INTEGRADOS DE RECURSOS NATURALES POR SENSORES REMOTOS
ESPOL
 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

PROYECTO: APLICACION DE SENSORES REMOTOS EN EL ESTUDIO DE ÁREAS PROPICIAS PARA LA PROSPECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS EN LA ZONA OCCIDENTAL DE LOJA

ELABORADO POR: Emilio Ferrnndez Leizaola / ESPOL / Emilio Jorge Cabrer Pea

BIBLIOTECA FICT ESPOL



REPUBLICA DEL PERU



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

2.2 Clasificación Litológica por Permeabilidad Primaria.

La naturaleza litológica de los terrenos que afloran en la cuenca hidrográfica juega un papel de orden, que demasiado a menudo no se tiene en cuenta. Condiciona la dureza y la permeabilidad de las rocas, esta última definida como la capacidad de un estrato o conjunto de estratos, que están constituyendo un acuífero, para dejar circular agua tanto en sentido vertical como lateral u horizontal, debido a sus características de formación, composición y textura original (Castany, 1971).

Como parte de un trabajo previo a la prospección, los datos litoestratigráficos obtenidos, permiten un estudio de permeabilidad de las rocas existentes en cada formación litológica. Este consiste en identificar el tipo de roca y comparar con las características generales de los materiales permeables como son: Aluviales, cantos y gravas, conglomerados, areniscas, areniscas arcillosas, areniscas calcáreas, cuarcita, arena fina, arena gruesa, arena y grava (Castany, 1975-pag. 54). Además de identificar las rocas impermeables, estas son: Arcilla, arcilla arenosa, esquisto, marga arenosa o silíceas (Castany, 1975-pag. 55)

La expresión litológica de los materiales que afloran en el área de estudio, se representan en el mapa de facies, útil para todo tipo de trabajo hidrogeológico, en el que se identifica el tipo de materiales existentes en la zona, para comparar sus características con las de los materiales permeables. A este mapa se lo denomina mapa de permeabilidad primaria (Mapa # 5), en donde se identifican las formaciones de acuerdo a su capacidad permeable, con una calificación alta, media, baja y nula en el caso de las rocas impermeables.

BIBLIOTECA



FACULTAD DE ING.
EN CIENCIAS DE LA TIERRA

2.2.1 Permeabilidad primaria Alta.

La prospección de aguas subterráneas de una región suele empezar generalmente por el reconocimiento de los terrenos no consolidados. Esta preferencia está fundada en varias razones como la que estos terrenos son los que se perforan y excavan con mayor facilidad, por lo que su explotación mecánica es rápida y poco costosa, también que se encuentran en una posición hidrogeológica altamente favorable para su recarga natural a partir de lagos y ríos.

En este grupo están las formaciones que acumulan agua subterránea y son capaces de cederla, recibiendo el nombre de acuíferos. Los acuíferos sirven como conductos de transmisión y como depósitos de almacenamiento. Como conductos de transmisión transportan el agua subterránea de las áreas de recarga, hacia lagos, pantanos, manantiales, pozos y otras estructuras de captación. Como depósitos de almacenamiento, los acuíferos actúan suministrando agua de sus reservas para ser utilizada cuando la extracción exceda a la recarga y, a la vez, almacenando agua durante los períodos en que la recarga resulta mayor que la extracción.

Por presentar las características litoestratigráficas de los materiales permeables los aluviales de la zona de estudio están en este grupo, en el mapa de permeabilidad primaria son de color amarillo, estos se ubican en los alrededores de Catamayo y en la parte central del área de estudio, atravesando el Batolito de Tangula y el contacto de Sacapalca con Pisayambo, en el Sur de Catacocha.

Junto a los acuíferos propiamente dichos, aparecen otras formaciones que por su litología muestran posibilidades de contener agua y de permitir su circulación, tales como: los acuitardos, acuíclúdos o acuícierres y los acuífugos.

2.2.2 Permeabilidad primaria Media.

Los acuitardos son formaciones geológicas semipermeables clasificadas como permeabilidad media, conteniendo agua en gran cantidad, la transmiten muy lentamente, por lo que en estas formaciones tampoco resulta adecuado emplazar captaciones; no obstante, en determinados casos, la presencia de un acuitardo puede proporcionar a un acuífero que esté en contacto con él, una recarga vertical que puede llegar a ser importante.

Las arcillas limosas y arenosas, materiales impermeables pero de importancia antes mencionada, existen en las Formaciones Trigal y Río Playas, esta última actúa como un transmisor a las arenas y conglomerados existentes en la misma formación. La Formación Trigal aflora en una extensión casi insignificante en toda el área de estudio, pero puede comportarse como impermeable de los conglomerados en el contacto con la Formación Loma Blanca.

2.2.3 Permeabilidad primaria Baja

Los acuicludos o acuicerres son formaciones geológicas impermeables que se las clasifica como bajas en el contenido de agua, y no la transmiten, haciendo de este modo imposible su explotación. En este caso están las arcillas, que a pesar de contener enormes cantidad de agua no la drenan por gravedad ni la dejan pasar; por consiguiente, no son aptas para la construcción en ellas de captaciones de agua subterránea. No existen este tipo de materiales con este comportamiento exclusivo en el área de estudio, debido a que la geología del sector es de origen volcánica en su gran mayoría. Pero se incluyen por su comportamiento permeable bajo las rocas sedimentarias y los no-conglomerados.

Las rocas sedimentarias en especial las calizas tienen un comportamiento, intermedio, es decir a más de identificar su litología es necesario saber su afección estructural o permeabilidad secundaria, debido a esta razón clasifican en este grupo, para ser correctamente calificadas en el capítulo de permeabilidad secundaria. En este grupo están también los materiales no-consolidados, coluviales y depósitos glaciales. Los depósitos glaciales y coluviales por presentar un carácter heterogéneo en su granulometría hacen que hidrogeológicamente resulte de baja permeabilidad (Castany, 1971). En el mapa, todas estas formaciones llevan el color verde, con su respectiva descripción litológica.

2.2.4 Permeabilidad primaria Nula.

Los acuifugos son aquellas formaciones geológicas impermeables que se las clasifico como nulas, que no contienen agua posible de explotar, ni la pueden transmitir, tales como, por ejemplo, los macizos rocosos no alterados. Estas formaciones están de color rojo en el mapa de permeabilidad primaria (Mapa # 5), que aún quedan a criterio de su permeabilidad secundaria.

CAPITULO 3

TRATAMIENTO DE IMAGENES DE SATELITE

La información de imágenes satelitarias es de gran utilidad en los tópicos de investigación en geología, como son: Cartografía Geológica y Geomorfológica, Mapeo Litológico, Riesgos Naturales, Estudios Hidrogeológicos, Prospección Geológico Minera, Geología Estructural, etc.

En esta investigación se utilizo la información que ofrece las imágenes de satélite para completar la geología estructural del área de estudio, identificando lineamientos y fallas, difíciles de reconocer en el campo. Esta información será utilizada (en el capítulo 4) para calificar la permeabilidad secundaria de las mismas formaciones estratigráficas establecidas en el capítulo anterior.

En este capítulo, se describe los beneficios que ofrecen las diferentes imágenes satelitales, delineando el tipo de información que se debe procurar para esta investigación específicamente. La selección de la escala y el soporte para analizar la información requerida están presentadas junto con la preparación preliminar de las imágenes. Al final, se presenta el mapa de lineamientos del área del estudio, el producto del procesamiento de los datos satelitales, verificados con los datos básicos del campo.

3.1 Productos de Sensores Remotos

Para las Ciencias de la Tierra en general, y para el Geólogo en particular, los productos de sensores remotos permiten un enfoque diferente y complementario de los métodos



clásicos, como son, los trabajos de campo y foto-interpretación. Sus ventajas en comparación con los métodos clásicos son:

- 1.- Una visión panorámica de la superficie terrestre que permite aprovechar el efecto de escala y ver mejor ciertos objetos de gran tamaño que no detecta fácilmente el geólogo a nivel de la superficie.
- 2.- Una visión sintética que permite penetrar la cobertura de nubes y la vegetación y también resaltar la presencia de humedad del suelo.
- 3.- La posibilidad de obtener información física digitalizada sobre los objetos que afloran en la superficie terrestre (suelos, rocas).
- 4.- La posibilidad de repetir las tomas de imágenes.

Las imágenes de fotografías aéreas también coinciden con la primera ventaja, aunque en las tres últimas, los productos de sensores remotos muestran una gran superioridad a la técnica de foto-interpretación.

En el Ecuador, se disponen productos de los siguientes sensores remotos:

- a) Satélites ERS-1 y 2 de apertura sintética (Agencia Espacial Europea),
- b) Satélite Spot (Francia),
- c) Satélite Landsat-TM (Estados Unidos).

De estos, lo más adecuado para este estudio son las imágenes del Satélite ERS, que utiliza la tecnología de radar, la cual permite registrar la información sobre películas

embargo, el principal problema de este sensor radica en la distorsión que presentan en las zonas montañosas (como muestra claramente la Fig. 2), la cual requiere ciertas correcciones que desafortunadamente no se disponen en el país, actualmente. El área de este estudio abarca una zona montañosa muy amplia, razón por la cual no se trabajo con productos de Satélites ERS-1 y 2.

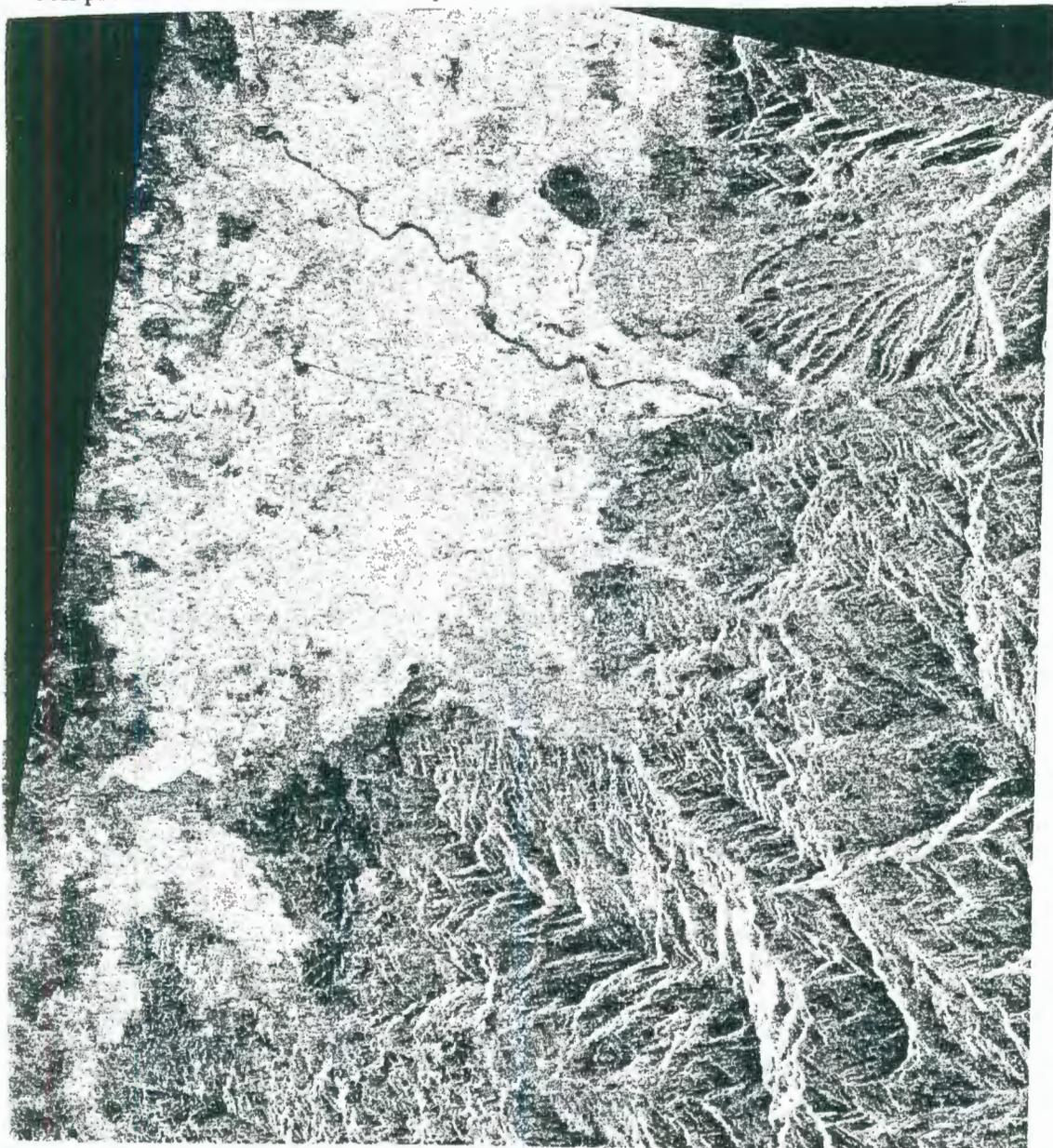


Fig. 2.- Distorsiones en zonas montañosas -Imagen de Radar-Estribaciones de la cordillera de los Andes -La Toma-



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Los satélites Spot y Landsat, ambos ofrecen una imagen adecuada del área de estudio, para obtener la estructura geológica de la zona. Debido a la gran superficie que pueden abarcar las imágenes Landsat (127 x 127 Km²) en comparación con las imágenes de Spot (60 x 60 Km²), lo más adecuado para el gran área de trabajo es el Satélite Landsat.

3.1.1 Selección del tipo de Imagen

Para este estudio se procura inferir la marcada afectación estructural que permita mapear fallas y lineamientos, obtenidas en el rango del espectro infrarrojo (ver apéndice A), en el cual las imágenes del área sean libre de cobertura vegetal, y que las estructuras y lineamientos sean muy visibles.

Las imágenes de Landsat se analizan a través de siete rangos (bandas) de longitud de ondas, de luz visible hasta el infrarrojo, que resaltan diferentes detalles de la superficie terrestre (ver apéndice B). De estas, las imágenes de las bandas 2, 3, 4 y 5 son utilizadas principalmente para estudiar la vegetación y la humedad de los suelos. En la banda 7, que se utiliza en este trabajo, se efectuaron realces para obtener una mejor resolución de los elementos estructurales geológicos, que mediante la interpretación permite obtener mapas de lineamientos. El satélite que ofrece estas imágenes a la Estación Cotopaxi, en Ecuador, es Landsat-TM 5, utilizado en la elaboración de mapas temáticos.

3.1.2 Soporte

El soporte sobre el que puede realizarse la interpretación depende del tipo de tratamiento que se aplique. CLIRSEN ofrece como soporte las siguientes opciones:

LA BIBLIOTECA



FACULTAD DE ING.
EN CIENCIAS DE LA TIERRA

- a) Película negativo y fotografías blanco y negro o a color
- b) Película positivo o transparencias
- c) Datos digitales en CD-ROM o en diskettes.

De los negativos se puede obtener tantas ampliaciones como sea necesario. El papel fotográfico garantiza una interpretación directa de alta calidad, pero resulta rígida la escala y tampoco admite copias porque se disminuye la calidad. Cuando se opte por el soporte digital de las imágenes, este debe ser compatible con el tipo de computadora y programas que se usan para procesarlo.

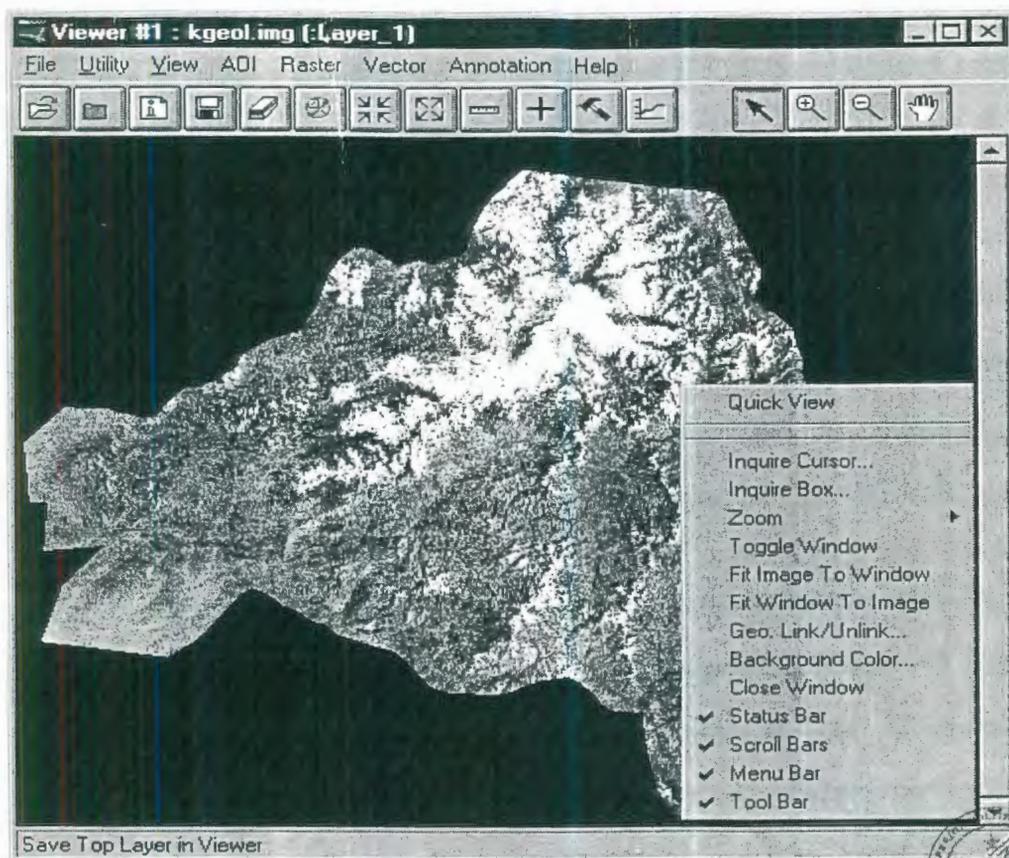
3.1.3 Selección de la escala

El área de estudio abarca un total de 10.889 Km², por lo cual se estimó conveniente los productos del Satélite Landsat-TM 5. La resolución de sus imágenes se disponen a escalas 1:100.000 y 1:250.000, ambas escalas son manipulables en la computadora sin afectar la precisión. Sin embargo, la gran superficie del área del estudio implica, si se usa la primera escala, un mayor consumo de los limitados recursos que se disponían para el análisis, por lo cual se estimo conveniente la escala de 1:250.000.

3.1.4 La preparación de mosaico

La fecha mas adecuada para este tipo de análisis es la fecha en la que la cobertura de nubes sea baja. Los sensores de Landsat no atraviesan las nubes, y las imágenes en su mayoría estaban con un alto porcentaje de cobertura de nubes (fig. 3.2), por lo cual se realizó una combinación de imágenes en forma de mosaico para lograr el total del área de estudio con la menor cobertura de nubes. Para preparar el mosaico, se utilizó dos

área de estudio con la menor cobertura de nubes. Para preparar el mosaico, se utilizó dos imágenes de fechas diferentes, Enero/97 y Abril/95, correctamente georeferenciadas (ver sección 3.2), y se eliminó la parte ya cubierta de nubes en cada una de las imágenes, empatando las zonas despejadas de ambas.



**Fig. 3.2.- Alto porcentaje de cobertura de nubes.
Area total de estudio.**

BIBLIOTECA FICT
ESPOL

3.2 Método de Procesamiento

Se puede procesar la información ya obtenida en forma digital o visual. Cabe analizar cual de estos métodos resulta mas idóneo según el tipo de análisis y los equipos que se disponen. Las ventajas del tratamiento digital sobre el visual son:

- Permite una georeferenciación sencilla y rápida.
- Utilización inmediata de la información en un Sistema de Información Geográfica (SIG).
- Permite analizar datos sobre áreas de gran tamaño en un tiempo y costo bajo, si se disponen de los equipos y los programas.
- los datos de análisis visual deben ser digitalizados al final para preparar cartografías. este paso se evita en el análisis digital.

Como se permitió aprovechar la tecnología ofrecida en CLIRSEN para este estudio, se optó para un tratamiento digital a la información, debido a la gran superioridad de este sobre el tratamiento visual. Además de las computadoras de último modelo, en CLIRSEN se disponían el programa para el tratamiento de imágenes, ERDAS IMAGEN Ver-8.2 y el programa para diseños de mapas, MICRO-STATION 95.

Antes de trazar lineamientos en la imagen dentro del programa ERDAS, se debe georeferenciarla, es decir, transformar las coordenadas de la imagen en coordenadas cartográficas (UTM o Geográficas), con el objeto de que la imagen pueda superponerse sobre los mapas convencionales. Para este proceso, se localizan como mínimo tres puntos comunes y bien identificables en la imagen como en el mapa (por ejemplo, la unión de dos ríos), puntos suficientemente alejados entre sí, y los píxeles correspondientes de la imagen se los identificarán con las coordenadas de los puntos del mapa.

3.3 Mapa de lineamientos

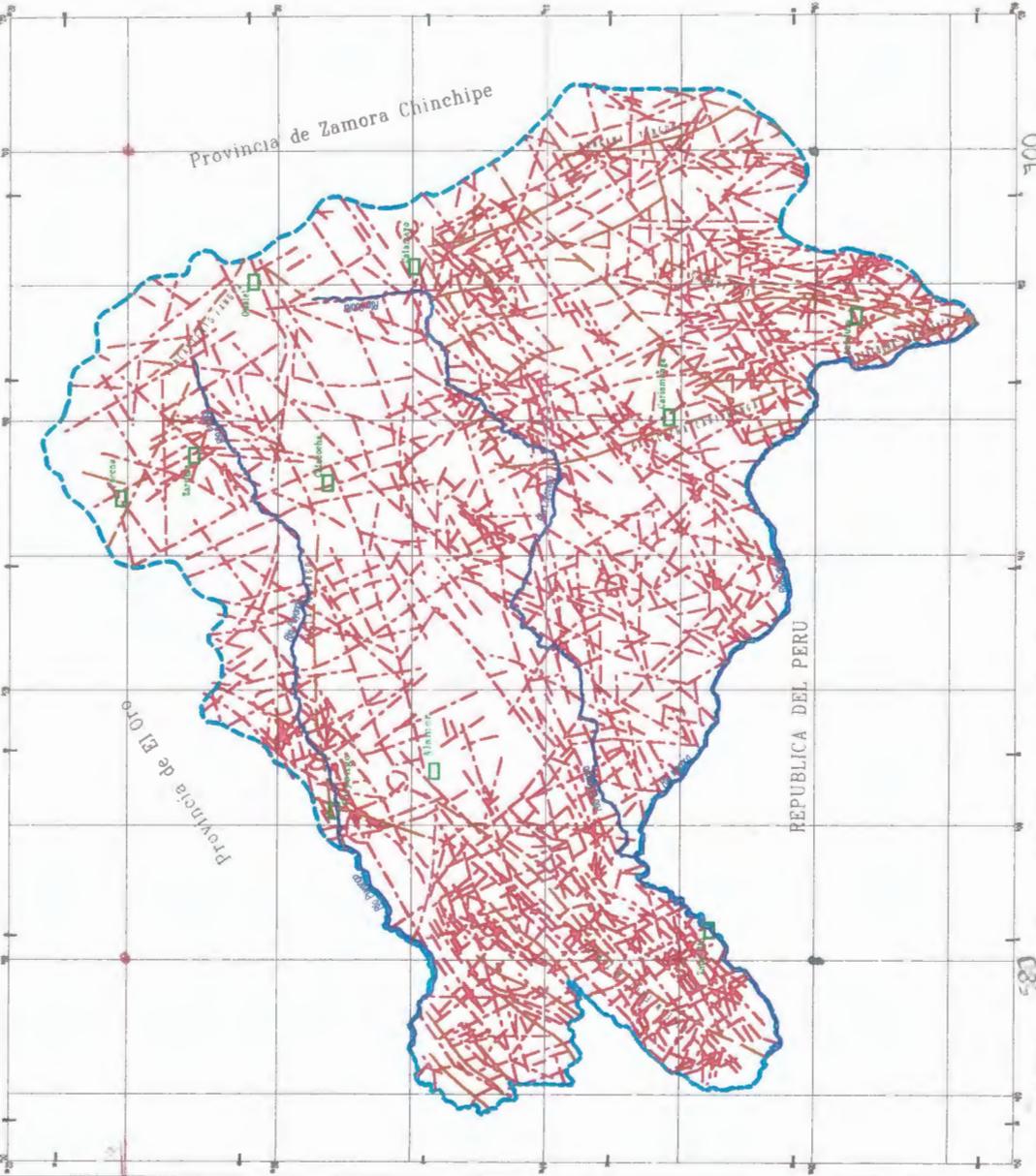
Se preparó el mapa de lineamientos del área de estudio (fig. 3.3), ubicando en la imagen todas las fallas geológicas, lineamientos secundarios y las estructuras circulares

principales. Las fallas y lineamientos principales tomados del mapa del Proyecto Minero (CLIRSEN, 1997) se digitalizaron para sobreponer en la imagen de Landsat, lo cual sirvió para verificar las estructuras que muestra la imagen, y al mismo tiempo, como una guía para identificar más lineamientos en la misma.

PROVINCIA DE LOJA

ECUADOR - ESCALA 1:1.000.000

ESPOL - CLIRSEN



LEYENDA

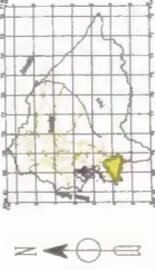
SIGNOS CONVENCIONALES

- Límite Internacional
- Límite del Proyecto
- Límite del Estado
- Límite del Cantón

SIGNOS GEOLOGICOS

- Falso Definido
- Falso Inferido
- Límite de Estudio

Mapa de Ubicación Area de Estudio



CARTA TEMÁTICA ELABORADA EN BASE A:

- CARTA TOPOGRAFICA ESC. 1:50.000 DEL INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR
 - MAPA DE LINEAMIENTOS ESC. 1:250.000 ELABORADO POR CLIRSEN PARA EL PROYECTO POTENCIAL MINERO FASE 1 JULIO-89
 - INFORMACION SATELITARIA LANDSAT-5 TM AGOSTO-86 ENERO-88 BANDA T4. INDICADOS DE INDIAR DE AEROFOTOSINTECICA ES ALA 1:100.000
- NOTA: LOS LIMITES FUERON DELIMITADOS POR LAS CUENCAS HIDROGRAFICAS DE PUYANGU Y CATAMAYO.

MAPA DE LINEAMIENTOS

INFORMACION: ACTUALIZADA A 1-1-93B

PROYECCION TRANSVERSA DE MERCATOR
ESFEROIDE INTERNACIONAL ZONA 17

CLIRSEN

CENTRO DE LEVANTAMIENTOS INTEGRADOS DE RECURSOS NATURALES POR SERVICIOS TERRESTRES

ESPOL

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
PROYECTO: ASIGNACION DE SERVIDOS REMOTOS EN EL ESTUDIO DE AREAS PROPICIAS PARA LA PROSPECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS EN LA ZONA OCCIDENTAL DE LOJA

Elaborado por: Lancy J. Jarama-Balboa
Revisado por: Jorge Salazar
Fecha: Agosto-89



BIBLIOTECA FIGT
ESPOL



CAPITULO 4

PERMEABILIDAD SECUNDARIA



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

La permeabilidad secundaria es conocida como la capacidad que ofrece una roca para permitir la circulación de agua, adicional e independientemente a la permeabilidad, que facilita las características originales de su formación esta debido a fenómenos posteriores como relajamiento de esfuerzos o movimientos tectónicos que causa fallas o fisuras o en general lineamientos en su estructura original.

Primeramente, se clasifican las formaciones en base a su litología típica, para obtener el mapa de división estratigráfica. Esta clasificación facilita identificar las zonas con rocas compactas, por Ejemplo, las rocas volcánicas que tienen las características de mostrar mayor fracturamiento, en zonas afectadas por lineamientos.

Combinando el mapa de división estratigráfica con el mapa de lineamiento obtenido en el capítulo anterior, se identifica las zonas de alta permeabilidad secundaria propicias para las prospección de aguas subterráneas.

4.1 División estratigráfica del área de estudio

Para preparar el mapa de división estratigráfica se utilizó la litología de las formaciones tomadas del mapa geológico del área de estudio (ver mapa # 4). Las formaciones que se encuentran en la zona se agruparon en cuatro divisiones estratigráficas importantes como rocas metamórficas, plutónicas, volcánicas y sedimentarias (tabla 1).

Las formaciones geológicas que presentan mayor fracturamiento y por consiguiente alta permeabilidad secundaria, son las rocas más compactas, las cuales tienen un



FACULTAD DE ING.
EN CIENCIAS DE LA TIERRA

comportamiento no-plástico, como son las rocas volcánicas. El proceso de metamorfismo también facilita la alta fracturación en las rocas metamórficas, como se evidencia en las vetas mineralizadas de Portovelo y Zaruma (Grupo Tahuín), que en definitiva son fallas rellenas de mineralización.

Aunque la transmisibilidad de algunos basaltos y andesitas suelen ser muy elevada, puede ocurrir que la explotación del agua subterránea de sus acuíferos presente grandes dificultades, porque el agua subterránea, al fluir libremente hacia los puntos de descarga natural constituidos por los cauces de los ríos o por el mar, puede encontrarse a grandes profundidades. Por lo tanto, el interés del hidrogeólogo en este tipo de terrenos suele estar dirigido a la localización de estructuras impermeables, que contribuyan a mantener elevada la posición del nivel freático. Dentro del área del estudio, se encuentran algunas formaciones volcánicas con estratificaciones sedimentarias las cuales podrían funcionar como estructuras impermeables.

Rocas Metamórficas	Rocas Plutónicas	Rocas Volcánicas	Rocas Sedimentarias
Grupo Tahuín	Granito Gnéisico	Celica	Zapotillo
Chinguinda	Unidad Plata	Gonzanama	Cazaderos
Zambi	Complejo Moromoro	Loma Blanca	Ciano
	Batolito de Tangula	Sacapalca	Trigal
	Batolito de San Lucas	Saraguro	Sedimentarias y Volcánicas
	Intrusivos Tingo y Portachuela	San Cayetano	
	Pórfido Purunuma	Volcánicos Pisayambo	
	Granito de Amaluza	Formación Quilloyaco	
	Intrusivo	Flujos de lava Andesítica	

Tabla 1.- Clasificación de las Formaciones de acuerdo al tipo de roca que la caracteriza.

BIBLIOTECA



FACULTAD DE ING.
CIENCIAS DE LA TIERRA

4.2 Análisis del Mapa de permeabilidad secundaria

Como ya se anotó anteriormente, el mapa de división estratigráfica (fig. 5) se utiliza en asociación con el mapa de lineamientos para la localización de áreas propicias para la prospección de aguas subterráneas, el resultado es el mapa de permeabilidad secundaria (Mapa # 6).

A continuación se presenta un análisis de la influencia de los lineamientos sobre las diferentes formaciones estratigráficas, con el fin de localizar zonas de alta permeabilidad secundaria. Este análisis califica no solo la alta o baja presencia de lineamientos en las formaciones sino que los compara en base a la composición litológica de la roca, siendo así que puede ser una zona muy fracturada pero su material litológico no es el adecuado entonces no califica con algún grado de permeabilidad secundaria.

Rocas Metamórficas

Las formaciones geológicas de rocas metamórficas son consideradas como nulas en permeabilidad primaria sin embargo, a través de sus fracturas y zonas descompuestas se puede desarrollar una considerable permeabilidad. Esta es significativa si los lineamientos van en dirección del buzamiento y también están asociadas a importantes sistemas de fallas.

En la parte centro norte del área de estudio, se encuentran las Unidades del Tigre y La Victoria (Aspend y Bonilla, 1995) del Grupo Tahuín, componentes del Complejo Metamórfico de El Oro, las cuales muestran lineamientos en direcciones NW-SE y NE-SW. La mayor concentración de lineamientos están ubicados en la parte occidental de

los afloramientos de estas unidades, ligeramente al norte de la Falla Puyango, que implica una alta permeabilidad secundaria en esta zona. La unidad Victoria por ser de un mayor grado de metamorfismo que la unidad El Tigre, (Asped y Bonilla, 1995) se suponen una mayor permeabilidad en la primera.

La Formación Chinguinda, que consiste de filitas, esquistos, cuarcitas y gneis, presenta lineamientos en direcciones E-W, NW-SE y NE-SW, la mayor concentración de estos se encuentran en la parte sur, donde también existen lineamientos en la dirección N-S.

Rocas Plutónicas

Las granodioritas y los granitos porfidocuarcíticos se intruyen en las formaciones de la parte este del área de estudio, cubriendo de sur a norte, abundando en la parte central. Solo los intrusivos del extremo sur (Granodioritas de Amaluza y Portachuelo) y los de centro norte (Unidad Bocana y Plutón El Prado del Complejo Moromoro) muestran mayor grado de fracturación entre todas las rocas plutónicas, calificando con buena permeabilidad secundaria.

Rocas Volcánicas

El mapa de lineamientos indica que las formaciones Celica y Gonzanama, ubicadas la primera en el centro del área del estudio y la segunda en la parte este, están altamente afectadas por los lineamientos. En general, la transmisibilidad de los basaltos y las andesitas, los componentes principales de dichas formaciones, suelen ser muy elevadas cuando estos se hayan afectados por fracturas, causando un rápido escurrimiento de agua subterránea. El interés que despiertan estos tipos de terrenos para la explotación del agua subterránea, entonces, está dirigido a la localización de niveles y estructuras



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

impermeables que impidan el escurrimiento rápido del agua. Las formaciones Celica y Gonzanama contienen capas impermeables de lutitas y areniscas intercaladas con los basaltos y las andesitas, y por lo tanto, impiden la salida del agua y contribuyen a elevar la posición del nivel freático.

La Formación Sacapalca, que cubre desde el sur hacia el norte en el extremo oriental del área de estudio, presenta muchas zonas afectadas por lineamientos. Esta unidad, que contiene andesitas, lavas y piroclastos, también podría sufrir del escape rápido de agua subterránea. Según Rivera (1985) esta Formación también presenta lutitas y areniscas (ver mapa # 5). En el extremo norte del estudio, la Formación Saraguro, de lavas andesíticas a porfiríticas y piroclastos, muestra una zona extensivamente cruzada de lineamientos alrededor de la población de Zaruma, aunque la posibilidad de la existencia de agua subterránea explotable es mínima, porque allí no se encuentran capas impermeables capaces de retener esta agua.

Rocas Sedimentarias

Las lutitas y limolitas con intercalaciones de andesitas y piroclastos de las Formaciones Zapotillo y Ciano, que abarcan todo el extremo occidente hasta la parte central norte del área del estudio, mantendrán elevado el nivel freático. Toda la zona está altamente fracturada, según el mapa de lineamientos. Se puede esperar que las intercalaciones de rocas volcánicas, también estarán fracturadas intensamente, y así, contribuirán almacenando agua que aumenta la permeabilidad secundaria.

Como resultado de esta clasificación de permeabilidad secundaria, se obtiene el mapa de permeabilidades (Mapa # 6) sobre el cual se ubican las áreas propicias para la prospección de agua subterránea. Para definir estas áreas claramente, es necesario

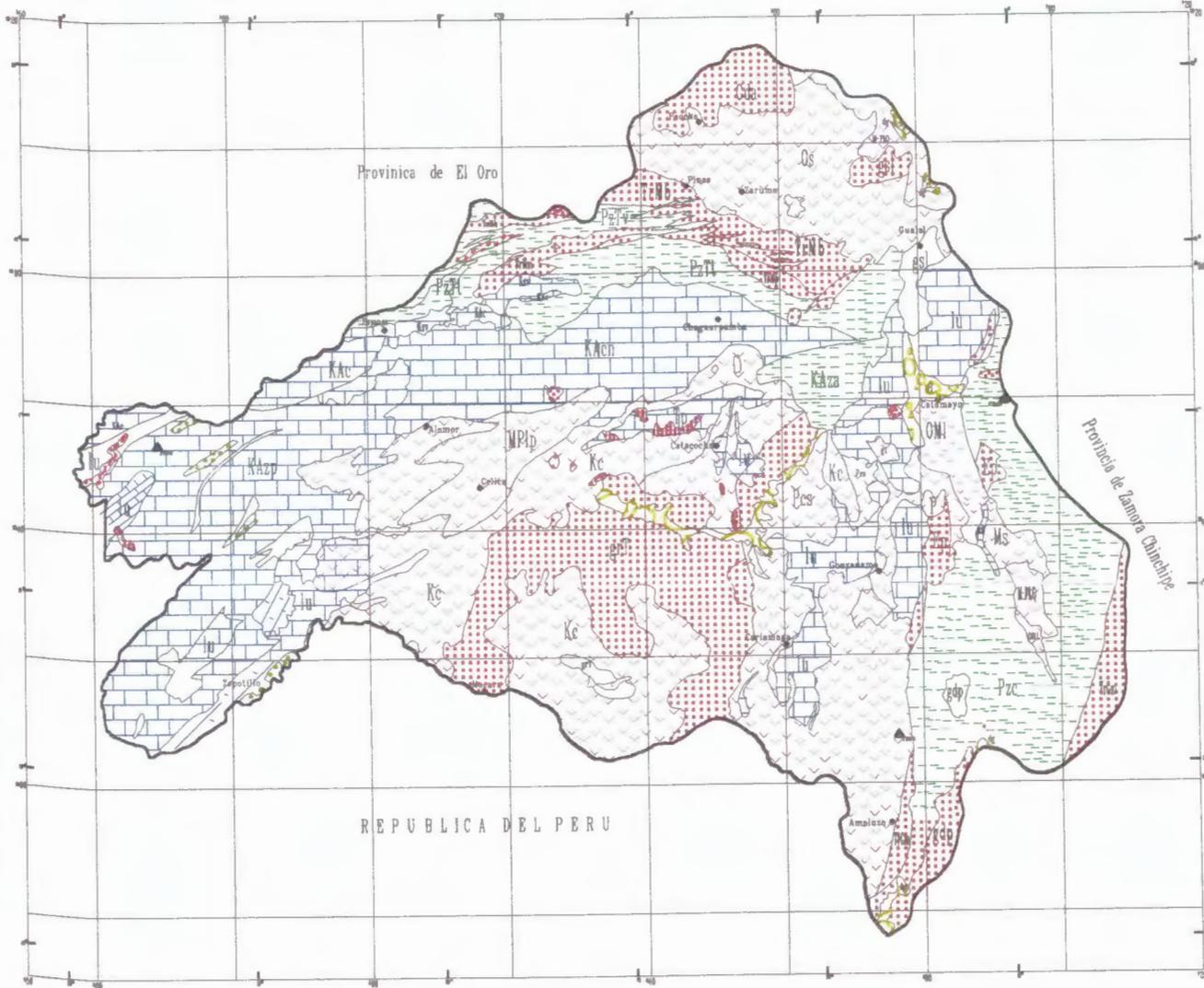
analizar el clima y la geomorfología de la zona y las evidencias que proporcionan los vertientes y pozos, la cual es la tarea del siguiente capítulo.

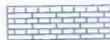
En cambio las filitas de Zambí no muestran alta concentración de lineamientos, aunque son altamente metaforizadas (ver sección 2.3), calificando por lo tanto un alto grado de permeabilidad secundaria, al igual que la zona sur de la formación Chinguinda.

Cuencas de Puyango y Catamayo

ECUADOR

ESPOL-CL IRSEN



-  Rocas Metamorficas
-  Rocas Plutonicas
-  Rocas Volcanicas
-  Rocas Sedimentarias
-  Aluviales



BIBLIOTECA FICT
ESPOL



REPUBLICA DEL PERU

DIVISION ESTRATIGRAFICA

CAPITULO 5

HIDROGEOLOGIA



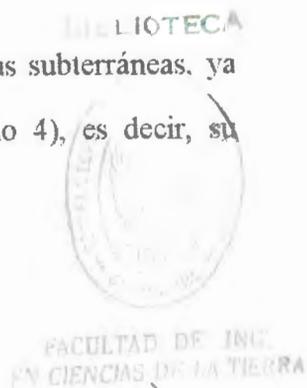
**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

La prospección de aguas subterráneas parte de un mapa hidrogeológico, que identifica las zonas propicias para la misma. En el proceso de la preparación del mapa hidrogeológico, los mapas de las divisiones litológicas, de los lineamientos, climatológicas y geomorfológicas son imprescindibles. También son útiles los datos hidrométricos y de calidad de agua para averiguar la presencia del líquido vital apto para el consumo humano.

En este capítulo se combina los datos obtenidos de los mapas de permeabilidad primaria y secundaria, para calificar las Formaciones, en zonas posibles para la prospección, de acuerdo a su capacidad de permitir la percolación de agua y mantenerla almacenada. Esta información será complementada con los datos sobre la precipitación y la geomorfología de las zonas, que identifican las áreas con mayores posibilidades de recarga. Una recopilación de información sobre los pozos y las vertientes existentes en el área de estudio facilita verificar la aptitud de las Formaciones para servir como acuíferos, y permite reclasificar las mismas, para definir zonas propicias para la prospección de agua subterránea. Al final, los datos sobre la calidad de agua de algunos pozos son utilizadas para confirmar la utilidad de todo este ejercicio.

5.1 Zonas Posibles para Prospeccionar

Aquí se combinan las zonas con posibilidades para prospeccionar aguas subterráneas, ya calificadas en base a su litología (capítulo 2) y estructura (capítulo 4), es decir, su



permeabilidad primaria y secundaria. Se las clasifican en un orden de prioridad para la prospección, desde las más aptas (Excelente) hasta las de mínima capacidad (Baja) de contener agua, y las mismas se identifican por distintos colores en el mapa de permeabilidades (mapa #7).

A continuación, estas zonas hidrogeológicas se las describen, en cuanto a su ubicación aproximada dentro del área de estudio, las Formaciones o las Unidades geológicas que están incluidas en cada una, y las características principales que fueron determinantes en la clasificación hidrogeológica.

Zona A (Excelente)

Localización:

Pequeñas unidades se presentan en los valles de los ríos principales, en el Norte y Sur del área de estudio. Están representadas en el mapa de permeabilidades con el color amarillo.

Formaciones geológicas Integrantes:

Depósitos aluviales.

Características Físicas:

Las formaciones componentes son detríticas sueltas con buena porosidad y permeabilidad primaria.

Zona B (Mediana)

Localización:

Cubre todo el área de estudio, a excepción de las áreas del extremo Norte y extremo Este.

Formaciones Geológicas:

Rocas sedimentarias en las Formaciones Rio Playas, Zapotillo, (Lutitas de) Sacapalca, Ciano y Cazaderos.

Rocas metamórficas de Unidades La Victoria y El Tigre.

Rocas Volcánicas de las Formaciones Celica, Gonzanama y Loma Blanca.

Características Físicas:

Todas las rocas sedimentarias contienen capas de lutitas negras, por consiguiente, son de permeabilidad primaria baja. Sin embargo, por su alta fracturación, se las consideran como de permeabilidad secundaria alta. Las rocas metamórficas contienen filitas, metamorfizadas en alto grado, lo que les da una permeabilidad primaria media, y como muestran mayor fracturación en la parte Oeste de las formaciones, se las clasifican con permeabilidad secundaria alta. Las rocas volcánicas de estas formaciones reciben una clasificación de permeabilidad primaria nula, debido a su litología, sin embargo, por presentar un alto grado de fracturación, combinada con la existencia de intercalaciones de lutitas y areniscas, se considera que tendrían una permeabilidad secundaria alta.

Zona C (Baja)

Localización:



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

Se encuentran aflorando principalmente en el Norte y Este del área de estudio.

Formaciones Geológicas integrantes:

Rocas volcánicas de Quilloyaco, Saraguro y San Cayetano.

Rocas metamórficas de Filitas de Zambí.

Rocas plutónicas de El Prado, Marcabelí, Granodiorita de Amaluza, Intrusivo de Portachuelo, Unidad Bocana, Batolito de Tangula y Batolito de San Lucas.

Rocas sedimentarias de la Formación Trigal.

Depósitos no-consolidados de glaciales y coluviales.

Características Físicas:

Las volcánicas y plutónicas están calificadas con permeabilidad primaria nula. La permeabilidad secundaria también se considera como baja, por no contener intercalaciones impermeables, a pesar de que están altamente fracturadas. Las Filitas de Zambí están medianamente metamorfozadas, con permeabilidad primaria baja, y no contienen un buen grado de fracturación, por lo tanto, su permeabilidad secundaria es baja. Los depósitos no-consolidados no están estratificados, por lo tanto, su permeabilidad primaria es baja, y no poseen una permeabilidad secundaria.

5.2 Zonas de Precipitación

En el capítulo 1, Características generales del área de estudio, se describe la información referente al clima de la zona de estudio. Las regiones climáticas (ver mapa # 1) indican el valor en milímetros de sus precipitaciones anuales. Las formaciones de las zonas posibles a prospectar, son ubicadas en estas regiones de acuerdo al promedio



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**



FACULTAD DE ING.
Y CIENCIAS DE LA TIERRA

anual de precipitaciones (Tabla 2), esto nos ayudará más adelante para la obtención final de las áreas propicias a prospectar.

Región	Lluvia anual (mm)	Invierno (mes)	Seca (mes)	Formaciones
3	200-500	E-A	M-D	Zapotillo
4	200-500			Zapotillo-Cazaderos Oeste-Aluviales de Loma Blanca-Sacapalca
7	500-1000	E-M	M-D	Zapotillo-Rio Playas-Oriente de Cazaderos.
8	500-1000	M-S	O-A	Celica-Ciano Este-B. Tangula-Zambi-Gonzanama Norte-Oeste de El Tigre-Aluviales-Sur de Loma Blanca-San Cayetano-Bocana Oriente-El Prado.
9	500-1000		J-S	Trigal-B.San Lucas Sur-Sacapalca-Gonzanama.
12	1000-1500	E-M	M-D	Oriente de Ciano-Occidente de Bocana-Marcabeli-El Prado-La Victoria-Este de El Tigre-Saraguro-Lutitas de Sacapalca .
13	1000-1500		J-N	G. Amaluza-Norte de San Lucas-Saraguro-Sur de Gonzanama-glaciales y coluviales.
14	1000-1500		J-A	Quiyollaco-Sedimentarias y volcánicas.

Tabla 2 Clima de las Formaciones posibles a prospectar.

Zona A (Excelente)

Los aluviales, en general, se encuentran en regiones donde las precipitaciones son del orden de 500-1000 mm anuales. Los aluviales de la Formación Loma Blanca reciben precipitaciones más bajas, de 200-500 mm anuales.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Zona B (Media)

Las Formaciones Zapotillo, la parte Oeste de Cazaderos y la parte Norte de Loma Blanca, reciben precipitaciones en el rango de 200-500 mm anuales. Las Formaciones que reciben 500-1000 mm de precipitación son: Río Playas, la parte Oeste de El Tigre, Celica, la parte Norte de Gonzanama, la parte Este de Ciano, la parte Sur de Loma Blanca y el afloramiento Oriental de Cazaderos. La parte Este de El Tigre, las Lutitas de Sacapalca, la parte Sur de Gonzanama, la parte Oriental de Ciano y las rocas sedimentarias y volcánicas, reciben una precipitación mayor, de 1000-1500 mm anuales.

Zona C (Baja)

San Cayetano, Zambí, la parte Oriental de Bocana, Plutón El Prado, Batolito de Tangula, Trigal y la parte Sur de Batolito de San Lucas, todas estas formaciones reciben precipitaciones de 500-1000 mm anuales. Quilloyaco, Granodiorita de Amaluzá, la parte Occidental de Bocana, Marcabeli, Saraguro, la parte Norte del Batolito San Lucas y glaciales y coluviales, todas estas reciben 1000-1500 mm anuales de precipitación.

5.3 Geomorfología vs. Infiltración

El método común de establecer la relación entre la precipitación y su aporte a los acuíferos de la zona es a través de realizar un balance hídrico, lo cual necesita, además de la precipitación, la evaporación real, el caudal de flujo, la escorrentía superficial y la variación de las reservas (Castany, 1975, p. 561). Sin embargo, la institución que maneja esta información, INAMHI, no cuenta con datos, suficientes y confiables, para

cubrir todo el área de estudio. Además, por la gran extensión del área de interés, la realización de un estudio detallado de este tipo demanda recursos en una magnitud, que no era disponible para esta investigación. Así, se optó para realizar una aproximación indirecta sobre la infiltración, utilizando el mapa geomorfológico.

Castany (1975, p. 305) define las características de arroyamiento según la pendiente del terreno. El caudal del arroyamiento en superficie es aproximadamente inversamente proporcional a la permeabilidad (Castany, 1971, p.48), es decir, a la infiltración. En las zonas principalmente secas, sin mucha vegetación, como es el área de estudio, esta relación asume una mayor validez, porque el aporte de la vegetación a la infiltración es mínimo. Por lo tanto, se puede aprovechar la relación entre el arroyamiento y la pendiente del terreno para obtener una evaluación aproximada del nivel de infiltración de agua precipitada que, a la vez, podría utilizar para calificar las zonas propicias para la prospección de agua subterránea.

En la Tabla 3, se refina y complementa la relación entre la infiltración y la pendiente, incluyendo información sobre el relieve de la zona, que también provee el mapa geomorfológico (ver sección 1.3).

Pendiente	Relieve	Infiltración
1 (0-5%)	CB, RP, RO	Alta
2 (5-12%)	CB, RP, RO	Media
3 (12-25%)	CM, CB, RP, RO	Baja
4, 5, 6, 7 (>25%)	CMA-RO	Mínima

Tabla 3 Clasificación de zonas de infiltración.

CMA= Colinas muy altas, CA= Colinas altas, CM= Colinas medias, CB= Colinas bajas,
RP= Relieve plano, RO= Relieve ondulado



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

Una comparación entre el mapa geomorfológico (mapa #3) y el mapa de permeabilidades (mapa #7), se permite establecer, y subsecuentemente calificar, las áreas que se benefician de la recarga de agua de infiltración, a causa de su bajo relieve y pendiente. Es importante recalcar que esta información no descalifica las áreas que se benefician de la recarga a causa de su litología, más bien, se la debe considerar como un aporte adicional.

Zona A (Excelente)

Los aluviales de Loma Blanca se encuentran en una zona de infiltración media, por estar en relieve plano (RP), con pendiente entre 5 a 12 %. Todos los otros aluviales están ubicados en zonas de infiltración mínima, por tener pendientes muy fuertes.

Zona B (Media)

Una pequeña parte en el extremo Oeste de la Formación Zapotillo esta ubicada en una zona de infiltración baja, es decir, con un pendiente entre 12 a 25 %, con colinas bajas. Todas las demás formaciones se encuentran en zonas de infiltración mínima.

Zona C (Baja)

Todas las formaciones que pertenecen a esta zona se encuentran ubicadas en áreas de infiltración mínima.



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

5.4 Recursos hídricos en explotación en el área de estudio

En el estudio regional de prospección de aguas subterráneas es de gran valor la recopilación de las características hidrogeológicas y factores del flujo de aguas subterráneas. Esta información es obtenida del inventario de los recursos hídricos de la institución nacional que ofrece este servicio, INAMHI.

Este inventario consiste en datos de base referentes a lugares de captación de aguas superficial y subterránea, su ubicación esta en coordenadas geográficas, las que se llevó a UTM mediante el software IDRISI para facilitar el manejo en los mapas en el área de estudio. Se clasificó estos datos en pozos perforados o excavados, vertientes y galerías de captación, con su nombre, el dato de identificación (pp=pozo perforado, pe=pozo excavado, v=vertiente, ga=galerías), altitud a la que se encuentra (m.s.n.m.), nivel estático en los pozos (n.e.) y la conductividad eléctrica (μm); cada uno contiene un numero y una letra que indica el nombre de la formación en la que se haya ubicado (ver Apéndice C). Los datos de caudales de pozos en las formaciones se obtuvo del informe que complementa el mapa hidrogeológico del plan hidráulico de Loja (Rivera, 1985). La Tabla 4 es un resumen de lugares de captación de aguas en cada formación, que permite verificar las zonas posibles para prospectar, calificadas anteriormente.

Nombre de la Formación	P.P	P.E.	V.	GA	Q(l/s)
Aluviales de Loma Blanca	3	4	-		40
Aluviales del Batolito de Tangula	4				15
Coluviales y glaciales					1-5
Zapotillo	7	13	15		1
Pisayambo	2	5	16		5
Unidad Bocana	1	1	3		
Celica		13	27		
Sacapalca		3	41		2
Batolito de San Lucas			4		
Saraguro			9	2	
Unidad El Tigre			5		
Ciano			19		
Gonzanamá			5		
Río Playas			2		

Tabla 4 Resumen de inventario de puntos de captación de aguas
pp=pozo perforado; pe=pozo excavado; vv=vertiente; ga=galería (Fuentes: Rivera 1985,
INAMHI, Plan hidráulico de Loja 1985)

Para verificar la posibilidad de la prospección de aguas subterráneas, se analizan las zonas mencionadas por su comportamiento acuífero, es decir, el número de pozos de agua que soporta la zona y el caudal explotable actualmente. Según esta información, se decide modificar o no su ubicación de prioridad de la zona a prospectar.

Zona A (Excelente)



**BIBLIOTECA FICTICIA
 ESPOL**

Los datos de los pozos confirman la calificación de excelente que se había dado a gran parte de los aluviales. Los pozos excavados en Macará, en el aluvial del Batolito de Tangula, muestran un alto caudal (15 l/s) (Rivera, 1985). En el aluvial de Loma Blanca ubicado en La Toma, en Catamayo, existen pozos con un caudal de explotación promedio muy alto (40 l/s). Los demás depósitos no consolidados como los glaciales y coluviales, ubicados en diversas partes del área de estudio (Rivera, 1985) poseen pozos con caudales medianos (1 - 5 l/s).

Siguiendo el curso del río Catamayo existe un aluvial que atraviesa el Batolito de Tangula y el contacto de las Formaciones Sacapalca y Pisayambo, lo cual posee las mismas características litológicas que el de La Toma, pero no existe información sobre pozos ni vertientes en esta zona.

Zona B (Mediana)

Los pozos ubicados en la Formación Zapotillo están alrededor de Zapotillo, y producen caudales bajos promedio (1 l/s), pero considerados aceptables para cubrir las necesidades básicas de consumo humano. Este dato hace que quede en un grado de prioridad mediano para prospectar. La Formación Celica está calificada con la categoría mediana debido a las fracturas que hay en ella. Existen numerosos pozos excavados, entre las ciudades Celica y Zapotillo, aunque no hay datos sobre sus caudales. Las intercalaciones de lutita en los basaltos de Celica deben proporcionar la capacidad de almacenar agua para sostener estos pozos. Rivera (1985) indica que un pozo, perforado en Palo Blanco, cerca de Catacocha, en el extremo Este de esta formación, no suministró agua aún a 125m de profundidad.

La Formación Pisayambo aflora en dos grandes zonas del área de estudio, una hacia el Este, cerca de la ciudad de Catacocha, donde hay un gran número de vertientes y la mayoría de pozos. Según Rivera (1985, donde se clasifica esta Formación como una parte de Sacapalca), un pozo de prueba cerca de Catacocha, de 60m de profundidad, produjo un caudal de 5 l/s logrando abatimiento en 30m aproximadamente, aunque se registró una permeabilidad muy baja ($9.9 \times 10E-4$ m/d). El otro afloramiento, alrededor de la ciudad de Celica, también contiene algunas vertientes, pero no existe información sobre sus caudales.

Las lutitas negras que cubren la Formación Sacapalca hace factible prospección de agua en esta formación, aunque no existen aquí un mayor número de pozos en explotación, más bien una gran cantidad de vertientes. Rivera (1985) proporciona datos sobre un pozo de prueba, perforado cerca de Cariamanga, que logró un caudal de 2 l/s, con características similares al pozo de Catacocha.

Zona C (Baja)

Los Batolitos de Tangua y de San Lucas, las Formaciones Ciano, Marcabelí y Saraguro, y las Unidades Bocana y El Tigre, poseen vertientes, las cuales están ubicadas en su mayoría en los contactos de las formaciones que las rodean, debido a altos fracturamientos que presentan.

5.5 Análisis y reclasificación de áreas posibles para prospectar

El mapa de permeabilidades ha sido el punto de partida para este análisis. La decisión definitiva de las áreas propicias a prospectar, clasificadas en cuatro tipos de zonas: excelente, mediana, buena y nula, se obtiene combinando la información

complementaria de precipitaciones, geomorfología e hidrometría, con la clasificación original.

Zona A (Excelente)

Una pequeña parte de las aluviales de la Formación Loma Blanca, ubicada cerca de Catamayo, presenta un clima muy seco, pero es el lugar donde más pozos se han perforado y con buenos resultados, debido a que este aluvial, se comporta como un excelente acuífero, posiblemente alimentado por el río Catamayo y por las infiltraciones de las pocas precipitaciones debido al relieve suave alrededor. En el aluvial del Batolito de Tangula cerca de Macará, también posee pozos que proveen caudales suficientemente altos. Aquí, las precipitaciones son medianas, aunque por las pendientes altas de la zona no se puede contar con buena recarga de aguas subterráneas, dependiendo principalmente su recarga de la corriente del río.

Zona B (Mediana)

El aluvial ubicado en el contacto de las Formaciones de Sacapalca y Pisayambo y que atraviesa el Batolito de Tangula, no posee información sobre pozos ni vertientes, posiblemente porque no existen poblaciones importantes en esta zona. Este aluvial recibe precipitaciones medianas, y podría ser propicia para la prospección de aguas subterráneas, aunque se encuentra en una zona de pendiente fuerte. La Formación Zapotillo posee bastantes pozos y vertientes aunque con caudales bajos, probablemente por su clima seco y la mínima infiltración. Las lutitas existentes en la Formación Sacapalca permiten un buen almacenamiento que alimenta a los pozos con caudales medios. Las precipitaciones altas de la zona parece que ayudan en este proceso,

aunque la infiltración es mínima. El afloramiento Oriental de la Formación Pisayambo alimenta con caudales medianos a un pozo en Catacocha, posiblemente por las precipitaciones medianas recogidas por la alta fracturación concentrada alrededor de Catacocha.

Zona C (Baja)

Las Formaciones Sedimentarias y volcánicas, reciben altas precipitaciones, pero su infiltración es mínima, por lo tanto, no hay vertientes ni pozos explotados en la zona. En la Formación Celica la fracturación permite que el agua filtre y forme acumulaciones subterráneas, pero la precipitación en esta zona es mediana y las pendientes son muy fuertes. Las Formaciones sedimentarias Ciano y Río Playas reciben precipitaciones medianas que alimentan numerosas vertientes, a pesar de que la infiltración es mínima y no existe información sobre sus caudales. Las Unidades El Tigre y La Victoria reciben altas precipitaciones, y tal vez, por la mínima infiltración de la zona, no existe mayor cantidad de vertientes explotables. La unidad Bocana recibe altas precipitaciones en su parte Occidental y precipitaciones medias en la otra, que alimentan los pocos pozos y vertientes que están en explotación, a pesar de la mínima infiltración que aporta las pendientes fuertes de la zona. Las precipitaciones en las Formaciones Saraguro y Gonzanama son altas, pero la infiltración es mínima debido a su morfología escarpada. Existen numerosas vertientes en esta zonas, aunque no hay ningún pozo explotable.

Zona D (Nula)

En la zona de la Formación Cazaderos las precipitaciones son muy bajas, y por consiguiente, allí no existen pozos ni vertientes, lo cual obligó a reclasificar esta

Formación sedimentaria como una zona de permeabilidad nula. Las otras Formaciones que anteriormente estaban clasificadas como de baja permeabilidad, han sido reclasificadas como de zona nula, porque no existen datos que confirman la existencia de pozos o vertientes.

5.6 Calidad del Agua en las Cuencas de los Ríos Puyango y Catamayo

La calidad del agua o incidencia sobre el uso del agua, esta dada por la resistividad eléctrica, o sea, en base a su concentración salina. Según Castany (1975), una resistividad mayor a 5 ohm.m corresponde a las aguas dulces, aptas para consumo humano.

Como se puede observar en la tabla # 5, todas las formaciones mencionadas, que también pertenecen a zonas propicias para la prospección de aguas subterráneas, poseen aguas aptas para consumo humano.

Formación	Número de Pozos	Resistividad (ohm.m)
Aluviales de Loma Blanca	2	11-22
Batolito de Tangula	1	81
Zapotillo	2	12-94
Lutitas de Sacapalca	1	21-45

Tabla 5.- Resistividades de los pozos perforados
(Fuente: Plan Hidráulico de Loja, 1985)

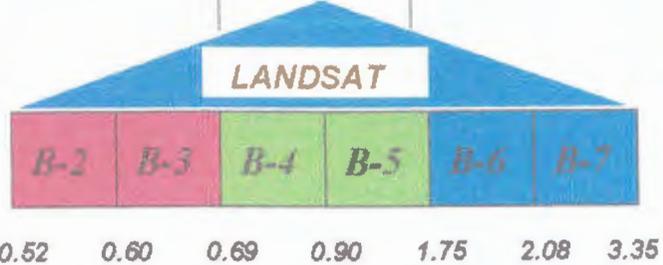
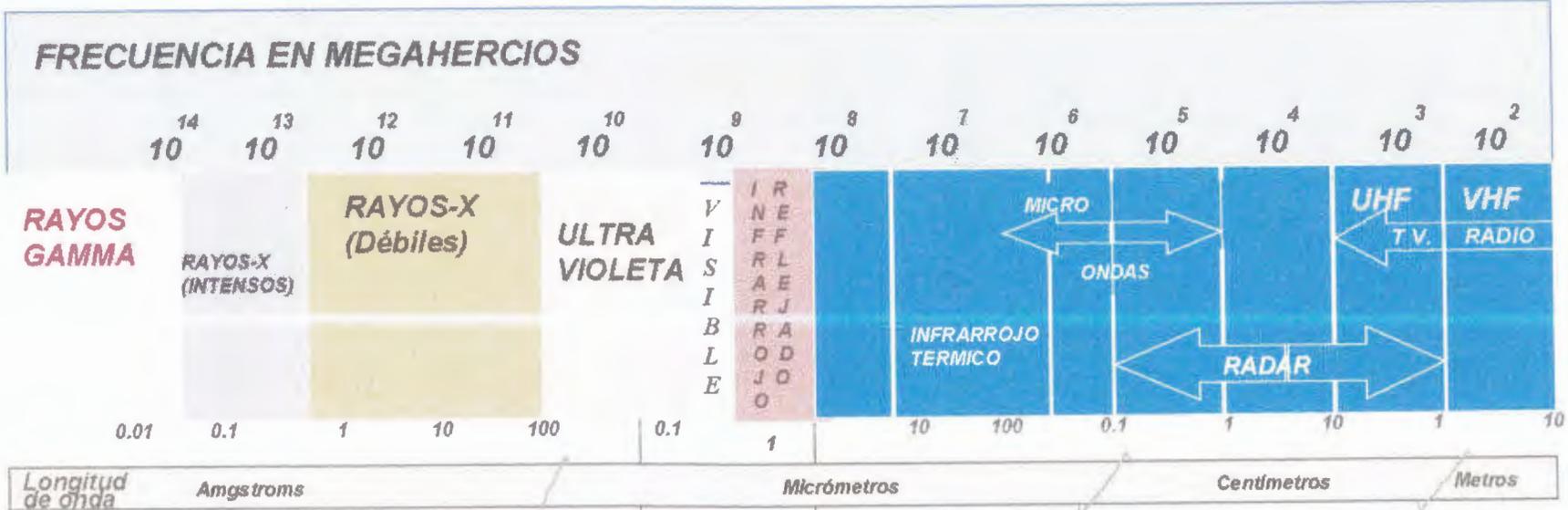


BIBLIOTECA FICT
ESPOL

APENDICE A

EL ESPECTRO INFRARROJO

ESPECTRO ELECTROMAGNETICO



BIBLIOTECA FCT
ESPOL



APENDICE B

BANDAS DE IMAGEN LANDSAT-TM 5

BANDAS DE IMAGEN LANDSAT-TM 5



Características principales de Bandas y Combinaciones Landsat-TM.

BIBLIOTECA FICT
ESPOL

La imagen Landsat del Mapeador Temático (TM), posee siete bandas 1,2,3,4,5 y 7 . Sobre cada una de estas bandas y sus combinaciones se realizan realces, para obtener una mejor resolución de los elementos, que proveen información, según se requiera en el rango del espectro electromagnético.

Bandas Landsat-TM.

Las características principales de estas bandas son:

Banda 7 (2.08 – 3.35 μm), aplicación principalmente a estudios geológicos e hidrogeológicos; en productos blanco y negro los cuerpos de agua y zonas húmedas se presentan en tonos oscuros.

Banda 5 (1.55 – 1.75 μm) tienen la particularidad de indicar la humedad de los suelos y la vegetación

Banda 4 (0.76 – 0.90 μm)

Banda 3 (0.63 – 0.69 μm)

Banda 2 (0.52 – 0.60 μm)

Las bandas 4, 3 y 2 son utilizadas principalmente para estudiar la vegetación, debido a que el canal 4 registra la reflexión causada por la estructura interna de las plantas;

Combinaciones Landsat-TM

Las combinaciones 453, 432 y 742 del TM (RGB) presentan las siguientes características:

TM Bandas 453 (RGB).

Esta combinación de la banda 4 del infrarrojo cercano, banda 5 del infrarrojo medio y banda 3 del rango visible aumentan la definición de los límites de cuerpos de agua, y resalta los detalles escondidos que no aparecen realmente con las bandas visibles. Puede localizarse lagos y ríos mediante la utilización de más bandas infrarrojas.

La combinación de estas bandas (ver fig B-1) demuestra las diferencias de humedad y es útil para el análisis de las condiciones del suelo y la vegetación la misma que se observa con variaciones en los colores (café, verdes y anaranjadas), así como en los tonos. Generalmente el suelo más húmedo es el que mas oscuro aparece.

TM Bandas 432 (RGB).

Esta imagen TM combina la banda 4 del infrarrojo cercano con las bandas visibles 3 y 2 (ver fig. B-2). Al desplegar la banda 4 cuya reflectancia esta causada por las características internas de la vegetación, ésta aparece en la imagen en coloraciones rojizas. El ojo humano fácilmente discrimina las sutiles variaciones de tono en este color y la información puede ser obtenida en relación a la condición y variedad de la vegetación.

Generalmente los colores rojos oscuros indican vegetación vigorosa mientras que los rojos mas claros representan tierras de pastos o áreas de vegetación muy esparcidas; las

áreas urbanas densamente pobladas se muestran en azul claro o metálico. Estas combinaciones de bandas TM dan resultados similares a la fotografía aérea tradicional de infrarrojo color.

TM Bandas 742 (RGB).

Como la combinación 453 (ver fig. B-3) ésta imagen demuestra la capacidad única de los sensores TM del LANDSAT para medir la energía no visible. La recolección de los datos de las regiones infrarrojas expanden significativamente la visión de los usuarios de los datos TM-LANDSAT.

Esta imagen es una combinación de la banda 7 del infrarrojo medio, la banda del infrarrojo cercano y la banda 2 del rango visible; la combinación 742 mantiene los beneficios de las bandas infrarrojas, mostrando todavía la vegetación en tonos familiares de verde, la banda 7 del infrarrojo medio ayuda a discriminar el contenido de humedad tanto en la vegetación como en el suelo.

Las áreas urbanas aparecen en varios tonos de magenta, las tierras de cultivos fructícolas aparecen con verdes claros, las pequeñas zonas de verdes claros dentro de la ciudad indican tierras cubiertas por pasto o hierba (parques, cementerios o campos deportivos). Los colores desde el verde oliva al verde brillante normalmente indican áreas de chaparro bajo.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

APENDICE C

POZOS Y VERTIENTES UBICADAS EN LAS CUENCAS HIDROGRAFICAS
DE PUYANGO Y CATAMAYO.

POZOS PERFORADOS Y EXCAVADOS EN LAS CUENCAS DE PUYANGO Y CATAMAYO



N°	NOMBRE DE POZOS	CORDEN. UTM		Tipo	c-topo	Alt	nv-e
		X	Y				
Formación Zapotillo							
1	HUASIMO # 89	572,215	9,510,549	PE	574	167	
2	LIMONES # 90	567,347	9,515,280	PE	574	156	8.4
3	HUASIMAL # 91	578,145	9,517,924	PE	574	242	2
4	TOTUMO	581,019	9,527,465	PE	582	324	1
5	LA COCHA	578,645	9,535,600	PE	582	480	11
6	REVOLCADERO	524,577	9,534,834	PE	582	479	3
7	EL CABUYO # 74	589,003	9,533,748	PE	583	600	0
8	HIGUERON # 75	528,333	9,534,272	PE	583	595	2
9	JAHUAY GRANDE # 76	529,135	9,529,322	PE	583	270	1
10	JAHUAY GRANDE # 77	586,774	9,529,229	PE	583	276	0
11	CEIBA GRANDE	584,739	9,524,939	PE	583	204	6
12	GARZAHUACHANA # 84	583,990	9,524,327	PE	583	199	0
13	BARRIO LINDO # 85	578,408	9,515,238	PE	592	143	3
14	VALLE HERMOSO # 88	587,328	9,512,295	PP	574	147	0
15	LA CEIBA # 81	587,069	9,523,955	PP	583	225	0
16	LA CEIBA # 82	587,050	9,542,135	PP	583	219	0
17	LA CEIBA	578,408	9,523,710	PP	583	219	0
18	VALLE HERMOSO	584,329	9,512,295	PP	591	147	5
19	ZAPOTILLO	587,250	12,640	PP		250	9.84
20	LA CEIBA	524,288	36,098	PP		250	7.57
Formación Célica							
1	RONCADOR	537,136	9,542,759	PE	574	1300	0.6
2	YURIPILACA	542,960	9,542,978	PE	574	1240	1.5
3	ZAPALLAL	544,873	9,539,992	PE	574	1062	8
4	CRUZ PAMBA	544,071	9,540,911	PE	574	1287	11
5	BARRIO PATUCO	577,829	9,540,605	PE	574	1156	0
6	PALA BLANCO	584,487	9,554,930	PE	576	902	5
7	HOTEL GUAYAQUIL	532,164	9,552,677	PE	576	1850	5
8	TIZAN # 60	531,516	9,536,197	PE	583	848	1
9	SABANILLA # 61	529,883	9,536,044	PE	583	820	0
10	CHAGURGUAICO # 73	529,883	9,536,537	PE	583	821	0
11	CHAURGUAICO	532,164	9,536,537	PE	583	821	0
12	TIZAN	531,516	9,536,197	PE	583	848	1
13	SABANILLA	524,288	9,536,044	PE	583	820	0
Formación Sacapalca							
1	AMANUMA	530,005	9,532,656	PE	585	1967	1
2	AHUCA AGUA DULCE	534,017	9,525,629	PE	585	1803	1
3	PORTETE LLULI	524,288	9,527,525	PE	585	1866	1
Formación Loma Blanca							
1	PANECILLO	548,792	9,560,235	PE	568	1323	0
2	MANUNCHO	548,300	9,559,533	PE	568	1186	1
3	INGENIO MONTERREY	550,183	9,560,425	PE	568	1191	0
4	TRPICHILLO	550,427	9,560,790	PE	568	1252	1

BIBLIOTECA FICT
ESPOL

5	COMPANIA INGENIEROS	549,933	9,559,438	PP	568	1220	0
6	COMPANIA INGENIEROS	551,630	9,559,439	PP	568	1213	26
7	CATAMAYO	524,288	56,654	PP		1200	4
Formación Pisayambo							
1	MADRES DOMINICANAS	651,691	9,552,646	PE	576	1852	2
2	CHAPANGO	652,832	9,553,841	PE	576	1693	1
3	SAN PEDRO MARTIR	650,785	9,554,115	PE	576	1718	11
4	NINGOMINE	650,850	9,546,993	PE	576	1809	1
5	LA COCHA	651,164	9,548,990	PE	576	2028	3
6	CONSACOLA	653,357	9,552,644	PP	576	1766	-
7	SAN PEDRO MARTIR	589,824	9,553,961	PP	576	1712	-
Unidad Bocana							
1	EL ATERRIZAJE #10	626,855	9,580,821	PE	557		0
2	PASAJE	589,824	29,141	PP			1.6
Batolito de Tangula							
1	H. TAMARINDO # 1	617,591	9,515,258	PP	593		0
2	MACARA # 11	655,350	9,516,948	PP	593		0
3	MACARA	645,471	10,787	PP			3.4
4	COLAISACA	589,824	9,522,954	PP	585	2540	6



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

VERTIENTES UBICADAS EN LAS CUENCAS DE PUYANGO Y CATAMAYO						
IDEN	VERTIENTES	CORDENADAS. UTM		TIPO	c-topo	Alt
		X	Y			
Unidad Marcabelí						
1	JERUSALEN #7	621470	9580942	VV	557	
2	PUYANGO #8	616591	9576833	GA	557	
7	MILAGRO #39	630793	9585567	VV	557	
8	MARCABELI #41	620762	9581895	VV	557	
9	SANTA CRUZ# 42	621688	9582263	VV	557	
10	SAN ANTONIO #43	625701	9584407	VV	557	
11	BALZAS #44	630329	9584647	VV	557	
13	CAPIRO #23	643042	9586103	VV	558	
17	LEON #24	643074	9586779	VV	558	
23	EL PRADO #26	658888	9578001	VV	558	
Unidad El Tigre						
4	GUERRAS #36	634021	9577425	VV	557	
5	TINAJAS #37	632018	9579116	VV	557	
6	BALZAS #38	631867	9581574	VV	557	
14	COCHICOLA #22	641992	9585183	VV	558	
66	PORVENIR #24	664554	9571633	VV	567	
Unidad Bocana						
12	MOROMORO #14	640122	9593386	VV	558	
18	SN.JOSE #25	646601	9592916	VV	558	
24	PUENTE NEGRO #27	651776	9587687	VV	558	
31	CHUVA #34	649156	9589104	VV	558	
32	SAN ROQUE #35	648167	9588276	VV	558	
Formación Saraguro						
15	EL SESMO #16	654098	9592597	GA	558	
16	EL SESMO #17	654098	9592597	VV	558	
19	EL FALQUE #26	653571	9591216	VV	558	
20	VISCAYA #30	654377	9593672	GA	558	
21	SAN LORENZO #33	663104	9590187	VV	558	
22	MACHALA #35	653167	9589374	VV	558	
25	AGUAS CALIENTES #28	656008	9590690	VT	558	
26	LOURDES #29	658600	9590594	VV	558	
27	LA CHORRERA #30	662550	9591079	VV	558	
28	GUISHAGINA #31	661102	9592279	VV	558	
29	BELLA VISTA #32	657954	9591977	VV	558	
30	BELLA VISTA #33	658385	9591209	VV	558	
Batolito de San Lucas						
33	Q. SALAPA # 1	679904	9580267	VV	559	2600
34	LOMA COCHEPOTRERO # 2	679598	9581804	VV	559	3000
35	LLUNLLA # 3	681509	9580971	VV	559	2320
39	Q. SALAPA	679904	9580267	VV	559	2600

	Formación Sacapalca					
36	HUIACAPAC # 4	683972	9577894	VV	559	2760
37	SANTIAGO # 6	691351	9580245	VV	559	2370
38	SANTIAGO # 7	690798	9581014	VV	559	2400
73	CHUQUIRIBAMBA	682457	9575993	VV	568	3600
74	CHIMILONA	694465	9563927	VV	568	2005
75	CHICHACA	685432	9567263	VV	568	2043
76	CAÑARO	685747	9570519	VV	568	2150
77	CHANTACO	685440	9571349	VV	568	2287
78	MASIN	685473	9572301	VV	568	2325
79	CARMELO	684489	9573746	VV	568	2548
80	CHUQUIRIBAMBA	683227	9575592	VV	568	2873
81	LA DOLOROSA	692388	9574191	VV	568	2936
82	GUAYANUMA	688892	9569314	VV	568	2150
83	MANZANA	689882	9570418	VV	568	2358
84	CERA	691020	9568849	VV	568	2320
85	GAUGA	691913	9567957	VV	568	2379
86	GUANGUASO	692219	9566574	VV	568	2313
87	GUANGORA	691752	9564977	VV	568	2426
88	GUANGORA	691875	9564485	VV	568	2454
91	LA BENEDITA	675931	9567712	VV	568	1276
92	AGUA DE MILAGRO	675814	9571367	VV	568	2459
129	LAS HUACAS	666315	9539348	VV	576	1484
130	SACAPALCA	664344	9540980	VV	576	1548
138	FINCA COCHINILLAS	657889	9552878	VV	576	1655
139	EL GUABO	660692	9550969	VV	576	1176
140	EL AGUACATE	658960	9548300	VV	576	1115
141	PENA BLANCA	656928	9550085	VV	576	1430
198	NARANJO	662483	9535148	VV	585	1686
199	EL SUBO	662453	9535516	VV	585	1644
200	LA CRUZ	665311	9530351	VV	585	1837
201	BELLA ESPERANZA	665065	9530597	VV	585	1826
202	LA CRUZ DE YASAPA	664371	9538676	VV	585	1516
203	LA CRUZ DE YASAPA	664216	9538369	VV	585	1513
204	PENJAMO	661011	9523325	VV	585	1980
205	TIERRA CORRALES	660674	9524339	VV	585	1962
206	AHUCA AGUA DULCE	661939	9524951	VV	585	1847
207	SANTA TERESA	663423	9526761	VV	585	1717
208	FINCA EL PALTON	663946	9526391	VV	585	1820
209	SANTA TERESA	663763	9527006	VV	585	1767
210	HCD.A.LLUILI	664102	9527312	VV	585	1767
211	CHIRIGUALA	665092	9528631	VV	585	1898
212	TAGINAMA	660833	9527103	VV	585	1553
213	PILANCON	677937	9522216	VV	585	1860
214	CUINUMA	658790	9522807	VV	585	1640
215	CASCABEL	656508	9522504	VV	585	1472
216	LA PAMPA DEL CURA	659777	9522775	VV	585	1725
218	HUACORAS	660917	9522342	VV	585	1746
227	EL GUINEO # 7	661209	9514203	VV	594	1900



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

228	YAMBACA # 9	658163	9517096	VV	594	2276
229	TAMBO # 10	660227	9516569	VV	594	2178
230	PUNTA DE PIEDRA	639945	9518879	VV	594	2200
231	EL GUINEO	661209	9514203	VV	594	1986
232	SAN ANTONIO	661459	9515492	VV	594	1986
233	YAMBACA	658163	9517096	VV	594	2276
234	TAMBO	660227	9516569	VV	594	2178
235	SANTA RITA	683939	9546102	VV	599	1327
	Formación Zapotillo					
40	EL DERRUMBO #16	605315	9562260	VV	565	
42	CHORRERAS #42	604545	9563028	VV	565	
43	CHIRIMOYA #43	604486	9564840	VV	565	
44	SOLEDAD #44	603647	9559836	VV	565	
45	LIMO #45	598003	9559535	VV	565	
46	TURINUMA A. #46	594178	9558925	VV	565	
94	PILARES # 92	561829	9517069	VV	574	177
95	ZAPALLAL # 93	580757	9519049	VV	574	195
96	Naranjal	602318	9557012	VV	574	857
99	ACHIOTES	601755	9550287	VV	574	781
101	MILAGROS	594072	9545843	VV	574	830
103	SAN FRANCISCO	599960	9544793	VV	574	1023
106	PALMALES	605915	9547242	VV	574	1603
107	PINDAL GRANDE	598849	9544026	VV	574	887
108	GUINEO GRANDE	594960	9540499	VV	574	738
109	GUINEO CHICO	596286	9540160	VV	574	767
181	MALVAS	577154	9523228	VV	582	227
182	EL CABUYO	576540	9525870	VV	582	275
183	CABEZA DE TORO	575000	9526669	VV	582	400
184	CABEZA DE TORO	574567	9525749	VV	582	370
185	TOTUMA	577960	9527649	VV	582	321
186	PAVAS	579380	9529644	VV	582	330
	Formación Ciano					
41	PUENTE CHICO #41	602173	9565058	VV	565	
47	EL COLORADO #13	614565	9559792	VV	566	
48	EL ARENAL #14	611947	9562467	VV	566	
49	RABIJA #15	618085	9562766	VV	566	
50	3VIA A ORIANGA #11	632920	9562040	VV	566	
51	LAURO GUERRERO #12	637485	9562064	VV	566	
52	CAMINO A ORIANGA	632920	9562040	VV	566	2100
53	LAURO GUERRERO	637485	9562064	VV	566	1990
54	BUENA VISTA #1	642371	9570195	VV	567	
55	AMARILLO #2	645674	9572186	VV	567	
56	LA Y DE OLMEDO #4	649425	9564195	VV	567	
57	LA TINGUE #5	657605	9567038	VV	567	
58	LA TINGUE #6	657915	9568020	VV	567	
61	CHAGUARPAMBA #16	650362	9571196	VV	567	
62	BOLSONES #17	649984	9566590	VV	567	

63	TUNDO #18	650045	9565791	VV	567	
70	CANGONAMA	644179	9562545	VV	567	2080
71	PINGUI	643962	9561777	VV	567	2010
72	TUNASPAMBA	643715	9562054	VV	567	2140
	Formación Celica					
59	STA. CRUZ #7	656922	9564981	VV	567	
60	STO. DOMINGO #10	650345	9560907	VV	567	
64	CASCAJO #19	649549	9564656	VV	567	
69	VERA CRUZ	658395	9560310	VV	567	1995
97	PUEBLO NUEVO	608576	9554916	VV	574	1035
98	CHAQUINAL	607710	9553014	VV	574	873
100	PAPALANGO	600301	9546450	VV	574	853
102	TACURI	595862	9547592	VV	574	819
104	ROBLONES	601747	9543562	VV	574	1274
105	Q. POZUL	605635	9545431	VV	574	1858
110	GUANGULO	601436	9540891	VV	574	946
111	PIEDRA REDONDA	602362	9541842	VV	574	1125
112	ALMENDRAL	634726	9553192	VV	575	971
113	ZAPOTEREPAMBA	635929	9553405	VV	575	915
114	SABANILLA	638305	9553862	VV	575	844
115	COSANGA	636151	9557152	VV	575	1362
131	MONGARA	641545	9554595	VV	576	889
132	EL PURON	648823	9554214	VV	576	1336
187	EL MUERTO # 69	599397	9537700	VV	583	700
188	ALGODONAL # 78	605921	9527251	VV	583	454
189	ACHIOTE # 79	608664	9526449	VV	583	774
190	LAGUAR # 80	608412	9522488	VV	583	390
191	EL MUERTO	599397	9537700	VV	583	700
192	ALGODONAL	605921	9527251	VV	583	454
193	ACHIOTE	608664	9526449	VV	583	774
194	LAGUAR	608412	9522488	VV	583	390
195	GUALANGA # 12	620408	9524959	VV	584	1220
220	GUATO	646246	9525318	VV	585	2356
221	PILARES	561829	9517069	VV	591	177
222	ZAPALLAL	580757	9519049	VV	591	195
223	TAMBO NEGRO #2	628995	9515088	VV	593	
224	VIA NUEVA # 4	637727	9519834	VV	593	
225	CATAMAYO CHIRA	628995	9515088	VV	593	684
226	P. DE PIEDRA # 5	639945	9518879	VV	594	2200
	Filitas de Zambí					
65	LA CHORA #23	664849	9564015	VV	567	
67	ZAMBI #25	663312	9566936	VV	567	
68	ZAMBI #38	662172	9568074	VV	567	
	Formación Loma Blanca					
89	MANUNCHO	679924	9558796	VV	568	1182
90	TOGUEROS	664982	7794203	VV	568	1539

93	BALLESTERO	678968	9558982	VV	568	1195
153	INGUINCHO # 58	681951	9554123	VV	577	
154	SAN MIGUEL # 59	683644	9552369	VV	577	1287
155	MATALA # 60	680355	9542761	VV	577	1782
156	EL LINDERO # 61	679244	9542825	VV	577	1873
157	LA FUENTE # 62	674956	9542372	VV	577	1841
158	MOLLEPAMBA # 63	676682	9541601	VV	577	2024
159	EL TABLON # 64	675293	9541112	VV	577	1981
160	PATACORRAL # 65	686570	9550305	VV	577	1474
161	EL VERDUM # 66	688572	9548826	VV	577	1506
162	LA ERA # 67	688901	9544002	VV	577	1591
163	SANTA RITA # 68	682210	9544907	VV	577	1378
164	SANTA RITA # 69	683939	9546102	VV	577	1327
165	CULANGA # 70	680878	9542176	VV	577	1758
166	PORTETE # 71	677086	9542921	VV	577	1978
167	SURUNUMA	675444	9539546	VV	577	2151
168	CORRAL CHICO	668666	9543091	VV	577	1524
169	INGUINCHO	681951	9554123	VV	577	1202
170	SAN MIGUEL	683645	9552922	VV	577	1287
171	MATALA	680355	9542761	VV	577	1782
172	LA FUENTE	674956	9542372	VV	577	1841
173	MOLLEPAMBA	676682	9541601	VV	577	2024
174	EL TABLON	675293	9541112	VV	577	1981
175	PATACORRAL	686570	9550305	VV	577	1474
176	EL VERDUM	688572	9548826	VV	577	1506
177	LA ERA	688901	9544002	VV	577	1591
178	SANTA RITA	682210	9544907	VV	577	1348
179	CULANGA	680878	9542176	VV	577	1758
180	PORTETE	677086	9542921	VV	577	1978
	Formación Pisayambo					
116	QUILLANGA	618833	9545414	VV	575	1666
117	COLAMBO	617909	9546552	VV	575	2005
118	PAJONAL	619729	9547010	VV	575	1685
119	PAJONAL	619359	9546673	VV	575	1944
120	YAMBALACARA	616367	9546369	VV	575	2032
121	5 DE SEPTIEMBRE	615997	9545909	VV	575	1978
122	MUYO MUYO	615409	9544774	VV	575	1722
123	LOS CALLEJONES	613310	9542750	VV	575	1726
124	DOMINGUILLO	613217	9542443	VV	575	1565
125	JARO PASCANO	617047	9547505	VV	575	2245
126	Q. HONDA	617633	9547719	VV	575	2358
127	GUACHANAMA	625998	9553328	VV	575	2985
128	GUACALLASCA	615999	9547353	VV	575	2051
133	CONSACOLA	650949	9552706	VV	576	1761
134	VIVERO CONSACOLA	650826	9552890	VV	576	1740
135	SAN PEDRO MARTIR	654066	9554113	VV	576	1716
136	EL NARANJO	653947	9556509	VV	576	1837
137	AGUA RUSIA	655552	9557152	VV	576	1837



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

142	NINGOMI E	650169	9547824	VV	576	2017
	Batolito de Tangula					
143	HUATO	649515	9543883	VV	576	1891
144	HUATO	645844	9543009	VV	576	1739
145	EL GUINEO	650928	9540359	VV	576	1487
146	EL SAUCE	649996	9554857	VV	576	1435
147	Q. YAMANA	647811	9557625	VV	576	993
148	PLAYAS	643856	9553762	VV	576	986
149	PLAYAS	644197	9554375	VV	576	928
150	SURUNUMA # 72	675444	9539546	VV	577	
151	CORRAL CHICO # 78	668666	9543091	VV	577	
152	POTRERILLOS #79	669370	9540356	VV	577	
196	CANGONAMA # 13	619765	9527785	VV	584	814
197	TONGULA # 14	625447	9534441	VV	584	628
217	TABLAZO	654131	9521188	VV	585	1855
219	LA LAGUNA	647143	9527282	VV	585	2212



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

BIBLIOGRAFIA



BIBLIOTECA FIC1
ESPOL

KENNERLEY J.B. Geology of Loja Province, Southern Ecuador, Ins. Geol. Sci. London, 1978, pag 3-24.

Baldock J.W. Dr Geología del Ecuador, Boletín de la Explicación del mapa Geológico de la República del Ecuador, Esc. 1:1.000.000, CODIGEN, Ecuador 1982, pag 17,25,40.

ASPDEN J.A., BONILLA W. , DUQUE P., Overseas Geology and Mineral Resources, The El Oro metamorphic complex, Ecuador: Geology and economic mineral deposits 1995, BGS, Ecuador, pag 6-13.

CHUVIECO Emilio, Fundamentos de Teledetección espacial, España: Riapl S.A.1990, pag 132-145, 149-167, 225-229, 295-301, 368.

WHITTEN D.G.A. y BROOKS J.R.V, Diccionario de Geología, Alianza Nacional, España 1980.

ERDAS IMAGINE, Tour Guides, Ver.8.2, Atlanta, Georgia 1996,pag.1-70

CAÑADAS Cruz Luis, El Mapa Bioclimatico y Ecologico del Ecuador, Quito-Ecuador,Mag-Pronareg, 1993, pag. 25, 26, 30-33, 35-37, 40-42.

INTERGRAPH, MicroStation, User's Guide, Versión 5, Septiembre 93 Bently Systems, Inc.