T
627
CON

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

"Caracterización y Evaluación de la Cuenca

Alta del Río Santa Rosa"

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN GEOLOGÍA

Presentada por

ESPOL
CIB
D-33893

Gilberto Walter Concha Egas

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2005

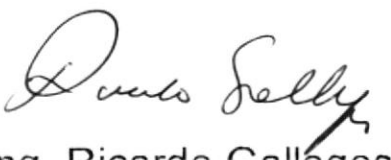
AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo y especialmente en el Ing. Gastón Proaño, Director de Tesis, por su invaluable ayuda.

DEDICATORIA

A Dios, a mi padre en el cielo, a mi madre y hermanos, que siempre me brindaron su apoyo incondicional.

TRIBUNAL DE GRADUACION



Ing. Ricardo Gallegos
DECANO DE LA FICT
PRESIDENTE



Ing. Gastón Proaño
DIRECTOR DE TESIS

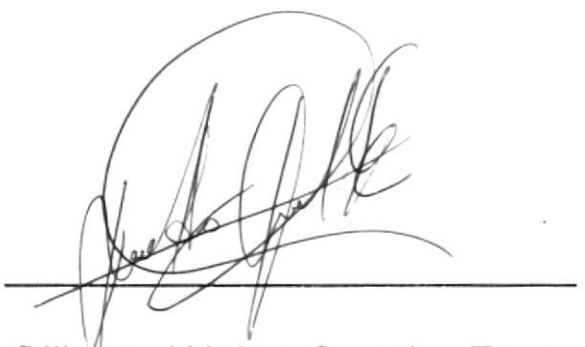


Ing. Jorge Calle
VOCAL

Ing. David Cortez
VOCAL

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 POLITÉCNICA DEL LITORAL"



Gilberto Walter Concha Egas.

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla una metodología modelo para la caracterización y evaluación de Cuencas Hidrográficas en Ecuador, utilizando como herramienta los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

La cuenca modelo del presente estudio es la Cuenca Alta del Río Santa Rosa ubicada en el Cantón Santa Rosa, Provincia de El Oro.

En la primera parte se presenta la aplicación de los SIG con técnicas Geoestadísticas para generar el Modelo Digital del Terreno (MDT) y posteriormente determinar las características generales de la cuenca como la curva hipsométrica, pendientes, coeficiente de masividad; y las características de la red de drenaje como son tipos de corriente, drenaje, orden de la cuenca, relación de bifurcación y densidad de drenaje.

Luego se presenta la caracterización de la cuenca desde diferentes puntos de vista como son: climatológico, hidrológico, geológico, geomorfológico y edafológico con el objetivo de determinar e identificar el estado y el uso de los recursos naturales dentro de la cuenca y los efectos en la pérdida de suelo.

Finalmente se realiza un análisis cartográfico del deterioro físico ambiental por erosión hídrica de la cuenca a partir de la información disponible. Determinando y comparando los valores de la erosión hídrica potencial y actual estimada a partir de los SIG, con los sedimentos en suspensión calculados a partir de la estación linnimétrica Santa Rosa.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	I
INDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	XIII
INDICE DE FIGURAS	XV
INDICE DE TABLAS	XVIII
CAPITULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Objetivos	6
1.2.1. Objetivo General	6
1.2.2. Objetivos Específicos	7
1.3. Justificación del Estudio	7
1.4. Ubicación geográfica y política del área de estudio	9
1.5. Metodología utilizada	11
1.5.1. Recopilación de Información	11

Pág.

1.5.2. Generación de Información 17

1.5.3. Procesamiento de los Datos Obtenidos 19

1.5.4. Resultados Obtenidos 19

CAPITULO 2 20

2. FUNDAMENTOS TEORICOS PARA LA CARACTERIZACION DE LA CUENCA HIDROGRAFICA ALTA DEL RIO SANTA ROSA 20

2.1. Definiciones Generales 20

2.2. Cuenca Hidrográfica 29

2.3. Divisoria o parte agua 31

2.4. Área de la cuenca 31

2.5. Curva hipsométrica de una cuenca 33

2.6. Pendiente de la cuenca 35

2.7. Coeficiente de masividad 36

2.8. Características de la red drenaje 37

2.8.1. Tipos de corrientes 37

2.8.2. Modelos de drenaje 38

2.8.3. Orden de corrientes 38

2.8.4. Relación de bifurcación 39

Pág.

2.8.5. Densidad de drenaje 40

2.9. Características de una cuenca hidrográfica 40

2.9.1 Cuenca receptora 41

2.9.2. Tramo medio 44

2.9.3. Cono de deyección 45

2.10. Factores que actúan en la Generación de Caudales Sólidos y Líquidos 47

2.10.1. Características de la lluvia 48

2.10.2. Erosión pluvial 49

2.10.3. Dinámica de los cauces 50

2.10.4. Rugosidad del Cauce 51

2.11. Transporte de Sedimentos 51

2.12. Erosión Hídrica Potencial y Actual 52

2.12.1. Índice de erosividad de la lluvia 53

2.12.2. Riesgo de erosión hídrica 54

2.12.3. Erosión actual 55

Pág.

CAPITULO 3 56

3. CARACTERISTICAS DE LA CUENCA DRENAJE 56

3.1. Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) 56

3.2. Geoestadística 58

3.2.1. Introducción 58

3.2.2. Variables aleatorias regionalizadas 61

3.2.3. Hipótesis de la Geoestadística 65

3.2.4. Modelos teóricos de semivariogramas 69

3.2.4.1. Efecto de Pepita 70

3.2.4.2. Modelo Esférico 71

3.2.4.3. Modelo Exponencial 71

3.2.4.4. Modelo Gaussiano 72

3.2.4.5. Modelo con función potencia 73

3.2.5. Validación del modelo teórico 75

3.2.5.1. Validación cruzada 76

3.2.6. Ajuste automático 77

3.2.7. Interpolador Kriging 78

3.2.7.1. Ecuaciones del krigeaje 79

3.2.7.1.1. Krigeaje Simple 80

Pág.

3.2.7.1.2. Krigeaje Ordinario 81

3.2.7.1.3. El caso no estacionario, Krigeaje Universal (KU) 84

3.3. Modelo digital del terreno (MDT) 86

3.3.1. Generalidades del modelo digital del terreno 88

3.3.2. Generación del modelo digital del terreno 92

3.4. Red hidrográfica 117

3.5. Área de la cuenca 117

3.6. Curva hipsométrica de una cuenca 120

3.7. Pendiente de la cuenca 120

3.8. Coeficiente de masividad 124

3.9. Características de la red drenaje 124

3.9.1. Tipos de corrientes 124

3.9.2. Tipo de drenaje 125

3.9.3. Orden de cuenca 125

3.9.4. Relación de bifurcación 126

3.9.5 Densidad de drenaje 128

Pág.

CAPITULO 4 129

4. CARACTERIZACION DE LA CUENCA ALTA DEL RIO SANTA ROSA 129

4.1. Clima 129

4.1.1. Características climáticas de la cuenca 136

4.1.2. Zonas de vida 143

4.2. Hidrología 146

4.2.1. Caudales medios 146

4.2.2. Caudales máximos 150

4.3. Geología 152

4.3.1. Litología 152

4.3.1.1. Grupo Tahuín 153

4.3.1.2. Formación Raspas 153

4.3.1.3. Formación Serpentina El Toro 154

4.3.1.4. Formación Celica 155

4.3.2. Calificación cualitativa de la susceptibilidad de las rocas a la erodabilidad 156

4.4. Geomorfología y Suelos 158

4.4.1. Geomorfología, topografía y pendientes 158

Pág.

4.4.1.1. Geomorfología 158

4.4.1.1.1. Criterios geomorfológicos 159

4.4.1.1.2. Descripción de las unidades geomorfológicas 164

4.4.1.2. Topografía 170

4.4.1.3. Pendientes 173

4.4.1.4. Alturas 176

4.4.2. Suelos 178

4.4.2.1. Características físicas, químicas, fertilidad de los suelos y clasificación taxonómica 178

4.4.2.1.1. Orden Inceptisoles 180

4.4.2.1.1.1. Oxic Ustropepts 182

4.4.2.1.1.2. Typic Eutropepts 183

4.4.2.1.1.3. Oxic Dystropepts 184

4.4.2.1.2. Orden Entisoles 184

4.4.2.1.2.1. Tropofluvent 185

4.4.2.2. Aspectos relevantes de los suelos de la cuenca 185

4.4.2.3. Uso del suelo 187

4.4.2.3.1. Uso agropecuario y cobertura vegetal 187

Pág.

4.4.2.3.1.1. Actividad agropecuaria 193

4.4.2.3.1.2. Cobertura vegetal 194

4.4.2.3.2. Otros usos 197

CAPITULO 5 199

5. ANALISIS CARTOGRAFICO DEL DETERIORO FISICO AMBIENTAL POR EROSION HIDRICA 199

5.1. Generalidades 199

5.2. Materiales y métodos 200

5.3. Descripción del trabajo y aplicación SIG 202

5.4. Mapas Temáticos 203

5.4.1. Pendientes 203

5.4.2. Red hidrográfica 207

5.4.3. Vegetación 208

5.4.4. Litología 210

5.5. Erosión y sedimentos 211

5.5.1. Erosión hídrica potencial y actual 211

5.5.1.1. Índice de erosividad de la lluvia 211

5.5.1.2. Riesgo de erosión hídrica 213

Pág.

5.5.1.3. Erosión actual 225

5.5.2. Pérdida de suelo y fertilidad 229

5.5.3. Sedimentos 230

5.6. Resultados 234

CAPITULO 6 236

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 236

6.1. Conclusiones 236

6.2. Recomendaciones 239

BIBLIOGRAFIA 241

ANEXOS

ANEXO A: Validación Cruzada (Cross Validation) de los modelos de semivariogramas obtenidos para generar el Modelo Digital del Terreno(MDT)

ANEXO B: Procedimiento para el Cálculo de Pendientes (Grados o porcentajes) con ArcGis Spatial Analyst

ANEXO C: Registros de estaciones meteorológicas cercanas a la Cuenca Alta del Río Santa Rosa

ANEXO D: Caudales Máximos del Río Santa Rosa, considerando los registros de la Estación Pluviométrica Paccha

ANEXO E: Caudales Máximos calculados del Río Santa Rosa, para

Pág.

diferentes periodos de retorno

ANEXO F: Caudales máximos del Río Santa Rosa para el período 1982-1989, realizando un ajuste a una distribución de probabilidad Tipo Gumbel

ANEXO G: Características físicas y químicas del análisis de suelos de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa

ANEXO H: Sistema de clasificación taxonómica norteamericana (USDA), y evaluación cualitativa de la fertilidad empleando los criterios de Cortés A. y Malagón D. del CIDIAT

ANEXO I: Descripción del Perfil del tipo de suelo Oxic Ustropepts de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa

ANEXO J: Descripción del Perfil del tipo de suelo Typic Eutropepts de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa

ANEXO K: Descripción del Perfil del tipo de suelo Oxic Dystropepts de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa

ANEXO L: Correlación lineal de estaciones Taquín, Maracay, Las Chilcas, Marcabelí y Paccha, para calcular el índice de erosividad de la lluvia.

ABREAVIATURAS

m	Metro
m^2	Metro cuadrado
m^3	Metro cúbico
m/s	Metro por segundo
m^3/s	Metro cúbico por segundo
mm	Milímetro
Km^2	Kilómetro cuadrado
ha	Hectárea
Kg/m^3	Kilogramo por metro cúbico
tn	Tonelada
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
UTM	Universal Transverse Mercator
USDA	United Status Departament of Agriculture
SIG	Sistema de Información Geográfica
MDT	Modelo digital del terreno
qt	Arrastre total unitario
Qt	Arrastre total
qs	Arrastre unitario anual de sedimento en suspensión
Qs	Gasto sólido
t	Tiempo
Q	Caudal
Qm	Caudal medio
P	Porcentaje de tiempo
bms-T	Bosque muy seco Tropical
bs-T	Bosque seco Tropical
bh-PM	Bosque húmedo pre-Montano

Tr	Períodos de retorno
UPA	Unidad de Producción Agropecuaria, que tiene una extensión de tierra de 500 m2 o mas, dedicada total o parcialmente a producción agropecuaria.
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
CEPAR	Centro de Estudios Poblacionales
PRONAREG	Programa Nacional de Regionalización Agraria
CLIRSEN	Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos
CT	Cultivo transitorio
CP	Cultivo permanente
BA	Barbecho
PC	Pasto cultivado
PN	Pasto natural
MB	Monte y bosque
O	Otros usos.
pH	Potencial de Hidrógeno
CIC	Capacidad de intercambio catiónico
Sb	Antimonio
Al	Aluminio
H	Hidrógeno
ppm	Partes por millón
N	Nitrógeno
dem_slope_p	Pendiente del Modelo Digital del Terreno en Porcentaje
CellSize	Tamaño de celda

INDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Pág.
1.1	Ubicación Geográfica de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	12
1.2	Distribución de superficies de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa en cantones	13
2.1	Ciclo Hidrológico del Agua	22
2.2	La Cuenca Hidrográfica es un operador sistémico activado por flujos de entrada.	26
2.3	Cuenca Hidrográfica	30
2.4	Curva hipsométrica de una cuenca.	34
2.5	Pendiente de una cuenca	35
2.6	Modelos de drenaje más comunes	38
2.7	Orden de corrientes	39
2.8	Densidad de drenaje	40
2.9	Sectores de una cuenca	42
3.1	Carácter mixto de una función aleatoria	60
3.2	Modelo de efecto pepita	70
3.3	Modelo esférico	71
3.4	Modelo exponencial	72
3.5	Modelo gaussiano	73
3.6	Modelo con función potencia	73
3.7	Modelo lineal	74
3.8	Ventana de extensiones del software ArcGis®	95
3.9	Ventana de Data Frame Properties del software ArcGis®	96
3.10	Localización del submenú Explore Data en la barra de herramientas de Geostatistical Analyst del software ArcGis®	97
3.11	Selección de Datos de Entrada y Método (Geostatistical Wizard: Chose Imput Data and Method) en el Geostatistical	

		Pág.
	Analyst del software ArcGis®	98
3.12	Selección de Método Geoestadístico. (Geostatistical Wizard: Step 1 of 5 - Geostatistical Method Selection)	99
3.13	Selección de Modelo del Semivariograma y Parámetros (Geostatistical Wizard: Step 2 of 4 – Semivariogram/ Covariance Modeling)	100
3.14	Selección de los parámetros del vecino más cercano (Geostatistical Wizard: Step 3 of 4 - Searching Neighborhood). Tipos de vista: (a) Neighbors, (b) Surface.	101 102
3.15	Comparación entre valores reales y predichos, Validación Cruzada (Geostatistical Wizard: Step 4 of 4 - Cross Validation)	103
3.16	Reporte final de estimación (Output Layer Information)	104
3.17	Mapa final de estimación de superficie (Modelo Digital del Terreno, MDT)	105
3.18	Modelo Digital del Terreno (MDT) aplicando la opción HillShade	106
3.19	Sistema Hidrográfico del Río Santa Rosa	118
3.20	Área de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa,	119
3.21	Curva Hipsométrica de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	120
3.22	Mapa de Pendientes en Grados de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	122
3.23	Mapa de Pendientes en Porcentaje Cuenca Alta del Río Santa Rosa	123
3.24	Orden de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	127
4.1	(a) Distribución de alturas y superficies; (b) Frecuencias relativas de las alturas	131
4.2	Variación de la precipitación con la altura.	133
4.3	Correlación entre la precipitación y altura de todas las	

		Pág.
	estaciones meteorológicas.	134
4.4	Correlación entre la precipitación y altura para las estaciones meteorológicas: Santa Rosa, Tahuín, Saracay, Las Chilcas, Marcabelí y Paccha	134
4.5	Variación de la temperatura con la altura	135
4.6	Isoyetas Anuales (mm.) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	140
4.7	Isotermas Medias Anuales (°C) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	141
4.8	Evaporación Anual (mm.) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	142
4.9	Distribución de Zonas de Vida de Holdrige de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	145
4.10	Curva de duración de caudales para el río Santa Rosa en El Vado.	149
4.11	Hidrograma de avenida máxima para un período de retorno de 50 años	151
4.12	Mapa Geológico de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	157
4.13	Unidades Geomorfológicas de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	172
4.14	Mapa de Pendientes de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	175
4.15	Mapa de Rango de Alturas de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	177
4.16	Mapa de Suelos de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	181
4.17	Mapa de Usos de Suelos y Cobertura Vegetal de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	189
5.1	Modelo Digital del Terreno (MDT) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	204
5.2	Vista en 3D del Modelo Digital del Terreno (MDT) de la	

		Pág.
	Cuenca Alta del Río Santa Rosa	205
5.3	Mapa de Pendientes de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	206
5.4	Mapa de Vegetación de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	209
5.5	Mapa de Índices de Erosividad de la Lluvia (R) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	214
5.6	Mapa de coeficiente por clasificación taxonómica (Ctax) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	217
5.7	Mapa de coeficiente por textura del suelo (Ctex) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	218
5.8	Mapa de coeficiente de pendiente del suelo (Cpend) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	220
5.9	Mapa de Erosión Potencial – Ep (tn/ha/año) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	221
5.10	Mapa de escala de fragilidad de erosión potencial de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	224
5.11	Curva de gasto sólido para la estación hidrométrica Santa Rosa en El Vado	231
5.12	Curva de duración de caudales para el Río Santa Rosa en El Vado	232

INDICE DE TABLAS

Tabla	Descripción	Pág.
1.1	Delimitación de la cuadrícula que contiene la cuenca alta del Río Santa Rosa en Coordenadas UTM	10
1.2	Distribución porcentual de superficie de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa en los cantones de Santa Rosa, Atahualpa y Piñas de la provincia de El Oro	10
2.1	Clasificación de Cuenca por tamaño según Ven Te Chow	33
3.1	Creación de superficies con ArcGis Geostatistical Analyst	87
3.2	Predicción de Errores sin Análisis de Anisotropía (Prediction Errors without Anisotropy)	110
3.3	Predicción de Errores con Análisis de Anisotropía (Prediction Errors with Anisotropy)	113
3.4	Resumen del modelo utilizado para generar el Modelo Digital del Terreno	116
3.5	Pendiente media (S_c) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	121
3.6	Número de cauces por cada orden de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	126
3.7	Relación de Bifurcación (R_b) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	128
3.8	Densidad de drenaje de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa	128
4.1	Estaciones meteorológicas y pluviométricas cercanas al área de estudio	130
4.2	Distribución de alturas y superficies en la cuenca	132
4.3	Características climáticas asumidas para el área de estudio	138
4.4	Expresiones empleadas para delimitar las zonas de vida, con la Calculadora Raster (Raster Calculator) de ArcGis Spatial Analyst.	143

Pág.

4.5 Caudales medios, máximos y mínimos mensuales (m^3/s). Estación Limnimétrica Santa Rosa en El Vado (91 km^2). 148

4.6 Datos de caudal medio mensual (m^3/s) para el período 1971-1989. Estación hidrométrica Santa Rosa en El Vado 149

4.7 Caudales máximos para varios períodos de retorno 151

4.8 Litología y susceptibilidad de la erosión en la cuenca alta del río Santa Rosa. 156

4.9 Pendientes y superficie existente en el área de estudio 174

4.10 Expresiones empleadas para calcular la superficie de los rangos de pendientes, con la Calculadora Raster (Raster Calculator) de ArcGis Spatial Analyst 174

4.11 Características químicas y fertilidad de los suelos 187

4.12 Tasa de cambio estimado de bosque a pasto en la cuenca 190

4.13 Uso del suelo por muestreo de parcelas reportados por INEC (1990). 191

4.14 Número de UPAs y superficies por categoría de uso del suelo por muestreo del cantón Santa Rosa reportados por INEC (1999-2000). 192

4.15 Número de UPAs y superficies por categoría de uso del suelo por muestreo de la Provincia de El Oro reportados por INEC (1999-2000). 192

5.1 Expresiones empleadas para delimitar, clasificar y calcular las superficies de rangos de pendientes con la calculadora de mapas (Raster Calculator) de ArcGis Spatial Analyst 207

5.2 Formaciones Geológicas y Litologías de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa. 210

5.3 Índices de erosividad de la lluvia, R. 213

5.4 C_{pend} asignado a cada rango de pendientes a través de la calculadora de mapas (Raster Calculator) de ArcGis Spatial

		Pág.
	Analyst	219
5.5	Escala de fragilidad de erosión potencial	222
5.6	Expresiones empleadas para delimitar, clasificar y calcular las superficies de rangos de escalas de fragilidad de erosión potencial con la calculadora de mapas (Raster Calculator) de ArcGis Spatial Analyst	223
5.7	Coeficientes de uso del suelo en relación al uso y porcentaje de cobertura vegetal	226
5.8	Coeficiente de uso de suelo (C_{uso}) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa, Escenario 1	227
5.9	Estimación de erosión actual de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa, Escenario 1	227
5.10	Coeficiente de uso de suelo (C_{uso}) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa, Escenario 2	228
5.11	Estimación de erosión actual de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa, Escenario 2	229
5.12	Pérdida del suelo de la cuenca bajo diferentes escenarios	229
5.13	Gasto sólido para la estación limnimétrica Santa Rosa en El Vado	231
5.14	Cuantificación de la carga de sedimentos en suspensión y total, para la estación linnimétrica, Santa Rosa en El Vado	234

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

La disponibilidad de recursos hídricos y edáficos en una cuenca hidrográfica, depende de las tendencias dinámicas del funcionamiento de este tipo de sistemas, en particular los procesos de erosión incluida su cuantificación, la influencia de tratamientos integrados de producción y protección aplicados en la región y del ordenamiento territorial a partir de las limitantes de riesgo ambiental más comunes.

La crisis económica y social en las comunidades rurales, va de la mano con el uso intensivo de los recursos naturales, poniendo en serio peligro el futuro de las nuevas generaciones y el equilibrio de los ecosistemas naturales. Si bien es cierto que, los recursos naturales son la principal fuente de subsistencia para las comunidades rurales, la mala utilización de éstos, está provocando problemas ambientales como: disminución de caudales, alteración de ciclos hidrológicos, degradación de suelos, erosión, contaminación, disminución del potencial productivo de las tierras, entre otros

Ante el incremento de la población y del mejoramiento de los niveles de vida, el agua se viene convirtiendo en un recurso escaso en muchos países del mundo, lo cual también ocurre en Ecuador. Existe un reconocimiento creciente de que la cantidad de agua con que se cuenta en una región dada es finita y puede convertirse en elemento limitante para su desarrollo.

La demanda de los recursos hídricos con fines de abastecimiento humano, industrial, riego y generación de energía en las cuencas costeras viene presentando graves conflictos de interés, creándose períodos de aguda escasez durante los estiajes anuales (particularmente en los periodos de sequías); situación que se ve agravada por el deterioro de la calidad del agua producto de la contaminación minera, industrial, agrícola y doméstica.

Se considera que siendo el agua un recurso finito y vulnerable (esencial para sostener la vida, el desarrollo económico y el medio ambiente), el aprovechamiento y la gestión integrada del agua en estas cuencas deben apoyarse en la participación de los usuarios y de la sociedad pues ellos desempeñan un papel cada vez más importante e insustituible en su cuidado y preservación

El territorio nacional se divide en 31 Sistemas Hidrográficos[1], conformados por 79 cuencas. Estos sistemas corresponden a las dos vertientes hídricas que naciendo en los Andes drenan hacia el Océano Pacífico en un número de 24 cuencas, la cual representan 123.243 Km^2, con un porcentaje de superficie del territorio nacional de 48,07%; y en un número de 3 hacia la Región Oriental, la cual enmarca una área de 131.802 Km^2 y que representa el 51,41% del territorio nacional. La superficie insular aledaña al continente es de 1.325 Km^2, que representa el 0.52% del territorio nacional.

Los aportes totales de la red hidrográfica nacional, con un error del 30% probable, son de 110 billones de m^3 por año en la vertiente del Océano Pacífico y de 290 billones de m^3 por año en la vertiente Amazónica. Existe una gran heterogeneidad de la distribución espacial de los caudales en las diferentes regiones geográficas del Ecuador, dado por las diversas

[1] Fuente: Red Iberoamericana de Recursos Hídricos (HIDRORED)

condiciones físico-climáticas imperantes en el territorio nacional. El grado de uso del agua subterránea en el Ecuador es bajo, a excepción de la hoya de Latacunga.

Es fácil advertir que muchas actividades dependen de la utilización de los recursos hídricos, siendo innegable la relación que existe entre el uso del agua y el desarrollo sostenible. La buena utilización del agua inducirá de manera directa en el buen uso de los recursos naturales.

A medida que la población crece, se incrementa la presión sobre el medio ambiente, debido a la demanda de recursos naturales; esta demanda por lo general no es cubierta por los potenciales presentes en las cuencas, principalmente por las limitaciones tecnológicas y económicas.

Existe un claro reconocimiento de la necesidad de desarrollar más ampliamente las capacidades técnicas en la determinación de las áreas más propensas a sufrir algún tipo de fenómeno natural (inundaciones, sequías, etc.), desarrollando sistemas de predicción y advertencia, mediante la recopilación y análisis de la información hidrometeorológica existente.

Las cuencas hidrográficas son unidades físicas que sirven como marco referencial y objetivo para la planificación y gestión del desarrollo sostenible.

Bajo esta concepción la cuenca hidrográfica representa un espacio físico, tangible pues permite la concurrencia de los distintos factores físicos, intereses humanos y actividades económicos y constituye un instrumento valioso del estado y la sociedad para administrar su actividad, conciliar intereses, conservar la biodiversidad y permitir un uso sostenido de los recursos naturales.

Para la caracterización y evaluación de cuencas hidrográficas a nivel mundial, se viene aplicando ampliamente los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales se definen según los siguientes criterios:

1. Los SIG son el resultado de importantes líneas de investigación y desarrollo en diferentes frentes, tanto en el plano conceptual y teórico como en el plano tecnológico. Confluyendo ambos en este producto que se ha dado a llamar SIG.
2. Herramienta compleja, con grandes potencialidades y que requieren una serie de conocimientos y estudios en profundidad para obtener de ella conocimiento adecuados.
3. Herramienta muy versátil con un potencial suficiente como para manejar grandes volúmenes de información y modelos.

Las herramientas disponibles actualmente (cartas topográficas y catastrales, SIG, imágenes satelitales, fotografías aéreas, imágenes radar, procesadores de información) contribuirán a la precisión del diagnóstico con esta metodología.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivos Generales

- Proporcionar información básica para la planificación del uso y conservación de los recursos hídricos en Ecuador.
- Aplicar los conocimientos obtenidos en la ejecución del presente trabajo de investigación, con el fin de desarrollar criterios que pudiesen servir para elaboración de futuros temas de investigación.
- Aplicar una metodología modelo para la caracterización y evaluación de Cuencas Hidrográficas en Ecuador, utilizando como herramienta los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

1.2.2. Objetivos Específicos

- Poner a disposición de las instituciones y organismos del estado, encargadas de regular y controlar el uso y conservación de los recursos hídricos, las herramientas básicas para la formulación de políticas.
- Caracterizar la Cuenca Alta del Río Santa Rosa.
- Identificar la intensidad de uso de los recursos naturales y sus efectos en la pérdida de suelo.
- Aplicación del programa ArcGis para la caracterización de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa.
- Evaluar el índice de erosividad de la lluvia con el fin de definir el potencial que tiene la lluvia para erosionar.
- Calcular la erosión actual y potencial de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa.

1.3. Justificación del Proyecto

El mundo es un sistema ecológico único en donde el abasto hídrico o ciclo del agua tiene entre sus funciones el mantenimiento del clima global y para ello, la calidad de los subsistemas de cuencas y su cobertura vegetal resultan en una sumatoria vital para mantener estable dicho ciclo.

Actualmente, las pocas cuencas en las que no habitan los seres humanos, ni están incorporadas a la producción, son reservorios de naturaleza y biodiversidad que debieran estudiarse, manejarse y conservarse, puesto que día a día con su transformación, se extinguen especies que la humanidad aún no ha conocido y se pone en riesgo a la propia especie humana.

Las relaciones naturales, espaciales y de asentamientos humanos en las cuencas son muy variadas, por lo que cada una resulta en una especificidad. En cada cuenca donde se localizan asentamientos humanos debería evaluarse su capacidad de carga en relación a la densidad demográfica y su reproducción, considerando que una cuenca cuenta con una capacidad finita de recursos físicos y biológicos.

La relación de estos con el volumen de la demanda de las necesidades humanas constituye su capacidad de carga y es expresada como un umbral en el que la base natural y los recursos pueden reciclarse, regenerarse, reproducirse y producirse.

Una vez abatida dicha capacidad, el deterioro progresivo es irreversible. Un ejemplo, muy cercano y conocido en la Provincia de El Oro, es la contaminación actual ocasionada por la actividad minera en las zonas de Zaruma y Portovelo, que ha contaminado el agua del Sistema Hidrografico

del río Puyango, afectando la cadena trófica de los usuarios de éste recurso, incluyendo el hombre, de tal forma que actualmente no es recomendable ingerirla. Por lo anterior, las cuencas idealmente deben de mantenerse en un umbral positivo y la lógica de las sociedades que las habitan debe buscar constantemente el balance hacia márgenes positivos mayores sin que ello necesariamente implique, restricciones en la satisfacción de necesidades económicas, sociales y culturales.

1.4. Ubicación geográfica y política del área de estudio

La Cuenca Alta del Río Santa Rosa se encuentra localizada en la parte central de la provincia de El Oro, al suroccidente de Ecuador. La cuenca constituye una prolongación de la Cordillera de Daucay en su extremo occidental a una altitud de 2200 m.sn.m hasta el sitio de captación de agua potable que abastece a la ciudad de Santa Rosa (UTM 617.758 E y 9606743 N), aguas abajo de la población de El Recreo de cota 100 m.s.n.m. Las coordenadas geográficas de la cuenca alta del Río Santa Rosa se muestran en la Tabla 1.1., y en la Figura 1.1. se observa la ubicación geográfica de la cuenca Alta del Río Santa Rosa en el plano general de la provincia de El Oro.

Tabla 1.1. Delimitación de la cuadrícula que contiene la cuenca alta del Río Santa Rosa en Coordenadas UTM

Coordenada ESTE	Coordenada NORTE
616000	9600000
641000	9600000
616000	9608000
641000	9608000

La cuenca cubre los territorios de las parroquias La Avanzada y Torata pertenecientes al Cantón Santa Rosa, Ayapamba – Cantón Atahualpa y la parroquia Piedras – Cantón Piñas. La Tabla 1.2 y La Figura 1.2 muestran la distribución de la superficie entre los cantones mencionados.

Tabla 1.2. Distribución porcentual de superficie de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa en los cantones de Santa Rosa, Atahualpa y Piñas de la provincia de El Oro.

Cantón	Parroquia	Área (Km^2)	% Área
Santa Rosa	La Avanzada	12.2	15.24
	Torata	55.41	69.10
Atahualpa	Ayapamba	12.05	15.02
Piñas	Piedras	0.52	0.64
TOTAL		80.18	100

1.5. Metodología utilizada

1.5.1. Recopilación de Información.

La búsqueda de la información básica que se requiere para iniciar el estudio de Caracterización y Evaluación de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa, demandó una investigación profunda en las entidades públicas y privadas que tienen relación con la región donde se localiza la cuenca. Se requiere la utilización de una serie de datos topográficos, climáticos e hidrológicos y de información fisiográfica incluyendo red de drenaje, vegetación, litología y suelos, y demás información asociada al dominio de la cuenca. Mediante esta investigación se hizo un inventario que incluye los siguientes aspectos:

- Información Topográfica
- Información Hidrometeorológica
- Información Geológica, Geomorfológica, Riesgos Naturales
- Fotografías Aéreas
- Uso de Suelo

Figura 1.1. Ubicacion Geografica de la Cuenca Alta del Rio Santa Rosa en la Provincia de El Oro

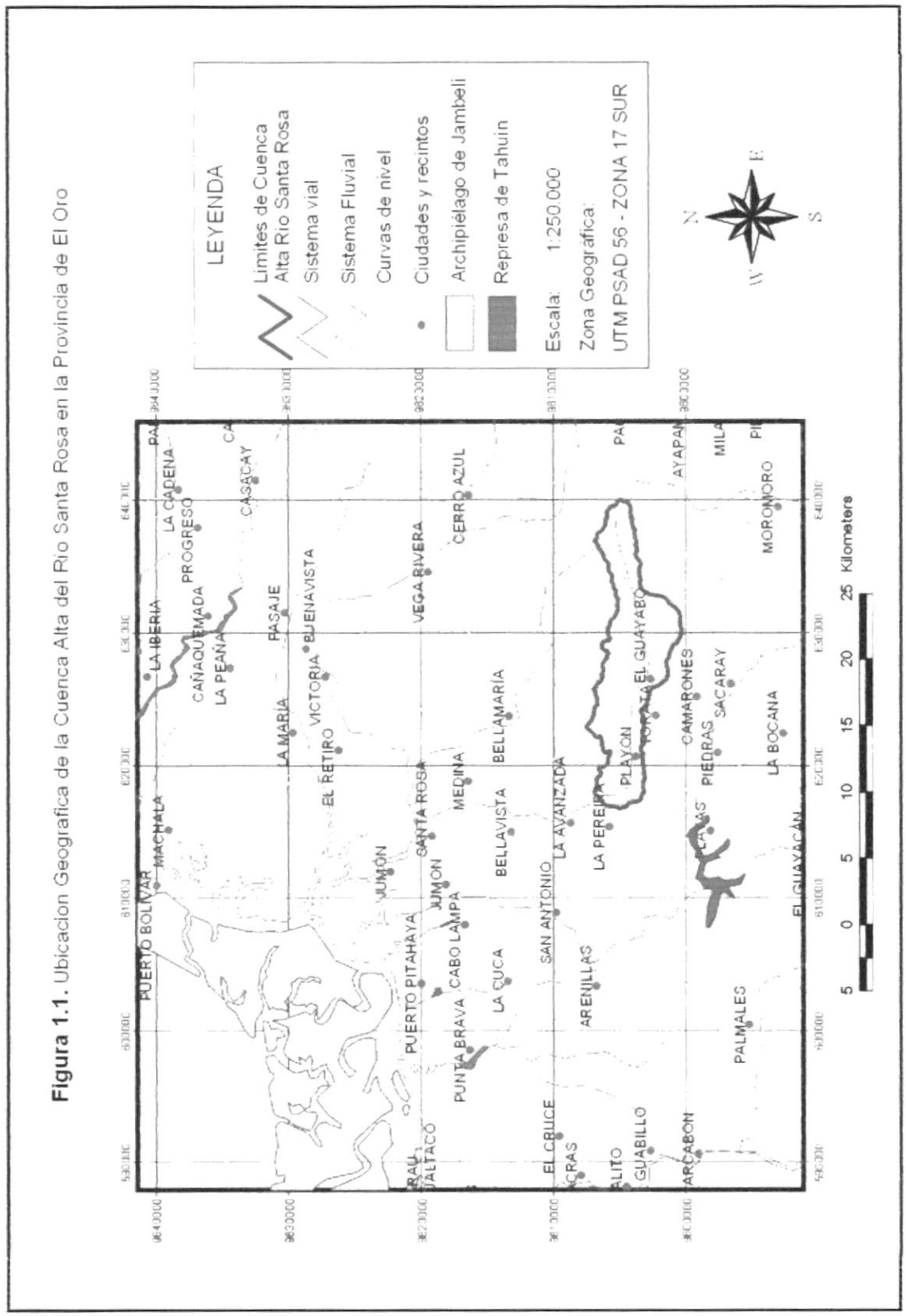
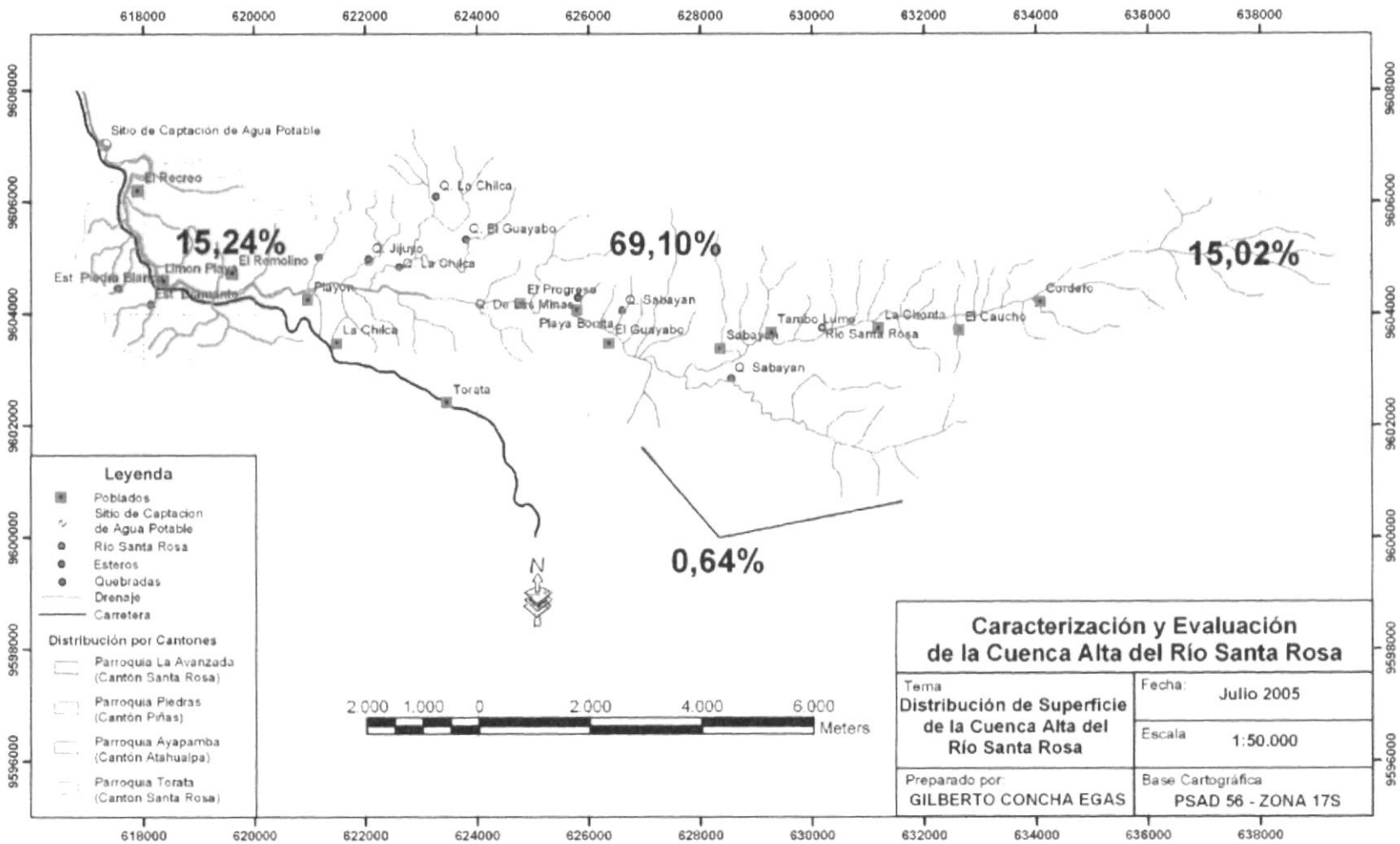


Figura 1.2. Distribución Porcentual de Superficie de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa en Cantones



Información Topográfica

El procedimiento ideal para la elaboración de estudios caracterización de cuencas consiste en utilizar mapas con curvas de nivel, a escalas que estén preferiblemente entre 1:10.000 y 1: 25.000.

La entidad encargada de la elaboración de las cartas topográficas en Ecuador, es el Instituto Geográfico Militar (IGM), por lo que se procedió a recopilar las cartas topográficas correspondientes a la zona de estudio.

Hidrometeorología

Este tipo de datos comprende información climatológica e hidrométrica. La información climatológica incluye registros de precipitación, temperatura, humedad atmosférica, evaporación y vientos en la cuenca de estudio y en cuencas vecinas de la misma región.

La información hidrométrica comprende los registros de los caudales líquidos y sólidos en tramos seleccionados de las corrientes de drenaje. Estos caudales constituyen información valiosa con que se puede contar en los estudios hidrológicos; desafortunadamente, es la más escasa. Cuando existen los registros, la información que se debe recolectar es la siguiente:

- Caudales medios diarios.

- Caudales máximos instantáneos.
- Registro de aforos líquidos y sólidos
- Uso de la tierra

En el Ecuador, el estudio de la evaluación de la disponibilidad, calidad y administración de usos del agua en todo el territorio nacional, cuenta con varias instituciones encargadas de esas tareas: el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI, adscrita al Ministerio de Energía y Minas; la Subsecretaria de Saneamiento Ambiental (adscrita al Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda); nueve corporaciones de Desarrollo Regional (CEDEGE, CRM, PREDESUR, CREA, CORSINOR, CORSICEN, CODELORO, CODERECH, CODERECO), dos entidades para la región marítima costera (DIGMER e INOCAR), todos los municipios y consejos provinciales; y como entidad central está el Consejo Nacional de Recursos Hidrológicos (CNRH) ante la desaparición del Instituto Ecuatoriano de Recursos Hídricos (INERHI) en 1994. El CNRH esta constituido como un cuerpo colegiado de cuatro ministerios, por un lado depende de los Ministerios de Agricultura y Ganadería, Finanzas y Crédito Público, de Energía y Minas, de Desarrollo Urbano y Vivienda, y de la Secretaría Nacional de Planificación.

Con estas premisas, se procedió a la recopilación de los datos hidrométeorológicos administrados por dichas entidades.

Uso y tipo de Suelo

Para establecer el uso del suelo, se procedió a la revisión y análisis, de la información disponible, acerca del uso del suelo que ha sido publicada por Programa Nacional de Regionalización Agraria -PRONAREG- en 1985, a escala 1:200.000, en base a la interpretación de fotografías aéreas tomadas entre 1976 a 1983. También se consultó el trabajo de Vera (1996), quién empleó información del Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos-CLIRSEN- (1989) para elaborar cartografía temática de varias cuencas en la Provincia de El Oro. Además se consultó el muestreo y análisis de suelos realizado por Fuentes y Pacheco (1998).

Como en ambos trabajos, el nivel de detalle, no es el requerido para el presente estudio y al no disponer de fotografías aéreas recientes, ni de imágenes satelitales en buen estado, se optó por adquirir las fotografías aéreas disponibles en el Instituto Geográfico Militar (IGM), a escala 1:60.000 con fecha de toma de los años 83 y 86, procediendo a una fotointerpretación del tipo de uso del suelo y cobertura vegetal existente.

Información Geológica, Geomorfológico y Riesgos Naturales

Para establecer esta información, se procedió a la revisión y análisis, de la documentación disponible en los Municipios de Santa Rosa, Atahualpa y Piñas; los estudios de las Compañías Mineras Zambrano y Ecuava, así como de la cartografía existente acerca de las características morfopedológicas, a escala 1:200.000 (PRONAREG, 1985), el mapa geomorfológico y de riesgos de erosión a escala 1:100.000 (CLIRSEN, 1989) y el mapa geológico a escala 1:100.000. Además de la fotointerpretación de fotografías aéreas a escala 1:60.000 con fecha de toma de los años 83 y 86.

1.5.2. Generación de Información

Procesamiento de información

La gestión integral de la información en una cuenca es un punto fundamental, para lo cual es necesario la aplicación de una herramienta que permita capturar, almacenar, validar, integrar, manipular, analizar y representar datos referenciados sobre la tierra, de la información disponible, esta herramienta es el Sistema de Información Geográfico (SIG) y como

plataforma se empleará el Software ArcGis™, y los módulos ArcScan, 3D Analyst, Spatial Analyst, Geoestatistical Analyst y ArcHydro Tool.[2]

Una de las bondades de los actuales paquetes de SIG es la posibilidad de incorporar nuevos procedimientos diseñados a la medida de las necesidades de los usuarios, con el fin de facilitar el proceso de toma de decisiones. Es por ellos que estos paquetes incluyen herramientas y funciones para su desarrollo.

Área de la Cuenca

Una vez que se ha recopilado las hojas topográficas correspondientes al área de estudio, se procederá a georeferenciar y vectorizar con el módulo ArcScan del software ArcGis las curvas de nivel existentes. Con dicha información digitalizada se desarrollará un Modelo Digital del Terreno (MDT) con los módulos Geoestatystical Analyst, Spatial Analyst y 3D Analyst. Este DEM, permitirá calcular una serie de parámetros mediante los módulos de ArcGis.

[2] ArcGis™ Software y los módulos son fabricados por Environmental Systems Research Institute (ESRI), Redlands, California. USA

1.5.3. Procesamiento de los Datos Obtenidos.

Una vez que se ha recopilado toda la información disponible, se la digitalizará y se la almacenará en una base de datos georeferenciada, al igual que los datos generados a partir de las fotografías aéreas. Esta información será necesaria para realizar el análisis cartográfico del deterioro físico ambiental por erosión hídrica de la cuenca.

1.5.4. Resultados.

Resultados Gráficos

Las ventajas del trabajar con un SIG, es la presentación de resultados de forma gráfica (secuencia de mapas) de tal forma que ayudan a la comprensión e interpretación de resultados de una manera rápida y sencilla.

Resultados Tabulares

Así como el modelo permite visualizar los resultados mediante gráficos, también presenta estos resultados a manera de tablas, indicando características como longitud de cauce, área de la cuenca, etc.

CAPITULO 2

2. FUNDAMENTOS TEORICOS PARA LA CARACTERIZACION HIDROGRAFICA DE LA CUENCA ALTA DEL RIO SANTA ROSA

2.1. Definiciones Generales

El agua es un recurso de flujo que se encuentra a disposición de la población en la cantidad necesaria, de acuerdo a la distribución espacial de las precipitaciones y a las condiciones y características de los factores que condicionan el flujo hídrico: suelos y vegetación.

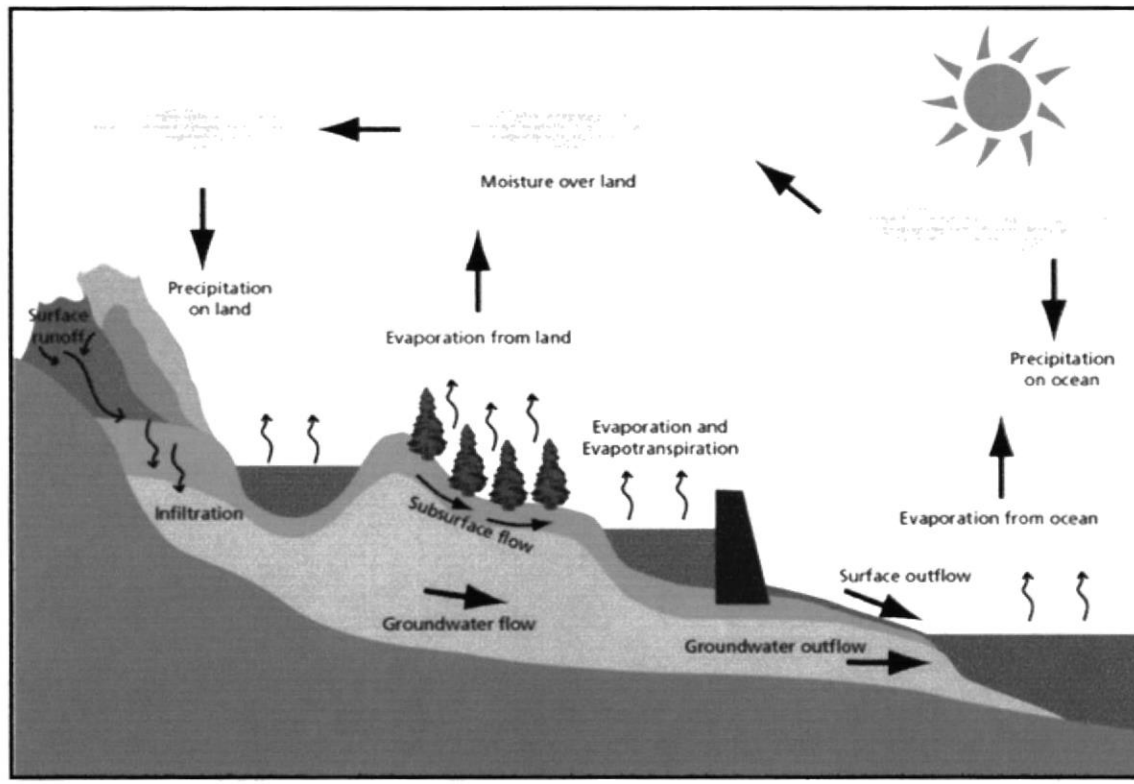
De ésta manera, al recurso agua, se involucra casi en forma instantánea los recursos suelo y vegetación, y en la relación sistémica que se establece dentro del medio natural para generar el flujo hídrico.

Se llama recurso de flujo al recurso que presenta, en el tiempo y en el espacio, una oferta natural presente, no constante, por unidad de tiempo (ej: los caudales).

El agua se caracteriza entonces, por ser un recurso de flujo con una intertemporalidad espacial regida por una intertemporalidad climática. Al definir el recurso agua como recurso de flujo, es necesario enmarcar este proceso de flujo dentro del espacio donde se desarrolla, el cual está identificado con el espacio de drenaje de volúmenes de agua, conocido como Cuenca Hidrográfica.

El espacio de las Cuencas Hidrográficas es el área donde se operativiza el flujo hídrico, el cual está condicionado al flujo de precipitaciones y al efecto de los recursos suelo y vegetación, generando en su conjunto dentro de este espacio, el ciclo hidrológico.

Figura 2.1. Ciclo Hidrológico del Agua



Fuente: Center for Research in Water Resources (CRWR).

El ciclo de precipitaciones es el factor activo del régimen hídrico, mientras que el suelo se constituye en el factor pasivo el cual recibe los volúmenes de precipitaciones, que mediante procesos energéticos convierte parte de éstos volúmenes en escorrentía superficial, configurando el flujo superficial de caudales que fluye por los cauces de drenaje constitutivos de la red hídrica de la Cuenca Hidrográfica.

Al uso de agua subsuperficial por parte de la vegetación se integra un flujo de disminución de la recarga hídrica, activado éste último por el clima y el régimen de los vientos, los cuales constituye lo que se conoce como flujo de evaporación. Los volúmenes de agua consumida a través de procesos internos de producción biológica primaria por parte de la vegetación y los utilizados por el flujo de evaporación, constituyen en conjunto el flujo de volúmenes de evapotranspiración, el cual se encuentra afectado, mediante tasas de reducción de volúmenes de infiltración, al sistema de recarga hídrica de las Cuencas Hidrográficas.

Al interior de la cuenca hidrográfica, la vegetación, no sólo cumple una función de producción de bienes y servicios, sino que también, cumple una función de protección, ya sea del entorno como también de los recursos hídricos, sean éstos temporales o permanentes. Esta acción de regularización se manifiesta en el proceso de configuración del ciclo hidrológico.

La Cuenca Hidrográfica tradicionalmente definida como el espacio físico-biótico bajo el concepto energético, actúa como un operador sistémico extremadamente complejo y fluctuante, en donde se genera un conjunto de fenómenos que se procesan mediante flujos energéticos y cambios de materia realizados dentro de su propio espacio.

Una nueva definición incorpora no sólo el concepto geográfico, sino que además una relación de los sistemas que interactúan internamente mediante diferentes procesos sinérgicos. De ésta forma una conceptualización de Cuenca Hidrográfica está referida a un espacio físico perfectamente definido por sistemas topográficos y geológicos que permiten delimitar territorialmente una superficie de drenaje común, en donde interactúan los sistemas físicos-bióticos y socioeconómicos. Por lo tanto el espacio de las Cuencas Hidrográficas, dentro del proceso de administración racional de los recursos naturales, se debe tomar como la unidad de planeamiento dentro de la cual se puede plantear la definición del uso de los recursos y determinar el efecto que tal uso origina sobre los propios recursos. Esta importancia, como unidad de planeamiento, que adquiere la Cuenca Hidrográfica se debe a las siguientes razones:

- Los recursos naturales agua, suelos y vegetación, sustentadores de ciclos vitales).
- La identificación y cuantificación espacial de los efectos, que sobre los recursos naturales y el sistema humano tienen las acciones de aprovechamiento de los recursos.
- Permite lograr la definición del equilibrio de las relaciones sistema humano- medio natural.

En la Figura 2.2, se presenta un modelo de flujos para una cuenca hidrográfica, en donde se incluye el sistema humano como factor que puede alterar los flujos de energía y materiales en éstos ecosistemas.

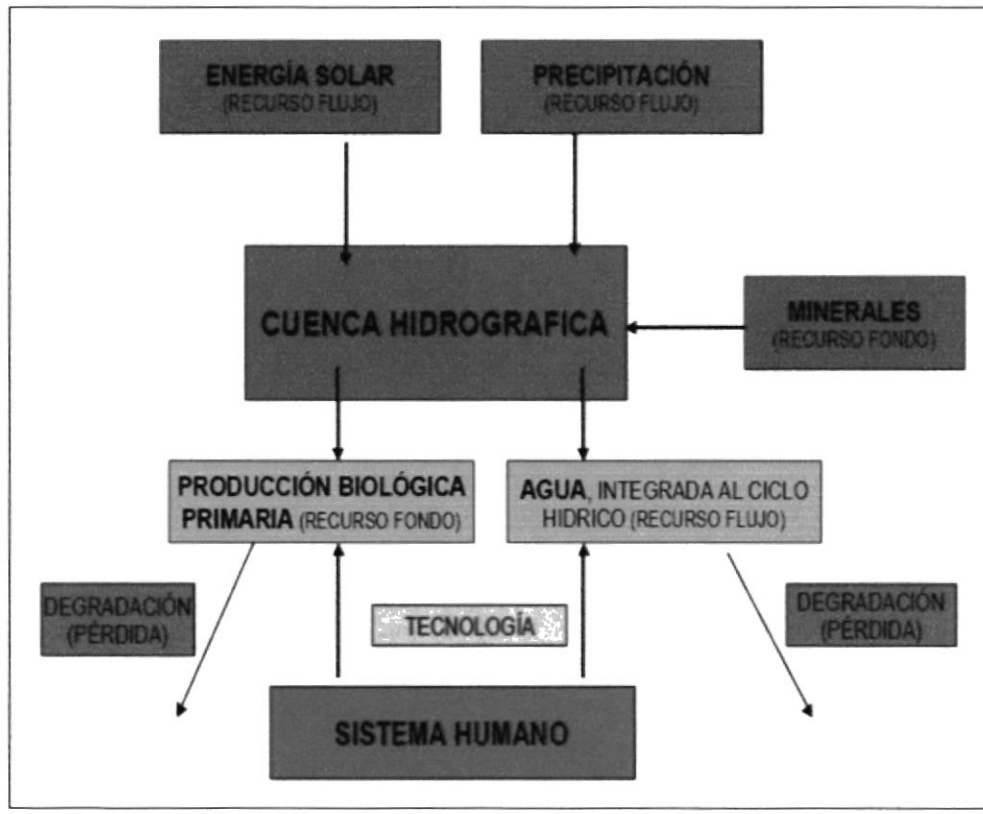
El componente "sistema antrópico", mediante sistemas tecnológicos puede influir en los flujos de salida de este operador mediante el mejoramiento de flujo de fondo de la intervención sobre la intertemporalidad del recurso de flujo agua, transformándolo en un recurso de fondo.

A su vez, el "sistema antropogénico" dentro de sus procesos productivos económicos y en procura de servicios, altera los diferentes flujos del operador sistémico, generando un proceso de degradación de los recursos de fondo de producción biológica y del recurso de flujo de agua. La degradación y alteración de los recursos constituyen el flujo energético de pérdida del sistema, cuya corrección obliga al sistema socioeconómico a incurrir en costos energéticos adicionales.

Teniendo en cuenta la infinidad de flujos energéticos naturales que se generan e interrelacionan dentro del operador sistémico denominado Cuenca Hidrográfica, se hace necesario definir un factor globalizador que integre

dentro de su conformación todos los flujos energéticos y participe dentro de la transformación de la materia. Este factor globalizador es el agua.

Figura 2.2. La Cuenca Hidrográfica es un operador sistémico activado por flujos de entrada: precipitación y energía solar (recursos de flujo), y minerales (recursos de fondo). Estos se transforman en flujos de salida: la producción biológica primaria (recursos de fondo) y el agua integrada espacialmente al sistema de ciclo hídrico (recurso de flujo).



Fuente: Departamento de Ciencias Ecológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile

De esta forma queda claro que el planteamiento de un uso ordenado y racional del recurso agua, orienta y direcciona la forma de utilizar los demás recursos naturales que se integran para configurar el ciclo hidrológico dentro de la Cuenca Hidrográfica.

Para lograr actuar sobre la problemática ambiental se hace indispensable definir una administración de los recursos naturales: racional, coherente y equilibrada entre las demandas socioeconómicas del sistema humano y la capacidad de oferta del medio natural.

Por lo tanto, se define que un plan de ordenamiento integrado del uso, conservación y protección de los recursos naturales, renovables y no renovables, en los espacios de las Cuencas Hidrográficas es la intervención racional, en los espacios físicos-bióticos de las cuencas, a través de programas materializados en proyectos cuyos fines fueron previamente establecidos y los cuales dentro de su diseño involucran, conceptos de uso de los recursos naturales y conceptos de conservación y protección de los mismos.

Desde el punto de vista económico las cuencas hidrográficas entregan grandes beneficios a la sociedad, que se originan en una amplia gama de bienes y servicios. En años recientes se ha dado mayor atención a la

importancia económica de los beneficios sin valor de mercado. Debido a su importancia a la hora de cuantificar los impactos de los programas de manejo de cuencas hidrográficas:

- Protección contra la erosión
- Control de los flujos hídricos
- Control de la sedimentación
- Mantención de la diversidad biológica
- Mejoramiento de la productividad del sitio
- Incorporación de suelos sin uso económico viable

Otro servicio ecológico importante frecuentemente citado como justificación para realizar actividades de conservación de cuencas, es la conservación del suelo y el agua con beneficios locales y nacionales.

Impactos Potenciales Ambientales

Bruijnzeel (1990), así como Hamilton y Pearce (1986) especifican una serie de impactos ambientales relacionados con la eliminación de bosques en ambientes tropicales y los cambios en el uso de la tierra en cuencas hidrográficas:

- El flujo total de agua es inversamente proporcional al nivel de cobertura vegetal, con excepción de los bosques nubosos en donde la precipitación horizontal compensa las pérdidas por evapotranspiración.
- Los flujos máximos pueden aumentar si las condiciones hidrológicas de los terrenos permiten que aumente la escorrentía superficial a costa de la subterránea. Esto puede provocar impactos locales de importancia, especialmente Inundaciones.
- La escorrentía base (flujo de agua en estación seca) podría aumentar o disminuir, dependiendo del efecto neto de cambios en la infiltración y la evapotranspiración.
- Cambios en la cubierta forestal probablemente no afecten la precipitación local de forma significativa.
- Los impactos hidrológicos negativos de la deforestación tienen más que ver con el uso posterior de la tierra que con la deforestación misma.

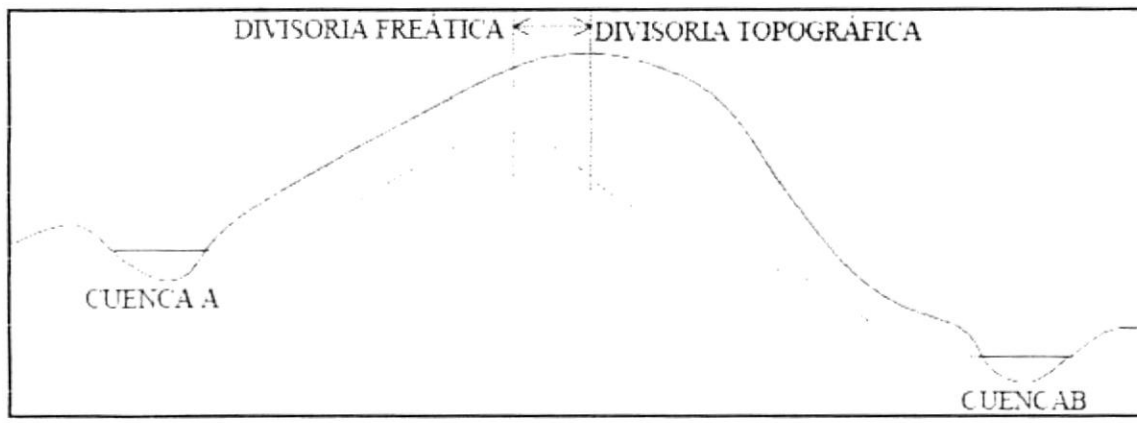
2.2. Cuenca Hidrográfica

Es la totalidad del área drenada por una corriente o sistema interconectado de cauces, tales que todo o parte del escurrimiento originado en tal área es descargado a través de una única salida.

Debe tenerse en cuenta que la divisoria topográfica de una cuenca y la correspondiente cuenca de aguas subterráneas (divisoria freática) no necesariamente coinciden, ya que ésta última es determinada principalmente por las estructuras geológicas y en menor grado por la topografía.

Conviene señalar que la cuenca topográfica podrá ser menos extensa que la cuenca de aguas subterráneas, si su cauce en alimentado por circulaciones subterráneas procedentes de cuencas vecinas y por el contrario la cuenca topográfica podrá contener cuencas cerradas en las que los escurrimientos terminan en lagos y sumideros que no están unidos a la red de cauces, Figura 2.3.

Figura 2.3. Cuenca Hidrográfica.



Fuente: Curso de Hidrología Aplicada (2004). Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú.

2.3. Divisoria o parte aguas

Línea imaginaria del contorno de una cuenca hidrográfica que la separa de las adyacentes y concentra el escurrimiento originado por la precipitación en el sistema de cauces que fluye hacia la salida de tal cuenca.

Cuatro reglas práctica para el trazado de la divisoria topográfica:

1. La divisoria corta de forma perpendicular las curvas de nivel y pasa por los puntos de mayor altitud.
2. Cuando la divisoria va aumentando de altitud, corta a las curvas de nivel por la parte convexa.
3. Cuando la altitud de la divisoria va decreciendo, corta a las curvas de nivel por su parte cóncava.
4. La divisoria nunca corta a una quebrada o río, excepto en los puntos de salida de la cuenca.

2.4. Área de la cuenca

El área de una cuenca es el área plana en proyección horizontal, encerrada por su divisoria. Usualmente el área de una cuenca se determina mediante un planímetro sin embargo hoy en día con los avances que se tiene en

software y hardware para el análisis topográfico resulta fácil digitalizar o escanear una cuenca y determinar su área.

Investigaciones hidrológicas diversas han puesto de manifiesto que existe diferencia entre una cuenca pequeña y una grande. En una cuenca pequeña la cantidad y distribución del escurrimiento son influenciadas principalmente por el clima, geomorfología, condiciones físicas del suelo y la cobertura, etc; en cambio para cuencas grandes el control del hombre así como el efecto de almacenamiento en la cuenca determina que la estimación del escurrimiento sea más compleja.

Existen dificultades en la distinción de una cuenca pequeña y una grande, basándose únicamente en el tamaño, pues frecuentemente dos cuencas del mismo tamaño tienen diferentes respuestas hidrológicas.

Según Ven Te Chow, una cuenca pequeña puede ser definida como aquella que es sensible a lluvias de alta intensidad y corta duración y en la cual predominan las características físicas del suelo sobre las del cauce principal. Menciona además que una cuenca pequeña puede bordear entre 4 a 130 km2. Como referencia se puede utilizar la siguiente clasificación de la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Clasificación de Cuenca por tamaño según Ven Te Chow

Tamaño de la cuenca (Km^2)	Descripción
<25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia - pequeña
500 a 2500	Intermedia - grande
2500 a 5000	Grande
>5000	Muy grande

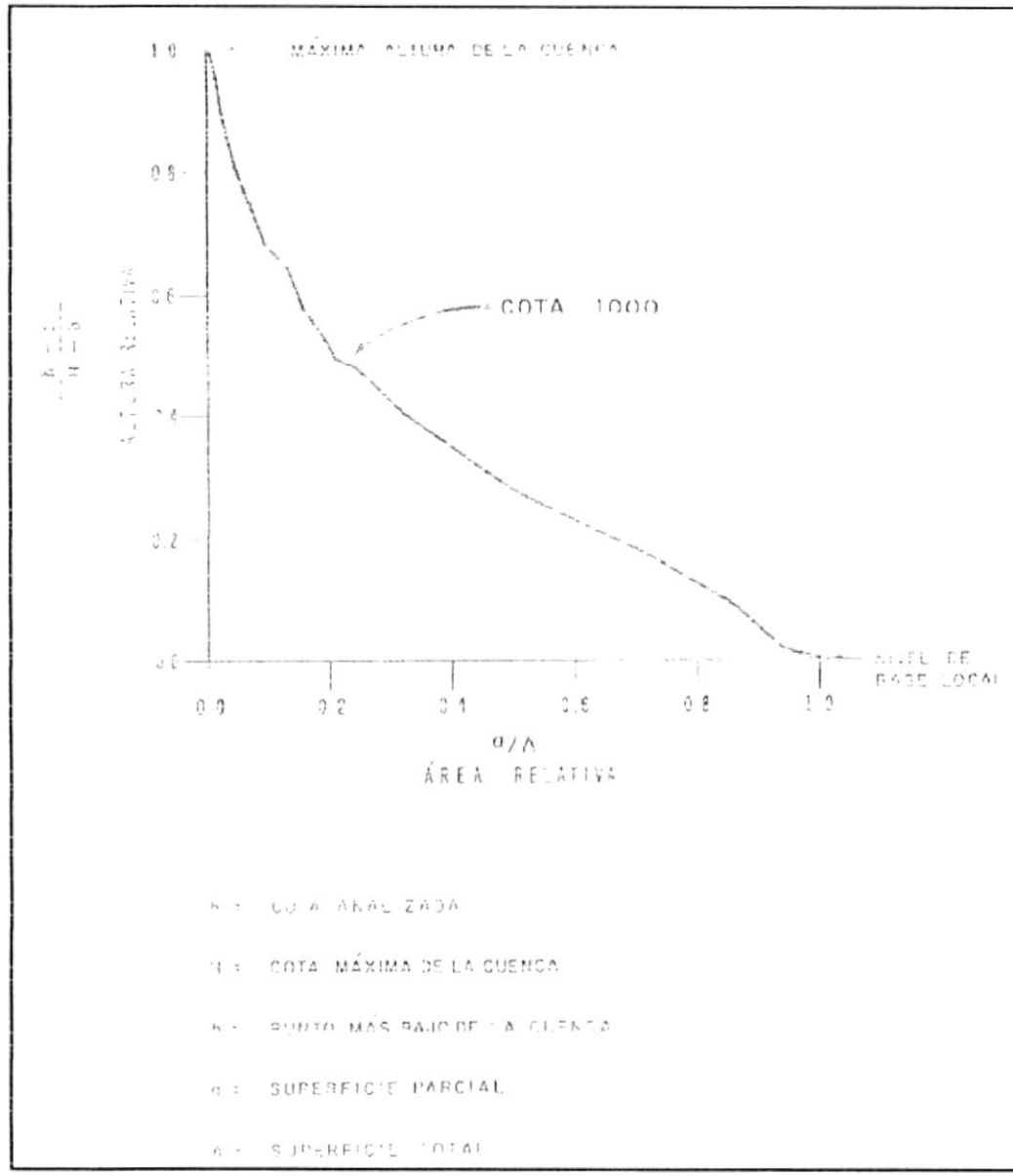
2.5. Curva hipsométrica de una cuenca

En razón que la topografía o el relieve tiene más influencia que la forma de una cuenca en lo referente a la respuesta hidrológica de ésta, es frecuente utilizar la llamada curva hipsométrica, la cual representa gráficamente las elevaciones del terreno en función de las superficies correspondientes.

La curva hipsométrica o curva área - elevación se construye determinando el área entre curvas de nivel y representando en una gráfica el área acumulada por encima o por debajo de una cierta elevación, Figura 2.4.

Otro parámetro que se puede estimar a partir de la curva hipsométrica es la denominada elevación media de la cuenca, la cual equivale a la cota correspondiente al 50% del área de la cuenca.

Figura 2.4. Curva hipsométrica de una cuenca



Fuente: Curso de Hidrología Aplicada (2004), Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú

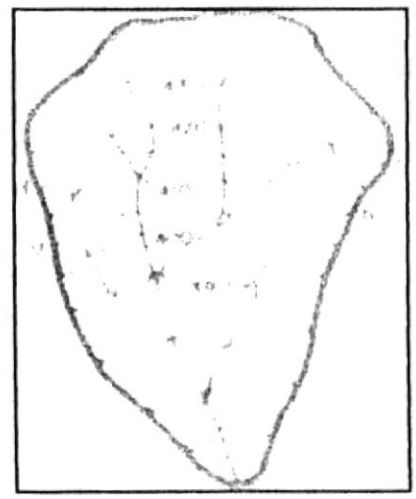
2.6. Pendiente de la cuenca

La pendiente de la cuenca tiene gran influencia en los valores de infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea en el flujo presente en los cauces. Asimismo es el principal factor físico que controla el tiempo del flujo sobre el terreno y tiene influencia directa con la magnitud de las avenidas o crecida de los ríos.

La pendiente media de la cuenca se puede estimar a partir del mapa a curvas de nivel desde el cual se puede calcular la pendiente para numerosas laderas principales y finalmente obtener un promedio de los valores de pendiente previamente estimados.

Otro criterio es el de J.W.Alvord. Supóngase la cuenca de la Figura 2.5.

Figura 2.5. Pendiente de una cuenca



a1 : Area de la faja abcd en km^2
w1 : Ancho promedio de la faja abcd en km
l1 : Longitud de la curva de nivel 410 en km
s1 : Pendiente promedio de la faja abcd
D : Equidistancia o desnivel constante entre curvas de nivel
A : Area o tamaño de la cuenca en km^2
L : Longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca en km.

$$s1 = \frac{D}{w1} = \frac{Dl1}{A}$$

$$Sc = \frac{Dl1}{a1}\frac{a1}{A} + \frac{Dl2}{a2}\frac{a2}{A} + \ldots + \frac{Dln}{an}\frac{an}{A}$$

$$Sc = \frac{D}{A}(l1 + l2 + \ldots + ln) = \frac{DL}{A}$$

La pendiente de la cuenca es igual a la longitud total de las curvas de nivel dentro de ellas, multiplicadas por el desnivel constante entre éstas y dividida entre el tamaño de la cuenca.

2.7. Coeficiente de masividad

El coeficiente de masividad se define como el cociente entre la pendiente media de la cuenca y el área de la cuenca.

$$Cm = \frac{Sc}{A}$$

2.8. Características de la red de drenaje

La red de drenaje de una cuenca es el sistema de cauces por el que fluyen los escurrimientos superficiales, subsuperficiales y subterráneos, de manera temporal o permanente. Su importancia se manifiesta por sus efectos en la formación y rapidez de drenado de los escurrimientos normales o extraordinarios, además de proporcionar indicios sobre las condiciones físicas del suelo y de la superficie de la cuenca.

Las principales características de la red de drenaje son: tipo de corrientes, modelo de drenaje, orden de corrientes, relación de bifurcación y densidad de drenaje.

2.8.1 Tipos de corrientes

Las corrientes comúnmente se clasifican en: perennes, intermitentes y efímeras, en base a la constancia de su escurrimiento o flujo, el cual está relacionado con las características físicas y climáticas de la cuenca. Las corrientes perennes conducen agua todo el tiempo excepto durante sequías extremas. Una corriente intermitente lleva agua la mayor parte del tiempo pero principalmente en épocas de lluvias y por último las corrientes efímeras sólo conducen agua durante las lluvias o inmediatamente después de éstas.

2.8.2 Modelos de drenaje

La combinación de los efectos del clima y la geología de la cuenca topográfica, originan modelos de erosión los cuales son caracterizados por la red de drenaje que presenta la cuenca, Figura 2.6.

Figura 2.6. Modelos de drenaje más comunes



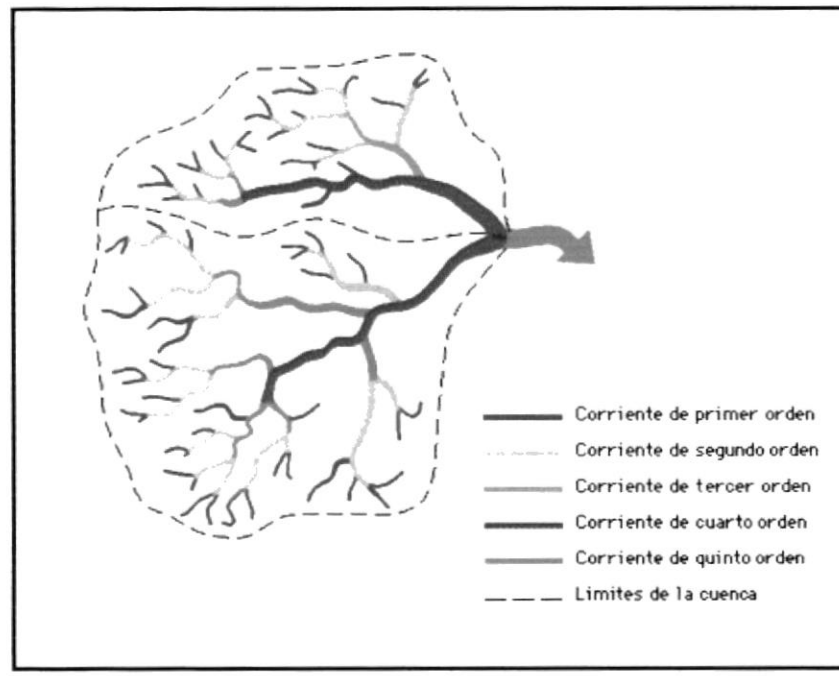
Fuente: Curso de Hidrología Aplicada (2004), Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú

2.8.3 Orden de corrientes

Es una clasificación que refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de una cuenca. Horton clasificó el orden de corrientes asignando el orden 1 a

las más pequeñas, es decir, aquellas que no están ramificadas, el orden 2 a las corrientes que sólo tienen ramificaciones o tributarios de primer orden, de orden 3 aquellos con dos o más tributarios de orden 2 o menor, etc.; Figura 2.7.

Figura 2.7. Orden de corrientes



Fuente: Enciclopedia Microsoft Encarta (2005)

2.8.4 Relación de bifurcación

El concepto de relación de bifurcación se define como el cociente entre el número de corrientes de cualquier orden y el número de corrientes del siguiente orden superior.

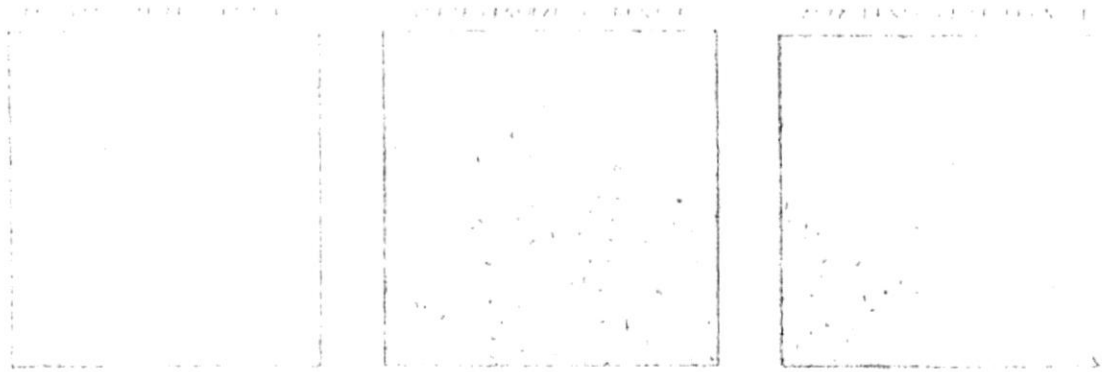
$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}}$$

2.8.5 Densidad de drenaje

Se define como la Longitud total (∑L) de los cauces dentro de la cuenca, dividida entre el área total de drenaje (A).

$$Dd = \frac{\sum L}{A}$$

Figura 2.8. Densidad de drenaje



Fuente: Curso de Hidrología Aplicada (2004), Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú.

2.9. Características de una Cuenca Hidrográfica

La cuenca de un río, en general, consta de tres sectores (Figura 2.9.):

- Cuenca Receptora

- Tramo medio
- Cono de deyección

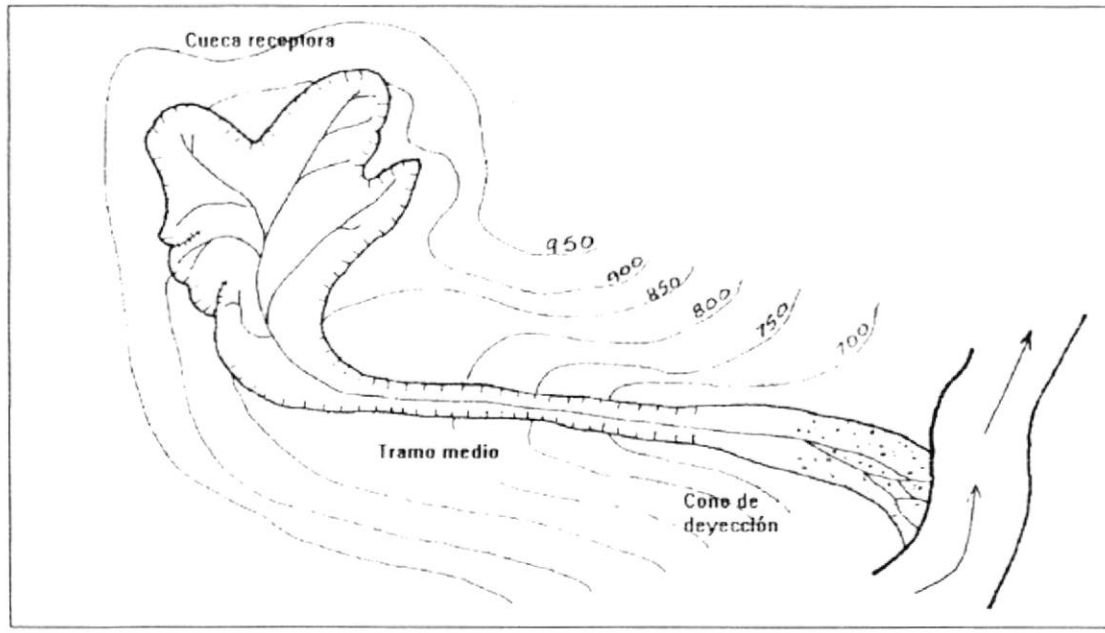
Las cuencas adquieren condicionantes particulares con predominio de los elevados procesos de erosión, gran transporte de sedimentos y riesgos climáticos. Al mismo tiempo la ocupación del territorio se extiende prácticamente a toda su superficie, con prácticas agrícolas, pecuarias y mineras.

2.9.1. Cuenca receptora.

La cuenca receptora, es la zona de mayor altura. De este sector proviene la mayor parte de los volúmenes de escurrimiento y es el de mayor aporte de sedimentos.

La erosión es un factor decisivo para este fenómeno, interviniendo factores como: topografía, propiedades físicas y químicas de los suelos.

Figura 2.9. Sectores de una cuenca.



Fuente G Silva, 2002

El movimiento de masas puede atribuirse a las características geológicas, tectónicas, condiciones hidrológicas, propiedades químicas y físicas de las masas, clima, topografía, pendiente, cobertura vegetal, cambios en el contenido de agua en las masas de suelo.

Entre los tipos más característicos de movimientos de masas de tierra citamos los siguientes:

a. Derrumbes

Desprendimiento de piedras en sectores de fuerte pendiente por influencia del agua y movimientos sísmicos.

b. Deslizamientos

Movimientos en dirección de la pendiente, formados por masas de roca suelta o suelos. Se presentan en suelos arcillosos y limosos, con gran contenido de agua.

c. Cierre de Valle

Movimiento muy lento de arrastre que cubre una gran extensión superficial. Este tipo de movimiento dura varios cientos de años y no puede ser regulado por el hombre porque tiene causas tectónicas.

Además de los movimientos de masas mencionados, adquieren relevancia los procesos de erosión laminar, a consecuencia del impacto directo de las gotas de lluvia sobre la superficie y el transporte de material por los escurrimientos superficiales.

Como consecuencia de la erosión laminar, se advierten sectores de suelo de color más claro en las laderas; el suelo orgánico de otro tiempo ha sido removido, quedando el subsuelo, más claro, pobre en materia orgánica.

En general, la superficie de los terrenos casi siempre es irregular, con depresiones y elevaciones, presentando además heterogeneidad en las características físicas y químicas de los suelos e irregularidades ocasionadas por las labores de labranza.

Estas condiciones dan lugar a que se presenten procesos de formación de surcos en dirección de la pendiente por la acumulación de agua en las depresiones hasta superar la resistencia de los componentes más débiles.

2.9.2. Tramo medio

El tramo medio de la cuenca, es por lo regular de topografía encajonada entre abruptos taludes, es más estrecho que las otras dos zonas y la solera de su lecho tiene pendientes acentuadas, aunque de menor magnitud que las que presenta la cuenca receptora. En este sector pueden presentarse procesos de erosión, esta vez debido a las grandes velocidades de flujo, originando fuertes tensiones de corte sobre la superficie del lecho; el flujo de agua adquiere gran capacidad de transporte.

A consecuencia de la erosión de fondo, el nivel de la solera disminuye progresivamente, aumentando la altura de los taludes laterales en la misma proporción, lo que puede provocar la inestabilidad de las riberas. Los

cambios morfológicos se presentarán en función de la resistencia que ofrezcan los suelos componentes del perímetro hidráulico a la acción de las tensiones de corte del flujo.

En el tramo medio de la cuenca, se mantienen las condiciones de erosión, aunque esta vez el escurrimiento será responsable del proceso. El fenómeno de erosión origina la inestabilidad de los taludes por la profundización del lecho.

2.9.3. Cono de deyección

El cono de deyección, es el área donde se deposita la mayor parte del material generado por erosión en la cuenca receptora y en el tramo medio. La trayectoria del flujo cambia continuamente en razón a las características de zona de bajas pendientes y lecho aluvial. La condición de menor capacidad de transporte de sedimentos, dará lugar a que los sedimentos sean depositados de manera desordenada, generando continuos cambios de dirección del cauce.

Este tramo se encuentra ubicado en el sector inferior de la cuenca, constituyéndose en el lugar de deposición de los materiales erosionados en los sectores superiores. La zona adquiere pendientes menores,

reduciéndose las velocidades y la capacidad de transporte, que dan lugar a procesos de sedimentación. La distancia que recorren las partículas de suelo desprendidas por la erosión depende de su tamaño, densidad, forma y velocidad de escurrimiento.

La masa de tierra desprendida de las laderas se deposita al pie de estos terrenos o en planicies aluviales próximas. Esta masa es sobre todo resultado de la erosión laminar y de la erosión en surcos y se desplaza hasta distancias relativamente pequeñas de los terrenos de donde fueron desprendidos por la erosión, depositándose cuando la velocidad del escurrimiento disminuye. En ocasiones, gran parte de esta tierra puede depositarse formando pequeños abanicos aluviales cuando las corrientes experimentan cambios bruscos de pendiente.

En el cono de deyección, los problemas estarán asociados a desbordes e inundaciones de terrenos aledaños; en algunos casos estos lugares corresponden a terrenos de producción agrícola o urbanizaciones.

Según Dourojeanni (2001:10) para efectos prácticos, una cuenca hidrográfica puede ser dividida en las secciones:

- Cuenca alta, que corresponde con las áreas montañosas limitadas en su parte superior por las líneas divisorias de aguas
- Cuenca media, que comprende las zonas de pie de monte y valles bajos, donde el río principal mantiene un cauce definido.
- Cuenca baja o zonas transicionales (como estuario o humedales), donde el curso de agua divaga o desaparece como tal (Basterrechea et al, 1996:13)

2.10. Factores que actúan en la Generación de Caudales Sólidos y Líquidos

Los principales factores que actúan en la generación de los caudales sólidos y líquidos que llegan a los cauces naturales están relacionados con las características de la lluvia y de la cuenca, la erosión pluvial y la dinámica de los cauces. A continuación se detallan los fundamentos teóricos correspondientes a cada uno de los factores que actúan en la generación de caudales líquidos y sólidos.

2.10.1. Características de la lluvia

Intensidad

La intensidad de lluvia es aquella tasa de agua con la que cae la lluvia. Usualmente es medida en centímetros ó pulgadas por hora.

La intensidad de lluvia no considera la duración total de la lluvia. Esta puede ser considerada como la lluvia total en un período en particular.

Frecuencia

La frecuencia puede ser expresada como la probabilidad que tiene una intensidad de lluvia a ser igualada o excedida. La frecuencia puede también ser expresada en términos del intervalo promedio entre intensidades de lluvia.

La frecuencia de una intensidad de lluvia no puede ser establecida sin especificar previamente la duración de la lluvia, debido a que la intensidad de lluvia varía con la duración de ésta.

Distribución Temporal

El análisis de la frecuencia de la intensidad de lluvia es discutido por Chow y otros autores. Generalmente se utilizan dos métodos para seleccionar los datos de lluvia que se utilizarán en los análisis de frecuencias. Estos métodos son: las series anuales y las series de duración parcial.

Las series anuales consideran únicamente la lluvia máxima de cada año (usualmente año calendario), e ignora las otras lluvias registradas en el mismo. Estas lluvias menores, registradas durante el año, muchas veces exceden las lluvias máximas de otros años.

Los análisis de series de duración parcial, consideran todas las lluvias mayores, sin considerar el número de ocurrencias dentro de un año en particular.

2.10.2. Erosión pluvial

La magnitud de la erosión pluvial depende del régimen de lluvias y de la geomorfología de la hoya vertiente. La erosión se cuantifica por medio del parámetro denominado "pérdida de suelo". Esta pérdida de suelo representa un potencial medio de erosión anual y se expresa en milímetros de suelo por año (mm/año).

Solamente una parte de este volumen llega hasta los cauces naturales y alimenta la carga de sedimentos en suspensión que transporta la corriente. Los siguientes son los factores que intervienen en el cálculo de la Pérdida de Suelo (G. Silva, 2002):

- Número de aguaceros fuertes en el año, intensidades de los aguaceros, tamaño y altura de caída de las gotas de agua.
- Erodibilidad del suelo.
- Distribución de los cultivos.
- Características físicas de la zona: Área, Longitud y Pendiente.

2.10.3. Dinámica de los cauces

La dinámica de los cauces depende de su caracterización hidráulica, la cual se basa en aspectos como: geometría del cauce, régimen de flujo, contracción y expansión, viscosidad

2.10.4. Rugosidad del Cauce

El coeficiente de rugosidad representa la resistencia a fluir que presenta el agua en cauces y llanuras de inundación. El Departamento de Exploración Geológica de los Estados Unidos (USGS), tiene una metodología para el cálculo de este coeficiente, en la que incluye varios factores como: irregularidad, variación de la sección transversal del canal, obstrucción, vegetación, grado de forma meándrica, etc.

2.11. Transporte de Sedimentos

En una corriente natural, el transporte de los sedimentos se compone de carga de fondo, carga en suspensión y carga en saltación; la última componente es una combinación de las dos primeras. La suma de las tres se denomina carga total.

La pendiente del cauce es uno de los factores importantes que inciden en la capacidad que tiene el flujo para transportar sedimentos, por cuanto está relacionada directamente con la velocidad del agua. En los tramos de pendiente fuerte los cauces tienen pendientes superiores al 3%, y las velocidades de flujo resultan tan altas que pueden mover como carga de fondo sedimentos de diámetros mayores de 5 centímetros, además de los

sólidos que ruedan por desequilibrio gracias al efecto de lubricación producido por el agua. (D. Simona y F. Senturk, 1992).

Cuando el cauce pasa de un tramo de pendiente alta a otro de pendiente baja, su capacidad de transporte se reduce y comienza a depositar los materiales que recibe del tramo anterior. En este proceso forma islas y brazos y puede tomar una conformación trenzada, con cauce divagante. Además, el material que se deposita eleva el fondo del cauce y disminuye su capacidad a cauce lleno.

En los cauces de régimen tranquilo, también denominados de llanura, las aguas se desbordan cuando los caudales de creciente superan la capacidad a cauce lleno. Por su lado en los tramos de régimen torrencial o de montaña, se presentan principalmente fenómenos de socavación de fondo y erosión de márgenes.

2.12. Erosión Hídrica Potencial y Actual

Para estimar la erosión hídrica se ha empleado la ecuación paramétrica propuesta por FAO/PNUMA/UNESCO (1980), que considera la intervención de factores ambientales en la degradación del suelo, mediante la siguiente expresión:

$$D=f(R, S, T, U)$$

En donde:

D = degradación del suelo

R = factor de agresividad climática

S = factor de suelo

T = factor topográfico

U = factor de uso del suelo

Según López (1995) la resolución de esta ecuación, da una indicación numérica de la velocidad de degradación. Los valores de los factores R, S, T y U están en razón inversa al grado de resistencia con respecto a la degradación de modo que, mientras mayor sea el factor numérico asignado, mayor será la degradación resultante.

2.12.1. Índice de erosividad de la lluvia

El factor climático se calcula a partir del índice de erosividad de la lluvia (R) propuesto por Arnoldus (1977), que es una modificación del índice de Fournier (Hadley, Lal, Onstand et al, 1985).

$$R = \sum_{i=1}^{n=12} \frac{pi^2}{P}$$

En donde:

R = índice de erosividad de la lluvia

pi = precipitación mensual en mm

P = precipitación anual en mm

2.12.2. Riesgo de erosión hídrica

El riesgo de erosión o erosión potencial, se obtiene empleando la expresión siguiente:

$$Ep = R \times C_{tex} \times C_{tax} \times C_{pend}$$

Ep = riesgo de erosión en ton/ha/año

C_{tex} = coeficiente por textura del suelo

C_{tax} = coeficiente por clasificación taxonómica del suelo

C_{pend} = coeficiente de pendiente del suelo

2.12.3. Erosión actual

La erosión actual se obtiene, utilizando la expresión siguiente:

$$Ea = Ep \times C_{uso}$$

En donde:

Ea = erosión actual en ton/ha/año

C_{uso} = coeficiente de uso del suelo

CAPÍTULO 3

3. CARACTERISTICAS DE LA CUENCA DE DRENAJE

3.1. Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en Cuencas Hidrográficas.

El SIG puede ser considerado como una de las principales herramientas de análisis de sistemas hidrográficos, como las definidas por Grigg (1986), pues consiste en un ambiente de almacenamiento, tratamiento y manipulación de datos, aplicación de modelos y procesamiento de series

temporales, donde es posible visualizar escenarios pasados, actuales y simular escenarios futuros. En realidad, existen diversas definiciones del SIG, sin embargo Silva (1998) las sintetizó en la definición de los requisitos necesarios de un sistema para que sea considerado es que el SIG necesita usar el medio digital, por tanto el uso intensivo de informática es imprescindible; debe existir una base de datos integrada, estos datos necesitan estar geo-referenciados y con control de errores; el SIG debe contener funciones de análisis de estos datos, variando de álgebra cumulativa (Ej.: operaciones de tipo suma, substracción, multiplicación y división) hasta álgebra no cumulativa (operaciones lógicas).

Los sistemas de información geográfica manejan información territorial de diversos tipos, en función de los modelos de datos y de la naturaleza de las variables, además de ser una herramienta de gran utilidad al permitir la combinación de diversas variables distribuidas en el territorio, y del empleo de otras herramientas de análisis espacial como la Teledetección y la Geoestadística, pues permite resultados más ajustados a la realidad que los obtenidos por los procedimientos clásicos.

Algunos autores han resaltado, la importancia del uso del SIG como herramienta de análisis del sistema (Grigg, 1996), diagnóstico del medio físico (Bacellar et al., 1994; Beltrame, 1994; Cavalieri et al., 1997 y 1998),

modelaje (Bacellar et al., 1994; Lima, 1997, Cavalieri et al., 1998), impactos (Bacellar et al, 1994; Lima, 1997; Cavalieri et al., 1998) y planificación (Lima, 1997, Valério Filho, 1992; Cavalieri et al., 1997 y 1998) de cuencas hidrográficas, colocando siempre su importancia en la integración y visualización de datos, generación de nuevas informaciones y como un sistema de soporte para la toma de decisión.

3.2. Geoestadística

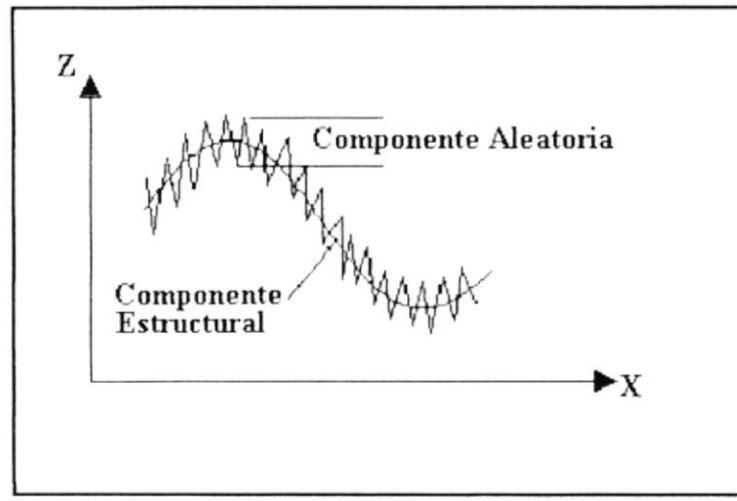
3.2.1. Introducción

En el campo de las geociencias es común encontrar variables distribuidas espacialmente. Para el estudio de estas variables son usados diversos procedimientos geoestadísticos de estimación y/o simulación. Esto es, a partir de un conjunto de muestras tomadas en localizaciones del dominio en que se manifiesta un fenómeno a estudiar y consideradas representativas de su realidad, que por lo general es siempre desconocida, estos procedimientos permiten la descripción o caracterización de las variables con dos fines diferentes, primero, proporcionar valores estimados en localizaciones de interés y segundo, generar valores que en conjunto presenten iguales características de dispersión que los datos originales.

Los métodos más eficientes que proporcionan la mayor información posible de los datos disponibles, es decir, los modernos, de los que se puede citar entre los geomatemáticos están: el inverso de la distancia, triangulación, splines, etc. Aún más, buscando el mejor estimador que minimice la varianza del error de estimación surge la Geoestadística por los trabajos de G. Matheron en la Escuela Superior de Minas de París, basado en conceptos iniciales de trabajos de H.S. Sichel en 1947 y 1949, en la aplicación de la distribución lognormal en minas de oro, seguido por la famosa contribución de D.G. Krige en la aplicación del análisis de regresión entre muestras y bloques de mena. Estos trabajos fijaron la base de la Geoestadística Lineal, además, de la introducción de la teoría de funciones aleatorias por B. Matern en el estudio de la variación espacial de campos forestales.

La Geoestadística se define como la aplicación de la Teoría de Funciones Aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales (Journel y Huijbregts, 1978), o simplemente, el estudio de las variables numéricas distribuidas en el espacio (Chauvet, 1994), siendo una herramienta útil en el estudio de estas variables (Zhang, 1992). Su punto de partida es asumir una intuición topo-probabilista (Matheron, 1970). Los fenómenos distribuidos en el espacio, la mineralización en un yacimiento mineral por ejemplo, presenta un carácter mixto, un comportamiento caótico o aleatorio a escala local, pero a la vez estructural a gran escala (Figura 3.1).

Figura 3.1. Carácter mixto de una función aleatoria



Se puede entonces sugerir la idea de interpretar este fenómeno en términos de Función Aleatoria (FA), es decir, a cada punto x del espacio se le asocia una Variable Aleatoria (VA) Z(x), para dos puntos diferentes x e y, se tendrán dos VAs Z(x) y Z(y) diferentes pero no independientes, y es precisamente su grado de correlación el encargado de reflejar la continuidad del fenómeno en estudio, de modo que el éxito de esta técnica es la determinación de la función de correlación espacial de los datos (Zhang, 1992). Su estimador, El Krigeaje, tiene como objetivo encontrar la mejor estimación posible a partir de la información disponible, y en efecto, el valor estimado obtenido $Z^*(x)$ de un valor real y desconocido Z(x), consiste en una combinación lineal de pesos asociados a cada localización donde fue muestreado un valor Z (xi) (i = 1,...n) del fenómeno estudiado, observando dos condiciones fundamentales: 1.- que el estimador sea insesgado. $E [Z^* - Z] = 0$, y 2.- que la varianza

Var[Z* - Z] sea mínima, consiguiéndose de este modo minimizar la varianza de error de estimación.

A diferencia de otros métodos de interpolación, como por ejemplo el inverso de la distancia, el krigeaje utiliza en la estimación las características de variabilidad y correlación espacial del fenómeno estudiado, por lo que su uso implica un análisis previo de la información con el objetivo de definir o extraer de esta información inicial un modelo que represente su continuidad espacial. Una vez logrado, se está en condiciones de obtener el mejor valor posible en cada localización o bloque a estimar a partir de los datos medidos, acompañada de la varianza de krigeaje como medida del error de la estimación realizada (Armstrong y Carignan, 1997), lo que distingue al krigeaje de otros métodos de interpolación (Abasov et al., 1990; de Fouquet, 1996; Carr, 1995).

3.2.2. Variables aleatorias regionalizadas

Una variable aleatoria puede tomar cualquier valor dentro de un rango determinado, esta es la característica fundamental que distingue a este tipo de variable, además de su valor, una posición en el espacio, hecho éste al que Matheron denominó Variable Aleatoria Regionalizada (Matheron, 1970), la cual está presente en la mayor parte de los estudios geológicos

(Pawlowsky et al., 1995) y fenómenos naturales (de Fouquet, 1996). Al respecto en Journel y Huijbregts (1978) y David (1977) plantean que la definición de variable regionalizada como una variable distribuida en el espacio es puramente descriptiva y envuelve una interpretación probabilística, refiriéndose a que, desde el punto de vista matemático una variable regionalizada es simplemente una función f(x) que toma valores en todos los puntos x de coordenadas (x_i, y_i, z_i) en el espacio tridimensional. Sin embargo, es muy frecuente que estas funciones varíen tan irregularmente en el espacio que impide un estudio matemático directo, y se hace necesario realizar un análisis de variabilidad de la información disponible, sugiriendo un estudio profundo de la función variograma.

En términos teóricos es oportuno aclarar que una variable aleatoria (VA) es una variable que puede tomar ciertos valores de acuerdo a cierta distribución de probabilidades. Un valor medido en cada punto x_i es considerado como una realización z (x_i) de una VA Z (x_i) cuya media es m (x_i). En los puntos x donde no existen valores medidos es desconocida la propiedad que se estudia, pero están bien definidos y pueden asimismo considerarse variables aleatorias Z(x). Al conjunto de todas las mediciones z(x) en el área de estudio de la variable regionalizada puede considerarse como una realización particular del conjunto de VAs (Z(x), x $\in$ área de estudio). A este conjunto de VAs se llama Función Aleatoria y se escribe Z(x) (Journel y Huijbregts, 1978;

Armstrong y Carignan, 1997). De modo que al extender el concepto de función aleatoria al espacio de una o más dimensiones, aparece la noción aleatoria y estructural de una variable regionalizada: primero Z(x) como VA y segundo que las VAs Z(x) y Z(x+h) no son en general independientes, si no que están relacionadas por la estructura espacial de la variable regionalizada original Z(x).

En el estudio de las variables aleatorias regionalizadas es importante presentar conceptos que se señalan en Journel y Huijbregts (1978) y David (1977) y que son utilizados por la mayoría de los autores donde se aplican los métodos geoestadísticos como herramienta fundamental de trabajo.

Estos conceptos son:

a. Región: se refiere al espacio en el cual existe y se estudia el fenómeno natural.

b. Localización: Es el punto de una región en la cual se define una variable aleatoria regionalizada.

c. Soporte Geométrico: Está determinado por el elemento físico sobre el cual se realiza la determinación de la variable aleatoria regionalizada, esto no

es más que la muestra unitaria, sobre la cual estudiaremos el atributo de interés.

d. Momentos de primer orden: Si la función de distribución de $Z(x_i)$ tiene una media definida, será una función de la localización x_i.

$$M(x_i) = E\{Z(x_i)\}$$

e. Momento de segundo orden: Si la varianza (Var) de $Z(x_i)$ existe, entonces se define como el momento de segundo orden y será también una función de la localización x_i.

$$\text{Var}\{Z(x_i)\} = E\{[Z(x_i) - m(x_i)]^2\}$$

Si la varianza de las variables $Z(x_i)$ y $Z(x_j)$ existe, entonces la covarianza (Cov) de éstas también existe y es función de las localizaciones x_i y x_j.

$$\text{Cov}[Z(x_i), Z(x_j)] = E\{[Z(x_i) - m(x_i)][Z(x_j) - m(x_j)]\}$$

$$\text{Si } x_i = x_j ; \quad \text{Cov}[Z(x_i), Z(x_j)] = \text{Var}\{Z(x_i)\}$$

La función variograma o función estructural se define como la varianza de la diferencia $Z(x_i) - Z(x_j)$.

$$Var\{Z(x_i) - Z(x_j)\} = 2\gamma(x_i, x_j)$$

La magnitud $\gamma(x_i, x_j) = \frac{1}{2} Var\{Z(x_i) - Z(x_j)\}$ se denomina semivariograma. También se puede definir el correlograma estandarizando, la covarianza para los valores:

$$x_i - x_j = h = 0 \text{ como: } \rho(h) = C(h)/C(0) \quad -1 \leq \rho \leq 1$$

Donde:

C (h) es la covarianza a la distancia h,

C (0) es la covarianza en el origen.

Existen relaciones entre estas medidas de correlación:

$$\gamma(h) = C(0) - C(h) \qquad \text{con } \gamma(0) = 0$$

$$\rho(h) = 1 - \gamma(h) / C(0)$$

3.2.3. Hipótesis de la Geoestadística

Como la forma en que se presenta la información es muy diversa (Journel y Huijbregts, 1978), la geoestadística se construye asumiendo condiciones de estacionaridad. Por lo que es necesario aceptar el cumplimiento de ciertas

hipótesis sobre el carácter de la función aleatoria o procesos estocásticos estudiados, llamadas Hipótesis de la Geoestadística. Estas son según Journel y Huijbregts (1978) y David (1977): La Estacionaridad Estricta, La Estacionaridad de Segundo Orden, La Hipótesis Intrínseca y los Procesos Cuasiestacionarios.

I- Estacionaridad Estricta. Se dice que Z(x) es estrictamente estacionaria si la función de distribución de probabilidades de las variables aleatorias regionalizadas $Z(x_i)$ son iguales entre sí, independiente de la localización x_i, lo que requiere que los momentos de distinto orden para cada variable aleatoria regionalizada sean completamente independientes de la localización x_i. Esta condición como su nombre lo indica es demasiado restrictiva al estudiar la mayoría de los fenómenos encontrados en la práctica.

II- Estacionaridad de Segundo Orden. Esta condición es más frecuente en la práctica, la misma exige que:

1) $E\{Z(x_i)\} = m$, existe y no depende de la localización x_i.

2) La función covarianza, $Cov\{Z(x_i) - Z(x_j)\}$, exista y sólo dependa de la longitud del vector $h = x_i - x_j$ o sea:

$$C(h) = Cov\{Z(x_i), Z(x_j)\} = E\{Z(x_i), Z(x_i+h)\} - m^2$$

Esta hipótesis requiere la estacionaridad sólo para la media y para la función de covarianza de la variable aleatoria regionalizada. La segunda condición implica, estacionaridad de la varianza y del variograma.

$$1^{o} \quad Var[Z(x_i)] = E\{[Z(x_i) - m]^2\} = C(0) \qquad \forall x$$

$$2^{o} \quad \gamma(h) = E\{[Z(x_i)]^2\} - E\{Z(x_i), Z(x_i+h)\} \qquad \forall x$$

Como: $E[Z(x_i), Z(x_i+h)] = C(h) + m^2$, y

$$E[Z^2(x_i)] = C(0) + m^2$$

$$\gamma(h) = C(0) + m^2 - (C(h) + m^2)$$

$$\gamma(h) = C(0) - C(h).$$

Como se observa en la última expresión $\gamma(h)$ y $C(h)$, son dos herramientas que permiten expresar la correlación entre la variable aleatoria regionalizada $Z(x_i)$ y $Z(x_i+h)$, separadas por el vector h.

III- Hipótesis Intrínseca. Una función aleatoria Z(x) se dice intrínseca cuando:

a) Su esperanza matemática existe y no depende de la localización x_i.

$$E\{Z(x)\} = m \qquad \forall x$$

b) Para todo vector h el incremento [Z(x+h) - Z(x)] tiene varianza finita y no depende de la localización x_i:

$$Var\{Z(x+h) - Z(x)\} = E\{[Z(x+h) - Z(x)]^2\} = 2\gamma(h) \qquad \forall x$$

Cuando se cumple esta condición se dice que la función aleatoria Z(x) es homogénea. Esta condición se encuentra con bastante frecuencia en la naturaleza, pues existen muchos procesos que no tiene varianza finita y sin embargo, poseen una función variograma finita. La estacionaridad de segundo orden, siempre implica la condición intrínseca (homogeneidad), sin embargo la relación inversa no siempre se cumple.

IV- Procesos Cuasiestacionarios. En la práctica la función estructural, covarianza o semivariograma, es sólo usada por límites $|h| \leq b$. El límite b representa la extensión de la región en la que el fenómeno estudiado conserva cierta homogeneidad del comportamiento de $Z(x_i)$. En otros casos, b pudiera ser la magnitud de una zona homogénea y dos variables Z(x) y Z(x+h) no pueden ser consideradas en la misma homogenización de la

mineralización si |h| > b. En tales casos, se puede y verdaderamente se debe estar satisfecho con una función estructural C(x,x+h) o γ(x,x+h), lo que no es más que estacionaridad local (para distancias h menores que el límite b). Esta limitación de la hipótesis de estacionaridad de segundo orden (o la hipótesis intrínseca si sólo el variograma es asumido) a sólo esas distancias $|h| \leq b$ corresponde a la hipótesis de cuasiestacionaridad. Esta hipótesis es verdaderamente un compromiso de la escala de homogeneidad del fenómeno y la cantidad de datos disponibles.

En la práctica según Armstrong y Carignan (1997) y Chica (1987) son dos las hipótesis que más se presentan: La Estacionaridad de Segundo Orden y la Hipótesis Intrínseca. Estas condiciones de estacionaridad se asumen en el desarrollo teórico, en la práctica deben ser verificadas en los datos antes de comenzar un estudio geoestadístico, para lo que se puede realizar un análisis estadístico de la información, de modo que se refleje de así el grado de confiabilidad en la aplicación de estos métodos.

3.2.4. Modelos teóricos de semivariogramas

Los modelos teóricos de semivariogramas admisible o autorizados más utilizados en la práctica se presentan en Journel y Huijbregts (1978) en los que coinciden Krajewski y Gibbs (1993), Deutsch y Journel (1998), Bacchi y

Kottegoda (1995), Wackernagel (1995), Armstrong y Carignan (1997), Myers (1991c), Kiyono y Suzuki (1996). Atendiendo a las dos características más importantes en el modelado de semivariogramas que son según Journel y Huijbregts (1978):

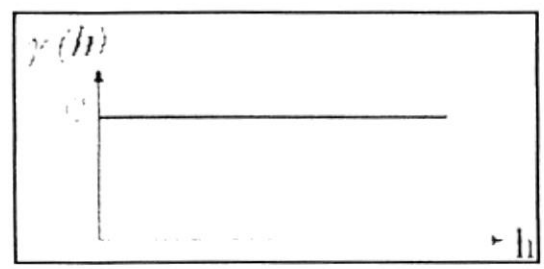
1. Su comportamiento en el origen, el cual puede ser lineal, parabólico y con Efecto de Pepita
2. La presencia o ausencia de meseta. Estos modelos son:

3.2.4.1. Efecto de Pepita: Corresponde a un fenómeno puramente aleatorio (ruido blanco), sin correlación entre las muestras, cualquiera sea la distancia que las separe, (Figura 3.2), donde C representa el valor de la meseta.

$$\gamma(h) = 0 \quad h = 0$$

$$= C \quad |h| > 0$$

Figura 3.2. Modelo de Efecto Pepita

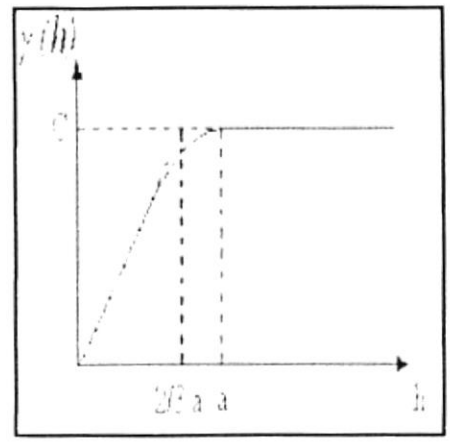


3.2.4.2. Modelo Esférico: Este modelo es probablemente el más utilizado, es una expresión polinomial simple, en su forma representada en la Figura 3.3, se puede observar un crecimiento casi lineal y después a cierta distancia finita del origen se alcanza una estabilización, la meseta. La tangente en el origen encuentra a la meseta en el punto de abscisa (2/3) a, donde a representa el valor del alcance.

$$\gamma(h) = C\,[(3/2)\,(h/a) - \tfrac{1}{2}(h/a)^{3}] \qquad h \leq a$$

$$C \qquad h > a$$

Figura 3.3. Modelo Esférico

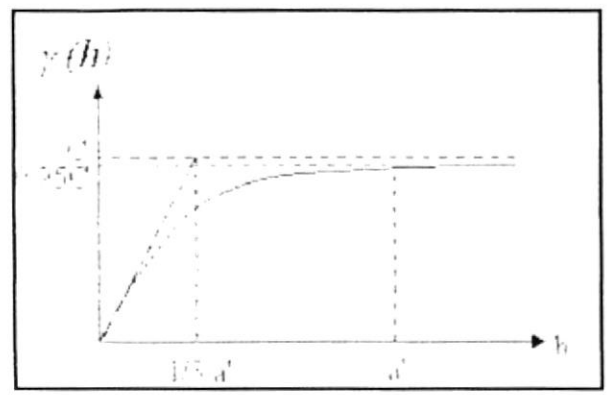


3.2.4.3. Modelo Exponencial: Este modelo a diferencia del esférico crece inicialmente más rápido y después se estabiliza de forma asintótica (Figura 3.4.). Como la meseta no se alcanza a una distancia finita, se usa con fines

prácticos el "alcance efectivo" o "alcance práctico" a´, valor que se obtiene en el punto de abscisa para el cual el modelo obtiene el 95% de la meseta, con un valor a´=3a, donde a es el parámetro de escala. La tangente en el origen encuentra a la meseta en el punto a = (1/3)a´.

$$\gamma(h) = C\,[1 - \mathrm{Exp}\,(-|h|/a)] \quad |h| > 0$$

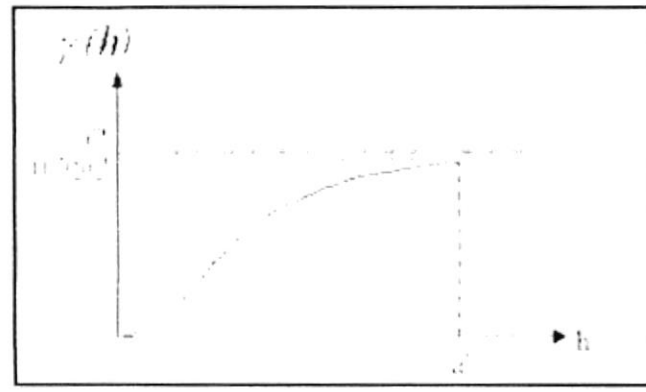
Figura 3.4. Modelo Exponencial



3.2.4.4. Modelo Gaussiano: Este es un modelo extremadamente continuo (Figura 3.5), inicialmente presenta un comportamiento parabólico en el origen, después al igual que en el modelo Exponencial se alcanza la meseta de forma asintótica. El alcance práctico tiene un valor de a´=1.73a, que es el valor de la abscisa donde se alcanza el 95% de la meseta.

$$\gamma(h) = C\,[1 - \mathrm{Exp}\,(-|h|^2/a^2)] \quad |h| > 0$$

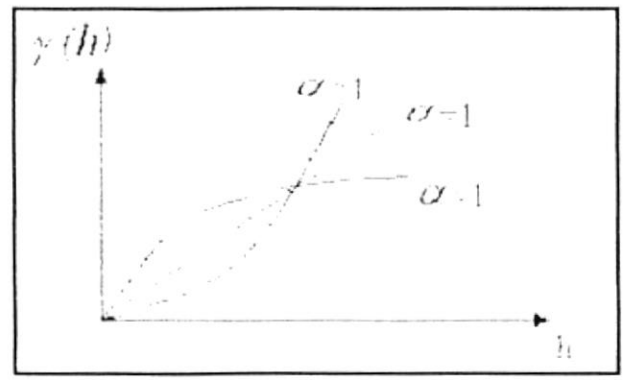
Figura 3.5. Modelo Gaussiano



3.2.4.5. Modelo con función potencia: Este es un modelo sin meseta, su forma se representa en la Figura 3.6, para valores de α correspondientes a 0.5, 1.0 y 1.5.

$$\gamma(h) = |h|^{\alpha} \text{ con } \alpha \in]0, 2[$$

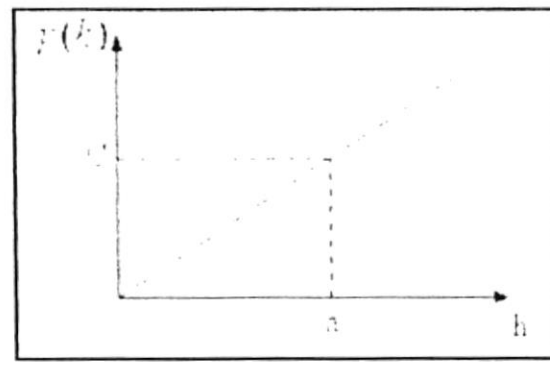
Figura 3.6. Modelo con Función Potencia



Para el valor de α = 1 en el modelo anterior se obtiene el modelo Lineal, el cual no tiene ni meseta ni alcance. Ahora por efectos prácticos, sin embargo, muchos programas informáticos denotan la pendiente del modelo lineal con la relación C/a (Figura 3.7).

$$\gamma(h) = (C/a)\,|h|$$

Figura 3.7. Modelo Lineal



Se han presentado los modelos más usados en la práctica, aunque se debe señalar que existen otros modelos que son ampliamente descritos en el manual de referencias del ArcGis Geoestatistical Analyst como; Tetraspherical, Pentaspherical, Rational quadratic, K-Bessel, J-Bessel, Hole effect, Stable, etc.

La selección del modelo y los parámetros apropiados a las características del semivariograma empírico, para ser usados en la interpolación geoestadística es el punto más importante en el proceso planteando (Arik, 1990).

3.2.5. Validación del modelo teórico

Como el ajuste de los modelos teóricos al semivariograma experimental, se realiza de forma visual o interactiva, variando los valores C_o (efecto de pepita), $C + C_o$ (meseta) y a (alcance), hasta coincidir con los parámetros que mejor se ajustan, es conveniente validar el modelo seleccionado y los parámetros meseta y alcance escogidos. Al respecto se discute la validación cruzada en Journel y Huijbregts (1978), Armstrong y Carignan (1997), Bacchi y Kottegoda (1995), Myers (1991b), Deutsch y Journel (1998), Xie y Myers (1995b), Kiyono y Suzuki (1996), Host (1995), Lajaunie (1997), Madani (1998), Carr (1994).

El método de validación cruzada ha sido ampliamente utilizado para evaluar el grado de bondad de un modelo de semivariograma y reconocido como un método óptimo de estimación de sus parámetros. La operación de validar un semivariograma teórico ajustado a uno experimental siempre toma mucho tiempo, éste se considera como el último de los pasos importantes del

análisis de variabilidad, debido a que una vez obtenido este resultado será utilizado en la estimación por krigeaje en cualquiera de sus variantes.

3.2.5.1. Validación cruzada

Sea Z(x) una función aleatoria estacionaria con semivariograma $\gamma(h)$, su función de covarianza C (h) viene dada por $C(h) = \sigma^2 - \gamma(h)$ donde σ^2 es la varianza de Z(x). Sea Zx_1, $Zx_2,\ldots,Zx_n$ los valores de Z(x) en n puntos medidos. La validación cruzada consiste en suprimir el i-ésimo valor medido $Z(x_i)$ y estimarlo a partir del resto de los datos. El valor estimado $Z^*(x_i)$ se calcula por krigeaje, procedimiento explicado más adelante.

Si se repite este proceso para los N puntos, se pueden calcular n errores de validación:

$$E(x_i) = Z^*(x_i) - Z(x_i) \qquad i = 1, 2, \ldots, N.$$

Así se van probando diferentes valores de los parámetros del semivariograma hasta que los errores de validación cumplen los siguientes criterios estadísticos: (Journel y Huijbregts, 1978; David, 1977; Armstrong y Carignan, 1997).

1. El error medio, dado por $T_1 = (1/n) \sum_{i=1,n} [Z(x_i) - Z^*(x_i)]$, debe ser aproximadamente igual a cero.
2. El error medio cuadrado, dado por $T_2 = (1/n) \sum_{i=1,n} [Z(x_i) - Z^*(x_i)]^2$, debe ser pequeño.
3. La medida, $T_3 = (1/n) \sum_{i=1,n} \{[Z(x_i) - Z^*(x_i)]/\sigma\}^2$, debe ser igual a uno.
4. La medida, $T_4 = Corr\{[Z(x_i) - Z^*(x_i)]/\sigma, Z^*(x_i)\}$, debe ser cero.
5. La medida, $T_5 = Corr\{Z(x_i), Z^*(x_i)\}$, debe ser uno.

Otros autores sólo plantean que las medidas fundamentales son la indicada por T1 y T3, (Lamorey y Jacobsom, 1995; Bacchi y Kottegoda, 1995).

3.2.6. Ajuste automático

El ajuste de modelos de semivariogramas se puede realizar también de forma automática. Esta ha sido presentada por varios autores, en la que se sugieren una forma particular de aplicar el método de los mínimos cuadrados y así obtener el modelo y sus parámetros, teniendo en cuenta que el modelo obtenido sea definido positivo, como ya se ha indicado. La efectividad de estos se describe y argumenta en Gotway (1991) y Zhang (1995). Una comparación generalizadora se presenta en Zimmerman y Zimmerman (1991) donde se comparan varios métodos para estimar los parámetros del semivariograma entre visuales y automáticos.

Ahora, el ajuste realizado de forma automática no tiene porque reportar mejores resultados en el proceso de estimación, recomendándose en Journel y Huijbregts (1978) y Lantuéjoul (1997) y otros validar el modelo seleccionado de acuerdo al estimador a utilizar. Un criterio decisivo, independiente de la forma utilizada en la elección del modelo teórico y sus parámetros, es sin lugar a dudas, emplear el método de la validación cruzada con el estimador a utilizar en el proceso de estimación, discutido anteriormente.

3.2.7. Interpolador Kriging

El kriging o krigeaje es una técnica de estimación que proporciona el mejor estimador lineal imparcial (BLUE, en ingles, Best Linear Unbiased Estimator), (Schaug et al., 1993; Christensen et al., 1993; Abasov et al., 1990), y que además proporciona un error de estimación conocido como varianza de krigeaje que depende del modelo de variograma obtenido y de las localizaciones de los datos originales (Armstrong y Carignan, 1997; Journel y Huijbregts, 1978; David, 1977; Abasov et al., 1990). Esto brinda la posibilidad de hacer análisis sobre la calidad de las estimaciones (Weerts y Bierkens, 1993; Haas, 1992).

El krigeaje consiste en encontrar la mejor estimación lineal posible de una variable, teniendo en cuenta la información disponible, mediciones que han sido obtenidas tanto en el interior como externamente al panel que se desea estimar. El krigeaje consiste en efectuar una ponderación, es decir, atribuir un peso a cada valor observado, los pesos son calculados de manera que minimice la varianza de estimación resultante, teniendo en cuenta las características geométricas del problema (Matheron, 1970). Al minimizar la varianza de estimación se garantiza el uso óptimo de la información disponible (Zhang, 1996).

3.2.7.1. Ecuaciones del krigeaje

Se dispone de los valores muestreados Z (x_i), i = 1,..., n, y deseamos estimar un valor de la característica observada en el panel Z (v) por una combinación lineal de Z (x_i).

$$Z^*(v) = \sum \lambda i \, Z(x_i)$$

Donde $Z^*(v)$ es el valor estimado y λi son los peso de krigeaje, de modo que los λi sean obtenidos de tal forma que proporcione un estimador: insesgado $E[Z^*(v) - Z(v)] = 0$ y de varianza mínima $Var[Z^*(v) - Z(v)]$

La geoestadística exige como primera etapa y fundamental el conocimiento del comportamiento estructural de la información, es decir, se debe contar además, con el modelo de semivariograma teórico que refleje fielmente las características de variabilidad y correlación espacial de la información disponible.

Teniendo en cuenta las hipótesis de la geoestadística se pueden obtener las ecuaciones del krigeaje para los siguientes casos: función aleatoria estacionaria de esperanza nula o conocida, método conocido como Krigeaje Simple, para una función aleatoria estacionaria de esperanza desconocida, y una función aleatoria intrínseca, método conocido para los dos últimos casos como Krigeaje Ordinario. A continuación se presenta el sistema krigeaje para estos casos:

3.2.7.1.1. Krigeaje Simple

Estimador: $Z^*(v) = \sum \lambda i \, Z(xi) + m(1 - \sum \lambda i)$.

Sistema: $\sum \lambda i \, C(xi, xj) = C(xj, v) \qquad j = 1, \ldots, n$

Varianza de krigeaje: $\sigma^2 = C(v,v) - \sum \lambda i \, C(xi, v)$

3.2.7.1.2. Krigeaje Ordinario

En términos de la covarianza

Estimador: $Z^*(v) = \sum \lambda i \, Z(xi)$

Sistema: $\sum \lambda i \, C(xi, xj) - \mu = C(xj, v) \qquad i,j = 1,\ldots,n$

$\sum \lambda i = 1$

Varianza de krigeaje: $\sigma^2 = C(v,v) - \sum \lambda i \, C(xi, v) + \mu$

En términos del semivariograma

Estimador: $Z^*(v) = \sum \lambda i \, Z(xi)$

Sistema: $\sum \lambda i \, \gamma(xi, xj) + \mu = \gamma(xj, v) \qquad j = 1,\ldots, n$

$\sum \lambda i = 1$

Varianza de krigeaje: $\sigma^2 = \sum \lambda i \, (xi, v) - \gamma(v,v) + \mu$

En todos los casos el sistema puede ser escrito matricialmente de la forma:

$$K \lambda = C$$

Al sistema krigeaje es necesario hacer algunas observaciones según Journel y Huijbregts (1978):

1.- El sistema krigeaje tiene solución única si y solo sí la matriz de K es definida estrictamente positiva, es decir:

$$\sum_{i=1,\,n}\sum_{j=1,\,n} \lambda_i\lambda_j\, C\,(x_i,\, x_j) \geq 0$$

o en términos de variograma:

$$-\sum_{i=1,\,n}\sum_{j=1,n} \lambda_i\lambda_j\, \gamma(x_i,\, x_j) \geq 0$$

y no existen datos con las mismas coordenadas.

2.- El krigeaje, el cual es un estimador imparcial, es también un interpolador exacto, es decir, para iguales soportes de observación v_α (α=1,..., n) y de estimación V, Los valores real Z_α y estimado Z* son iguales, además de que la varianza de krigeaje σ^2_k es cero.

3.- Las expresiones del sistema krigeaje y de la varianza de krigeaje son completamente generales, es decir, son aplicables cualquiera sean los soportes de observación y estimación y el modelo estructural empleado.

4.- El sistema krigeaje y la varianza de krigeaje dependen sólo: del modelo estructural C (h) o γ(h) obtenido y de la geometría del soporte de

observación. Esta característica da la posibilidad de que la varianza de krigeaje sea usada cuidadosa y convenientemente para el estudio de redes y la clasificación de recursos.

En el proceso de krigeaje, la matriz que se obtiene tiene dimensiones de hasta (N+1) x (N+1), cuando existen muchos datos en el área de influencia definido por los alcances esta matriz es grande, lo que implica tiempo para la solución del sistema, sin embargo (Myers, 1991c), excepto para las localizaciones vecinas de la localización a estimar, los pesos son ceros o próximos a cero, conocido como el efecto pantalla del krigeaje. En la práctica, se establece una vecindad de búsqueda para evitar el trabajo con grandes sistemas, el cual es recomendado en la totalidad de la literatura básica de geoestadística. Todos los sistemas que implementan la estimación por krigeaje, permiten la definición de una vecindad de búsqueda, la cual debe ser obtenida con reducciones proporcionales en cada unos de los alcances, o la estimación por cuadrantes u octantes, limitando el número de muestras a usar en el proceso de krigeaje. De modo que los pesos asignados a las muestras más lejanas a la localización a estimar y dentro de la vecindad de búsqueda no sean negativos, nulos o próximos a cero. En ocasiones por esta razón se realizan compensaciones por el sistema de krigeaje que pueden arrojar pesos negativos y por consiguiente valores negativos en la estimación.

3.2.7.1.3. El caso no estacionario, Krigeaje Universal (KU)

Uno de los problemas encontrados al modelar semivariogramas según Krajewski y Gibbs (1993) y ASCE Task (1990) es la existencia de tendencia en los datos, es decir, que los valores medidos aumentan o diminuyen en alguna dirección en el área de estudio. Este es el caso de un fenómeno no estacionario, lo que hace imposible la aplicación del krigeaje presentado hasta aquí. Con el objetivo de solucionar este problema Matheron propuso dos aproximaciones, primero el Krigeaje Universal (KU) (Matheron, 1970), que consiste en extraer de la variable original Z(x) la parte no estacionaria por medio de una componente determinística m(x) que representa la deriva, hasta encontrar la parte estacionaria del fenómeno, obteniéndose un componente estocástico R(x) relacionados por la siguiente expresión:

$$Z(x) = m(x) + R(x).$$

Para el componente determinístico se sugiere utilizar una función polinomial de las coordenadas para modelar la tendencia, es decir:

$$m(x) = \sum_{l=0}^{K} a_l f^l(x)$$

Donde a_l son coeficientes y f^l es la función que describe la tendencia. Así pueden obtenerse derivas simples, lineales, cuadráticas, etc., (Jones y Vecchia, 1993; Maisonneuve, 1998). Para una deriva simple el KU se reduce al Krigeaje Ordinario (Christensen, 1993; Renard, 1998).

Obteniéndose finalmente el sistema Krigeaje Universal.

$$\sum_{\beta=1}^{N} \lambda_\beta \gamma(x_\alpha, x_\beta) + \sum_{l=0}^{K} a_l f^l(x_\beta) = \gamma(x_\alpha, x_o)$$

$$\sum_{\alpha=1}^{N} \lambda_\alpha f^l(x_\alpha) = f^l(x_o)$$

Con varianza de estimación.

$$\sigma^2_{KU} = \sum_{\alpha=1}^{N} \lambda_\alpha \gamma(x_\alpha, x_\beta) + \sum_{l=0}^{K} a_l f^l(x_o)$$

Una variante de krigeaje que tiene en cuenta esta situación, fue desarrollada por Goldberger, A, S. en 1962 y descrita por Matheron en 1969, para tratamiento de datos débilmente estacionarios y con tendencia. La aplicación de KU puede resultar difícil por la indeterminación de la tendencia y del semivariograma (Carr, 1990; Armstrong y Carignan, 1997; Renard, 1998).

Una aproximación más general es el estudio del modelo de Funciones Aleatorias Intrínsecas de orden K, la cual consiste en construir incrementos de orden creciente hasta alcanzar un orden K para el cual dichos incrementos son estacionarios (Christensen, 1990)

3.3. Modelo digital del terreno (MDT)

Para el procesamiento de la información y generación del Modelo Digital del Terreno (MDT) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa se empleó los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Las ventajas de trabajar con un SIG, es la presentación de resultados de forma gráfica de tal forma que ayuden a la comprensión e interpretación de resultados. La mejor manera de obtener un mapa temático consiste en asignar valores interpolados y/o extrapolados en un área específica.

Las técnicas que se usarán para la creación de los mapas tipo raster del modelo digital del terreno son Técnicas Geoestadísticas con la ayuda de la extensión ArcGis Geostatistical Analyst del Software ArcGis®.

La extensión ArcGis Geostatistical Analyst permite la creación de mapas usando varias tipos de análisis del estimador kriging como son: ordinario, simple, universal, indicador, probability y disjunctive.

Tabla 3.1 Creación de superficies con ArcGis Geostatistical Analyst

Kriging and Cokriging	Prediction	Prediction Standard Errors	Quantile Maps	Probability Maps	Standard Errors of Indicators
Ordinary	X	X	X*	X*	
Universal	X	X	X*	X*	
Simple	X	X	X*	X*	
Indicator				X	X
Probability				X	X
Disjunctive	X‡	X‡		X‡	X‡

* Requiere asunción de distribución normal multivariada

‡ Requiere asunción de normalidad en parejas bivariadas

Fuente: Manual de usuario de ArcGis Geostatistical Analyst

De acuerdo a la Tabla 3.1, el kriging ordinario produce mapas de predicción, quantile, probability o standard error. El método tiene dos asunciones básicas, la primera que la constante media es desconocida y la segunda que los datos necesitan ser muestreados desde un fenómeno que es continúo en el espacio. Ambas asunciones se cumplen para los datos del presente trabajo, por tal motivo este método será el empleado para la generación de mapas y modelos digitales del terreno.

Los demás métodos producen otros tipos de mapas (Tabla 3.1) y además tienen otras asunciones básicas, que no se cumplen para el presente trabajo, por ejemplo:

- El simple kriging asume que la constante media es conocida
- El universal kriging asume tendencia en la media.
- El indicador kriging asume que la media constante es desconocida.

El método de kriging no es apropiado para superficies que tengan cambios abruptos (por ejemplo acantilados en topografía), es decir, no deberán existir valores que representen hoyos o picos con respecto al entorno. Pero para controlar estos valores extremos se podrá realizar una zonificación de estos datos y ser analizados como un subconjunto (subset).

3.3.1. Generalidades del modelo digital del terreno

El Modelo Digital del Terreno o (DEM) por sus siglas en inglés (Digital Elevation Model) es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno. Un terreno real puede describirse de forma genérica como una función continua de dos variables $z= \zeta (x, y)$, donde z representa la altitud del terreno en el punto de coordenadas (x,y) y ζ es una función que relaciona la variable con su localización geográfica. En un modelo digital del terreno se aplica la función anterior sobre un dominio espacial concreto, D. En consecuencia un MDT puede describirse genéricamente como $MDE = (D, \zeta)$

En la práctica, la función no es continua sino que se resuelve a intervalos discretos, por lo que el MDT está compuesto por un conjunto finito y explícito de elementos. Los valores de X e Y suelen corresponder con las abscisas y ordenadas de un sistemas de coordenadas plano, habitualmente un sistema de proyección cartográfica.

De forma general la unidad básica de información en un MDT, es un punto acotado definido como una terna, compuesta por un valor de altitud z, al que acompañan los valores correspondientes de X e Y. Las variantes aparecen cuando estos datos elementales se organizan en estructuras que representan las variaciones espaciales y topológicas.

Mientras que los mapas impresos usan casi exclusivamente una única conexión (curvas de nivel), para la representación de la superficie del terreno, en los MDT se han utilizado alternativas algo más variadas. Las estructuras de datos en los MDT se han dividido en dos grupos en función de la concepción básica de la representación de los datos: vectorial y raster. El modelo de datos vectorial esta basado en entidades u objetos geométricos definidos por las coordenadas de sus nodos y vértices.

El modelo de datos raster, esta basado en localizaciones espaciales a cada una de las cuales se les asigna el valor de la variable para la unidad

elemental de superficie. El modelo se asemeja más a una matriz, en donde las columnas están representadas por las posiciones Z, las filas por las posiciones Y, y el valor de las celdas por la elevación.

En el modelo vectorial los atributos del terreno se representan mediante puntos, líneas o polígono con sus respectivos atributos. Los puntos se definen mediante un par de valores de coordenadas con un atributo de altitud, las líneas mediante un vector de puntos (de altitud única o no) y los polígonos mediante una agrupación de líneas.

En el modelo raster los datos se interpretan como el valor medio de unidades elementales de superficie no nula que dividen el terreno con una distribución regular, sin solapamiento y con recubrimiento total del área representada, estas unidades se denominan celdas o píxeles.

Cada modelo de datos puede expresarse mediante diferentes estructuras de datos; dentro de dos modelos básicos:

a) Estructuras vectoriales basadas en contornos y la red irregular de triángulos (TIN, triangulated irregular network)
b) Estructuras raster: las matrices regulares (URG, uniform regular grids) y las matrices jerárquicas (quadtrees)

La captación de datos fuentes para la generación de un MDT involucra métodos directos e indirectos, los directos toman la información sobre la superficie real del terreno y los indirectos se basan en un conjunto de documentos analógicos o digitales.

Métodos Directos

a. Altimetría: Altímetros transportados por plataformas aéreas

b. GPS: Sistema de localización mediante satélites

c. Topografía: Mediante estaciones topográficas con salida digital

Métodos Indirectos

a. Restitución:

- Digital: imágenes digitales captadas por satélites con diferentes ángulos de visión
- Analógico: pares fotográficos convencionales (pancromático, color, infrarrojo)

b. Digitalización

- Manual: mediante mesas digitalizadoras
- Automática: mediante scanners

3.3.2. Generación del modelo digital del terreno

El método empleado para generar MDT de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa es el de estimación de datos del vector altura a partir de mapas topográficos. Por medio de este método el MDT es estimado a partir del contorno, la altura del punto y los datos geomorfológicos capturados por medio de mapas topográficos. A continuación se detalla la metodología general a seguir:

1. Digitalizar los mapas de papel con una resolución de 400 dpi[3] por medio de un escáner en colores de formato grande.
2. El producto crudo no georeferenciado se rectifica usando marcas tic e intersecciones de cuadrícula de coordenadas como puntos de control dentro del espacio coordenado. Esto da como resultado un mapa de barrido georeferenciado que retiene la exactitud planimétrica del mapa original. El proyecto Area de Interés (AOI) normalmente recae sobre más de un mapa, en cuyo caso los diversos mapas georeferenciados se colocan como mosaicos en una sola imagen.
3. Vectorización de las curvas de nivel y la altura de los puntos, atribuyéndoles valores de elevación correctos. También se ingresan datos de otros elementos tales como la hidrología (líneas fluviales, líneas

[3] DPI es la abreviatura de Dots per Inch, es decir puntos por pulgada. Sirve para medir la resolución de impresión o de digitalización de un scanner.

costeras, lagos y represas) y las líneas rompientes (cerros por ejemplo). Un aspecto importante de la calidad del MDT es que no aparezcan entidades lineales de borde entre las hojas del mapa. Los datos de vector capturados son cuidadosamente reajustados en los bordes de cada hoja. El resultado es un producto MDT sin junturas. La cantidad de datos capturados van mucho más allá de los requerimientos, asegurando así la exactitud del MDT en los bordes del producto.

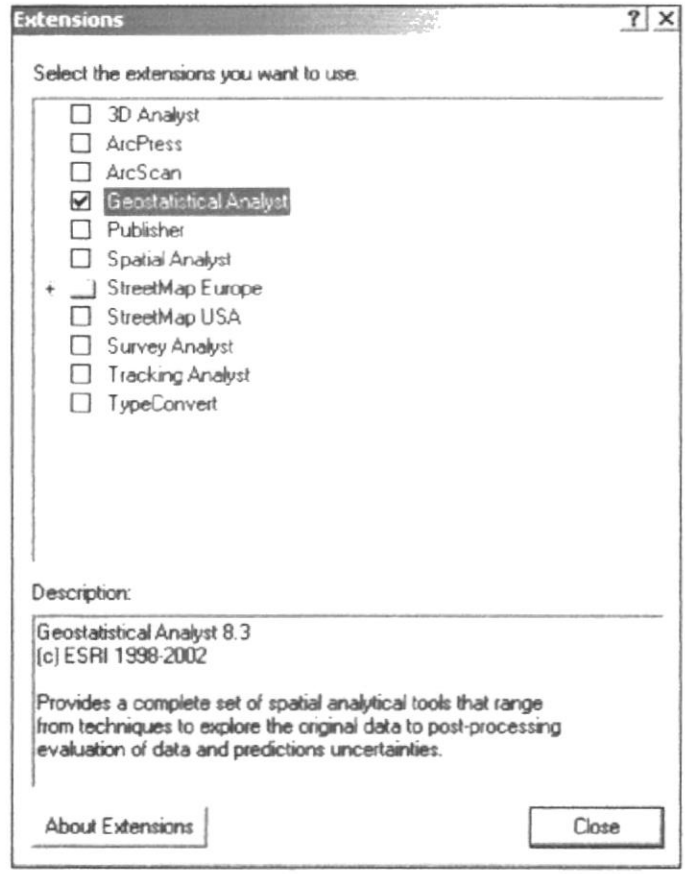
4. Después de haber capturado y atribuido los datos de vector, se debe verificar cuidadosamente la atribución de altura utilizando las herramientas de consultas de los SIG. La información de vector sólo queda lista para ser ingresada en el proceso de cuadriculado después de haber sido cuidadosamente revisada.
5. Los datos de vector (contornos de alturas, cotas topográficas) se transforman puntos, para finalmente ingresar esta información en el ArcGis Geostatistical Analyst y generar el MDT. El proceso con el ArcGis Geostatistical Analyst se explicará posteriormente.
6. El MDT resultante se inspecciona visualmente por medio de la creación de imágenes altamente sensitivas de relieves sombreados en color, creadas desde ángulos múltiples, que sirven para mostrar las anormalidades. El MDT también se verifica en ubicaciones de puntos de control para asegurar que la exactitud del MDT coincide o excede las especificaciones Root Mean Square Error (RMSE). Se señalan las áreas

con problemas, se corrige la información de vector original y el cuadriculado del MDT se vuelve a pasar y verificar. Este proceso iterativo continúa hasta que el MDT cumple especificaciones del RMSE.

El proceso para generar el Modelo Digital del Terreno con el ArcGis Geostatistical Analyst se detalla a continuación:

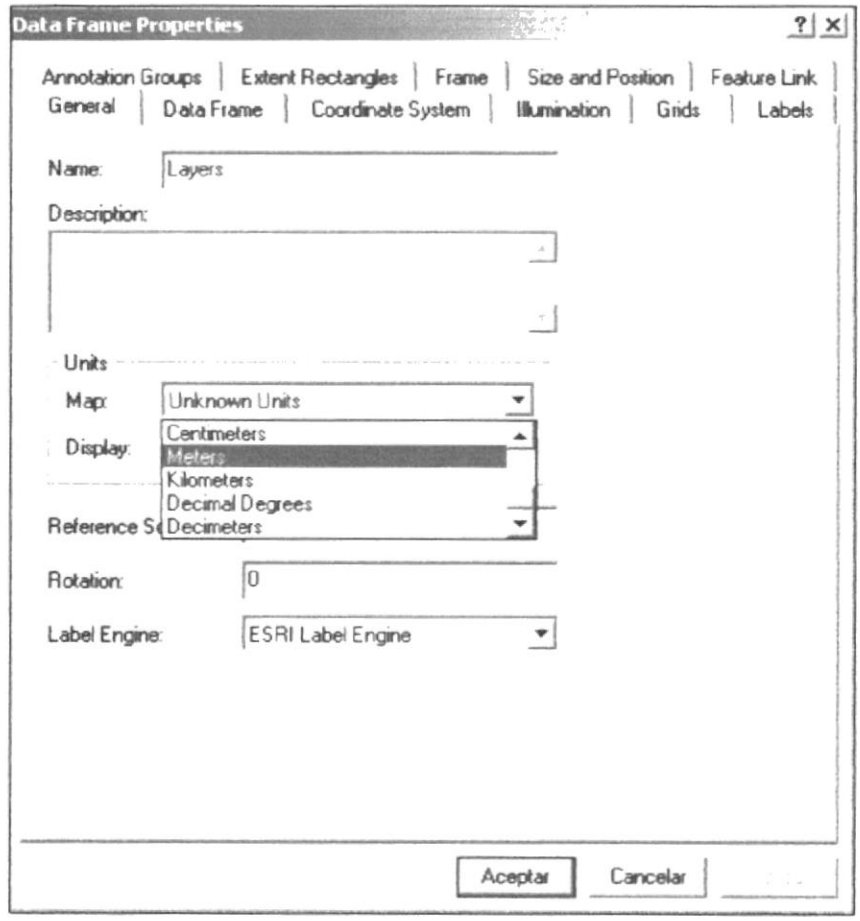
1. Activar la extensión ArcGis Geostatistical Analyst que aparece en el submenú extensions del menú tools, Figura 3.8
2. Cargar la extensión ArcGis Geostatistical Analyst al presionar click derecho sobre barra de herramientas del menú y seleccionar Geostatistical Analyst.
3. Cargar el archivo de puntos en la vista del ArcGis®, el cual servirá como base para la generación del Modelo Digital del Terreno (MDT)

Figura 3.8. Ventana de extensiones del software ArcGis®



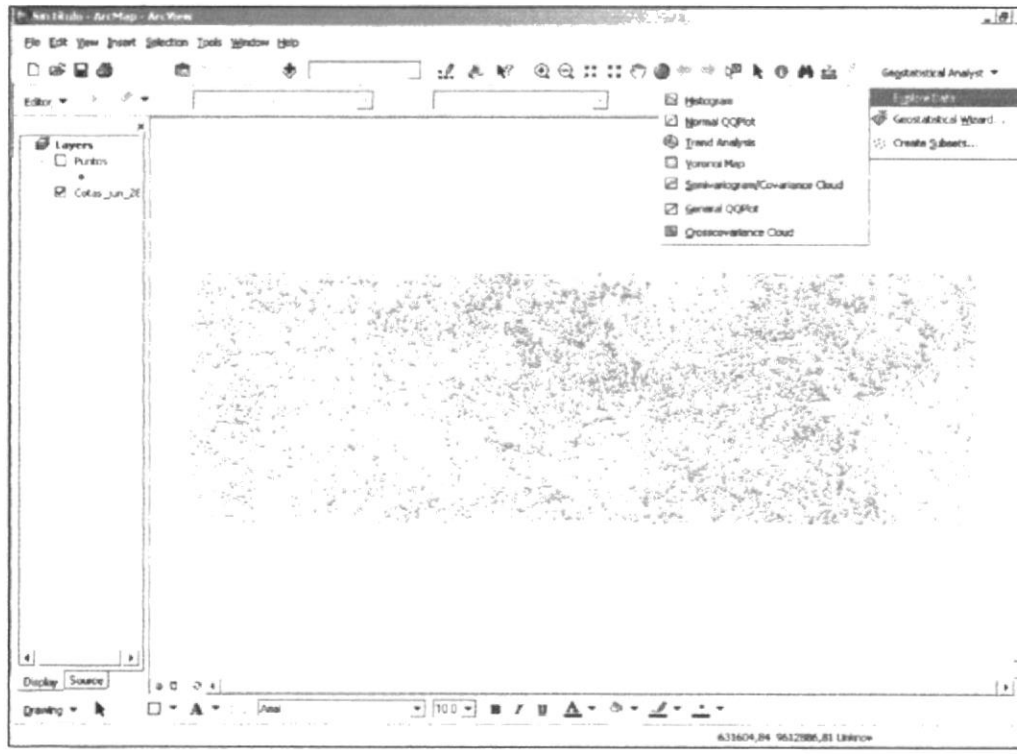
4. Configurar las propiedades del Data Frame, aquí se especificará las unidades del mapa y de presentación, para este trabajo todas las unidades serán en metros. Esto se realiza dando un click derecho en Layer, en la sección General, Units (Unidades). Figura 3.9

Figura 3.9. Ventana de Data Frame Properties del software ArcGis®



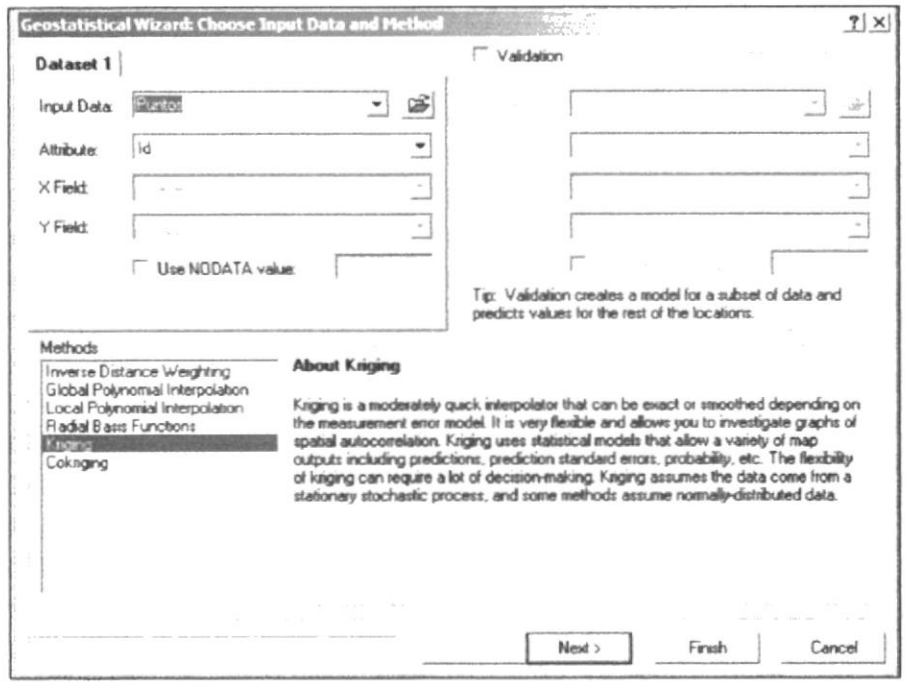
5. Se puede revisar y analizar la información ingresada con las herramientas del Explore Data (Histogram, Normal QQPlot, etc.), al seleccionar la opción Geostatistical Analyst, a continuación aparecerá el submenú que se presenta en la Figura 3.10.

Figura 3.10. Localización del submenú Explore Data en la barra de herramientas de Geostatistical Analyst del software ArcGis®



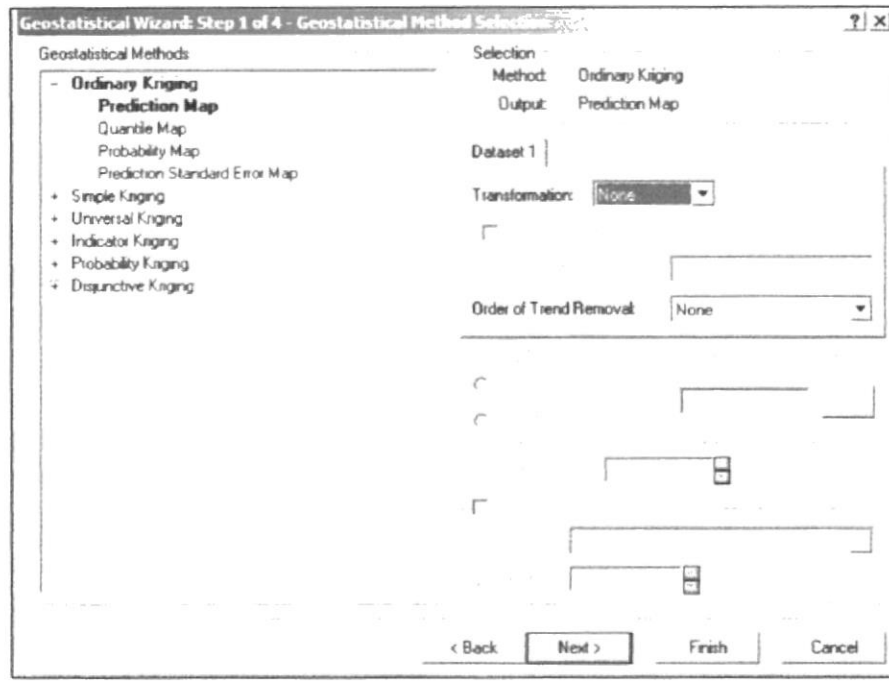
6. Se selecciona la opción Geostatistical Wizard en el menú Geostatistical Analyst que aparece en la Figura 3.10, a continuación se presentará la ventana de selección de datos de entrada y el método (Chose Imput Data and Method) para realizar la estimación, Figura 3.11. Se selecciona los datos de entrada y el método, para luego presionar siguiente (Next). Para el presente trabajo se seleccionó los puntos de las cotas como entrada y Kriging como método.

Figura 3.11. Selección de Datos de Entrada y Método (Geostatistical Wizard: Chose Imput Data and Method) en el Geostatistical Analyst del software ArcGis®



7. Se selecciona el Método de Kriging en la ventana Geostatistical Method Selection y el tipo de mapa (Prediction, Quantile, Probability, Prediction Standard Error) que se desea realizar, Figura 3.12, para luego presionar siguiente (Next). También se puede seleccionar algún o ningún tipo de transformación para los datos (None, Box-Cox, Log), así como remover tendencias (Order of Trend Removal) si se desea (None, const, first, second, third). Para el presente trabajo se seleccionó Mapa de Predicción (Map Prediction) y no se realizó ninguna transformación ni se removió tendencias, pues para esta información no es necesario.

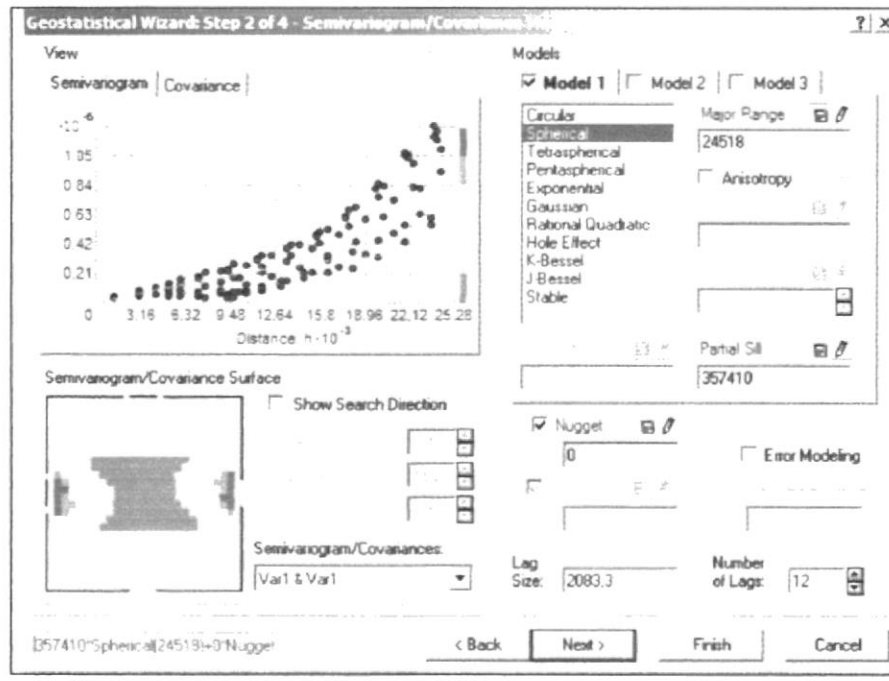
Figura 3.12 Selección de Método Geoestadístico. (Geostatistical Wizard: Step 1 of 5 - Geostatistical Method Selection)



8. Se selecciona el modelo y los parámetros del semivariograma (Semivariogram/Covariance Modeling) que se usará para la estimación del método de kriging, para luego presionar siguiente (Next). ArcGis Geostatistcal Analyst presenta varios modelos de semivariograma como: Circular, Spherical, Tetraspherical, Pentaspherical, Exponential, Gaussian, Rational Quadratic, Hole Effect, K-Bessel, J-Bessel, Stable (Para mayores detalles revisar el manual de usuario de ArcGis Geostatistical Analyst). Además permite combinar hasta tres modelos con distintos parámetros, y análisis de anisotropia, esto se presenta en la Figura 3.13. Para el presente trabajo se realizaron pruebas y análisis con

los distintos modelos y parámetros, que se presentan posterior a este proceso de Generación del Modelo Digital del Terreno, así como de las condiciones y parámetros que se deben controlar con el ArcGis Geostatistical Analyst para generar un buen Modelo Digital del Terreno.

Figura 3.13 Selección de Modelo del Semivariograma y Parámetros (Geostatistical Wizard: Step 2 of 4 - Semivariogram/Covariance Modeling)

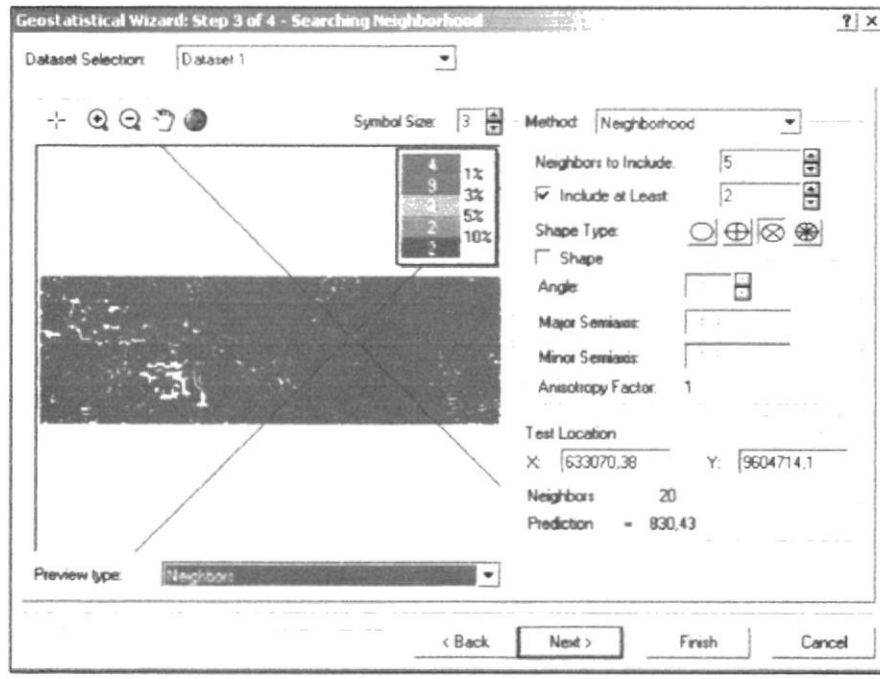


9. Se selecciona los parámetros de los vecinos más cercanos (Searching Neighborhood) que se usarán en el kriging, estos parámetros son: tipo de la figura (shape type), número mínimo de puntos, ángulo, etc.; para luego presionar siguiente (Next). Se puede interactuar con diferentes parámetros que pueden ser observados en un mapa al lado izquierdo de

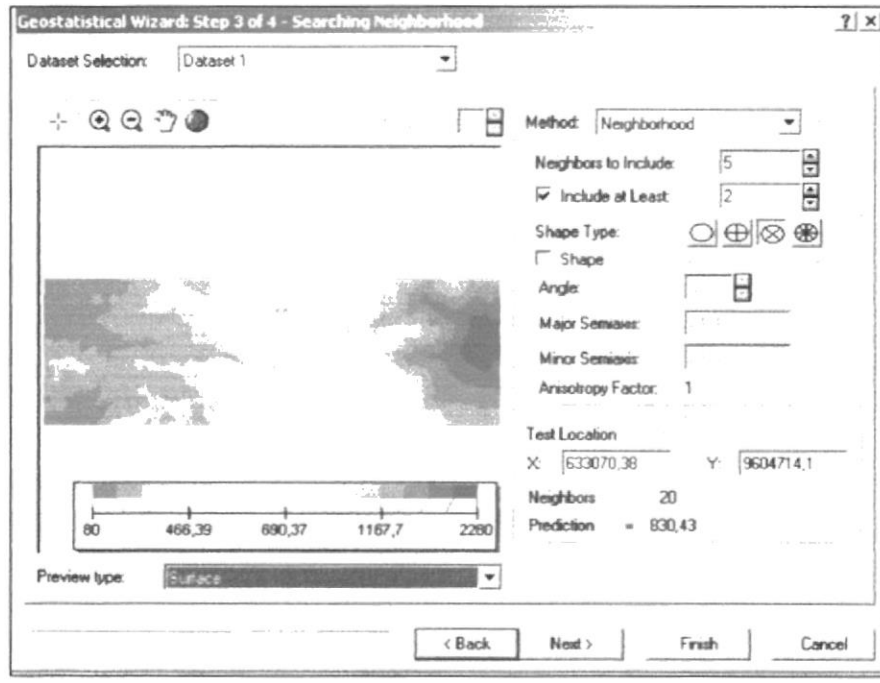
la ventana tal como se presenta en la ventana Figura 3.14. Los tipos de vista del mapa pueden ser en forma de puntos (Neighbors) o en forma de superficie (Surface), Figura 3.14 (a) y (b)

Figura 3.14 Selección de los parámetros del vecino más cercano (Geostatistical Wizard: Step 3 of 4 - Searching Neighborhood). Tipos de vista: (a) Neighbors, (b) Surface.

a)



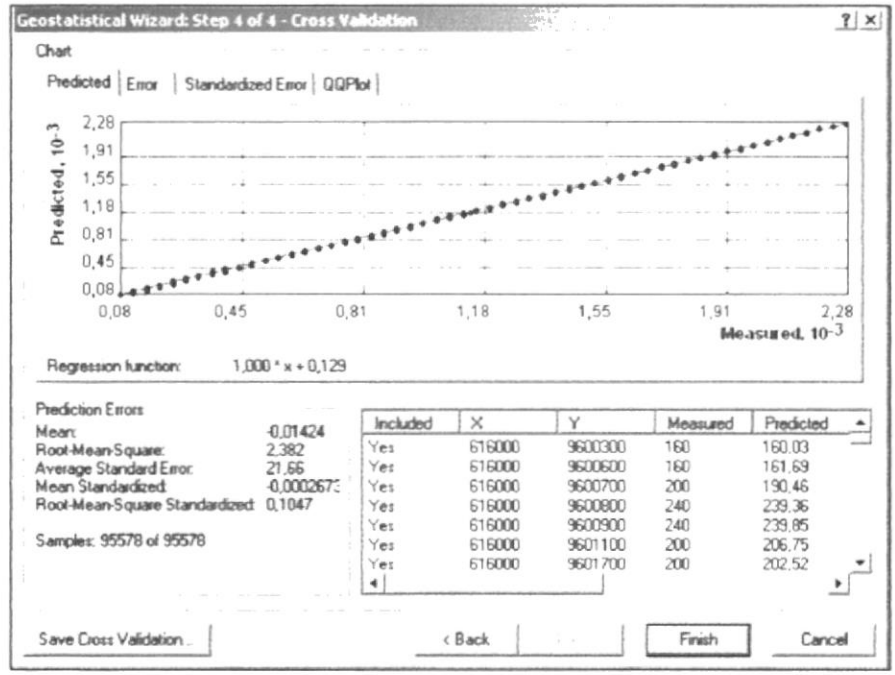
b)



10. A continuación se presentan los resultados del método mediante un gráfico donde se realiza una comparación de valores entre los datos reales y los predichos en una determinada ubicación para todos los datos, a esto se denomina validación cruzada (Cross Validation), como se presenta en la Figura 3.15, para luego presionar siguiente (Next). Además del gráfico, se presenta el error en la predicción con valores generales (Izquierda) y de cada dato (Tabla) de: media (Mean), raíz media cuadrada (Root-Mean-Square), error de desviación estándar (Average Standard Error), media estándar (Mean Standardized) y raíz media cuadrada estándar (Root-Mean-Square Standardized). Los resultados presentados (Tabla) pueden ser almacenados, seleccionando

la opción Save Cross Validation, pero el tamaño del archivo puede ser de gran tamaño, dependiendo de la cantidad de información ingresada. Para el presente trabajo sólo se almacenó los valores generales para cada predicción con diferentes modelos y parámetros (102 variantes, empleando 11 modelos) y no las tablas completas de información, debido a su gran tamaño (Aprox. 15 MB por tabla, debido a la transformación de líneas a puntos de las curvas de nivel, que dio 100 mil pares de puntos aproximadamente)

Figura 3.15 Comparación entre valores reales y predichos, Validación Cruzada (Geostatistical Wizard: Step 4 of 4 - Cross Validation)



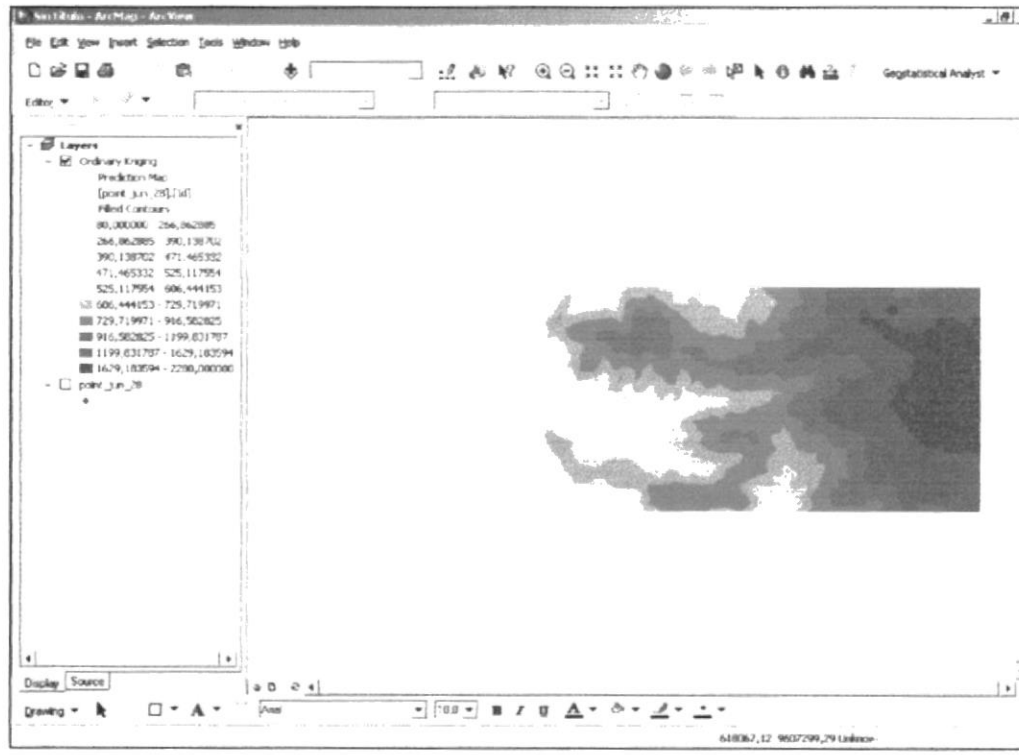
11. Finalmente se presentará un reporte con los resultados de la estimación con el método, modelo y parámetros seleccionados, como presenta en la Figura 3.16 y posteriormente aparecerá el mapa final de estimación de superficie, Figura 3.17

Figura 3.16 Reporte final de estimación (Output Layer Information)



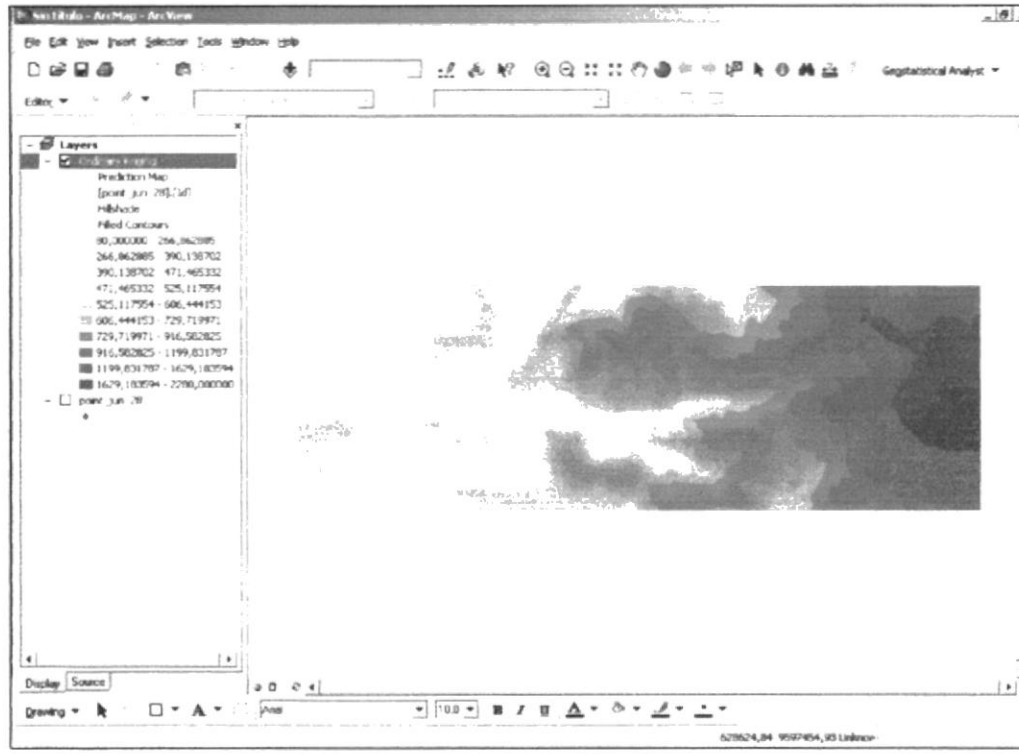
Otra manera de presentar el mapa resultado es la utilización de la opción relieve (Hillshade) al modelo digital del terreno generado, esto se realiza seleccionando la opción HillShade en el menú de Symbology de las propiedades del modelo, dando resultado un mapa una vista del relieve del modelo, como se presenta en la Figura 3.18

Figura 3.17 Mapa final de estimación de superficie (Modelo Digital del Terreno, MDT)



El proceso presentado es la secuencia modelo de un proceso iterativo que se debe seguir para la generación de un Modelo Digital del Terreno (MDT) y de cualquier fenómeno que quiera ser representado en la superficie terrestre con el ArcGis Geostatistical Analyst, variando los modelos del semivariograma y los parámetros de los mismos, hasta que el modelo se ajuste lo más cercano a los valores reales. Las herramientas del ArcGis Geostatistical permiten analizar los resultados y determinar si el modelo generado es el correcto, con la ayuda de la Validación Cruzada (Cross Validation)

Figura 3.18 Modelo Digital del Terreno (MDT) aplicando la opción HillShade



El objetivo de la *Cross Validation* es ayudar en la toma de decisiones basado sobre cual modelo proporciona la predicción más exacta. Para que un modelo proporcione exactitud en la predicción, el *mean error* debe estar cerca de 0, el *root-mean-square* y el *average standard error* deben ser tan pequeños como sea posible (esto es útil al comparar modelos), y el *root-meansquare standardized error* debe estar cerca de 1.

El error de la predicción se calcula a partir de la diferencia entre la predicción y el valor medido real. Para un modelo que proporcione predicciones exactas, el *mean prediction error* debe estar cerca de 0 si las predicciones

son unbiased, el *root-mean-square standardized prediction error* debe ser cerca de 1 si los *standard errors* son exactos, y el *root-mean-square prediction error* debe ser pequeño si las predicciones están cerca de los valores medidos. La ventana de crossvalidation permite presentar los scatterplots que muestran el error, el *standardized error*, y QQPlot para cada punto de referencias.

A continuación se presenta un resumen estadístico con tres ideas básicas sobre el diagnostico de los errores producidos con el kriging:

1. Si se quiere que las predicciones sean unbiased (centrado en los valores medios): si los errores de la predicción son unbiased, el *mean prediction error* debe estar cerca de cero. Sin embargo, este valor depende de la escala de los datos, así que para estandardizar los *standardized prediction errors* dados de la predicción de errores se los divide para la *prediction standard errors*. La media de estos valores debería también estar cerca de cero.
2. Si se quiere que las predicciones estuvieran cerca de los valores medidos tanto como sea posible: el *root-mean-square prediction errors* se calcula como la raíz cuadrada de los cuadrados de las distancias de las líneas verdes en el gráfico de predicción. Cuanto más cortas son las líneas verdes, mas cercanas están las predicciones a sus valores

verdaderos, y más pequeños son *root-mean-square prediction errors*. En resumen, se puede comparar diferentes modelos considerando la cercanía de los valores predichos a los valores medidos. Cuanto más pequeño es el root-meansquare prediction error, es mejor.

3. Si se quiere conocer la variabilidad de la incertidumbre, los *prediction standard errors*, deben ser validados. Cada uno de los métodos kriging estima la *prediction kriging standard errors*. Además de hacer predicciones, se estima la variabilidad de las predicciones desde los valores medidos. Es importante conseguir la variabilidad correcta. Por ejemplo, en el ordinario kriging (si se asume que las residuales se distribuyen normalmente) los mapas de quantile y probabilidad dependen *kriging standard errors* tanto como sus mismas predicciones. Si los *average standard errors* están cerca de los *root-mean-square prediction errors*, entonces se está determinando correctamente la variabilidad en la predicción.

Si los *average standard errors* son mayores que los *root-meansquare prediction errors*, entonces se está sobrestimando la variabilidad de las predicciones; si los average *standard errors* son menores que los *root-mean-square prediction errors*, entonces se está subestimando la variabilidad en las predicciones. Otra manera de observar esto es dividir cada *prediction error* para su *estimated prediction standard error*. Deben ser similares, en

promedio, y así los *root-mean-square standardized errors* deben estar cerca de uno si los *prediction standard errors* son válidos. Si los *root-mean-square standardized errors* son mayores de 1, se está subestimando la variabilidad en las predicciones; si los root-mean-square standardized errors son menores de 1, se está sobrestimando la variabilidad en las predicciones.

En el Anexo A, se presenta la Validación Cruzada (Cross Validation) de los modelos de semivariogramas obtenidos para la generación del Modelo Digital del Terreno bajo diferentes parámetros. En la Tabla 3.2 y 3.3. se presenta un resumen de los errores en la predicción con los valores de: media (Mean), raíz media cuadrada (Root-Mean-Square), error de desviación estándar (Average Standard Error), media estándar (Mean Standardized) y raíz media cuadrada estándar (Root-Mean-Square Standardized).

Tabla 3.2 Predicción de Errores sin Análisis de Anisotropía (Prediction Errors without Anisotropy)

LAG	MODEL	M	RMS	ASE	MS	RMSS
2000	388900*Circular(23537)+0*Nugget	-0,01425	2,382	21,24	-0,0002727	0,1068
	344920*Spherical(23537)+0*Nugget	-0,01425	2,382	21,71	-0,0002668	0,1044
	317490*Tetraspherical(23537)+0*Nugget	-0,01425	2,382	22,16	-0,0002614	0,1023
	298670*Pentaspherical(23537)+0*Nugget	-0,01425	2,382	22,59	-0,0002565	0,1004
	284100*Exponential(23537)+0*Nugget	-0,01431	2,382	27,87	-0,0002098	0,0814
	497520*Gaussian(23537)+19252*Nugget	0,1322	11,47	142,2	0,0009263	0,08066
	294110*Rational Quadratic(23537)+1142,6*Nugget	0,09314	10,77	34,68	0,002669	0,3105
	297020*Hole Effect(25891)+19500*Nugget	0,1319	11,46	136,7	0,0009617	0,08383
2083.3	404250*Circular(24518)+0*Nugget	-0,01425	2,382	21,22	-0,000273	0,1069
	357410*Spherical(24518)+0*Nugget	-0,01425	2,382	21,66	-0,0002675	0,1047
	328140*Tetraspherical(24518)+0*Nugget	-0,01425	2,382	22,08	-0,0002624	0,1027
	308010*Pentaspherical(24518)+0*Nugget	-0,01425	2,382	22,48	-0,0002578	0,1009
	290990*Exponential(24518)+0*Nugget	-0,0143	2,382	27,63	-0,0002115	0,08209
	524820*Gaussian(24518)+19888*Nugget	0,1322	11,47	144,5	0,0009117	0,07937
	301300*Rational Quadratic(24518)+1734,9*Nugget	0,1033	10,91	42,73	0,002405	0,2553
	282690*Hole Effect(24518)+18501*Nugget	0,132	11,47	139,4	0,0009438	0,08223
	456690*K-Bessel(23491,10)+19127*Nugget	0,1321	11,47	141,7	0,0009289	0,0809

	307310*J-Bessel(23488,1,8128)+17925*Nugget	0,1319	11,46	137,2	0,0009581	0,08352
	493730*Stable(23481,2)+19698*Nugget	0,1322	11,47	143,8	0,0009159	0,07975
2200	424720*Circular(25891)+0*Nugget	-0,01425	2,382	21,17	-0,0002737	0,1071
	373870*Spherical(25891)+0*Nugget	-0,01425	2,382	21,55	-0,0002688	0,1052
	341980*Tetraspherical(25891)+0*Nugget	-0,01425	2,382	21,93	-0,0002642	0,1034
	319970*Pentaspherical(25891)+0*Nugget	-0,01425	2,382	22,29	-0,0002599	0,1017
	299190*Exponential(25891)+0*Nugget	-0,0143	2,382	27,27	-0,0002142	0,08319
	563220*Gaussian(25891)+20769*Nugget	0,1323	11,48	147,7	0,0008926	0,07769
	309580*Rational Quadratic(25891)+2716,2*Nugget	0,113	11,06	53,45	0,002104	0,2068
	297020*Hole Effect(25891)+19500*Nugget	0,1321	11,47	143,1	0,00092	0,08013
2300	442240*Circular(27068)+0*Nugget	-0,01425	2,382	21,12	-0,0002743	0,1074
	388020*Spherical(27068)+0*Nugget	-0,01425	2,382	21,48	-0,0002698	0,1056
	353900*Tetraspherical(27068)+0*Nugget	-0,01425	2,382	21,82	-0,0002655	0,1039
	330290*Pentaspherical(27068)+0*Nugget	-0,01425	2,382	22,15	-0,0002615	0,1024
	306080*Exponential(27068)+0*Nugget	-0,0143	2,382	26,97	-0,0002165	0,0841
	597320*Gaussian(27068)+21502*Nugget	0,1323	11,48	150,3	0,0008775	0,07636
	316650*Rational Quadratic(27068)+3545,2*Nugget	0,118	11,14	61,05	0,001924	0,1824
	310180*Hole Effect(27068)+20321*Nugget	0,1322	11,47	146,1	0,0009017	0,07851
2400	434520*Circular(26563)+0*Nugget	-0,01425	2,382	21,14	-0,0002741	0,1073
	381780*Spherical(26563)+0*Nugget	-0,01425	2,382	21,5	-0,0002694	0,1055

	348630*Tetraspherical(26563)+0*Nugget	-0,01425	2,382	21,86	-0,000265	0,1037
	325730*Pentaspherical(26563)+0*Nugget	-0,01425	2,382	22,21	-0,0002609	0,1021
	303040*Exponential(26563)+0*Nugget	-0,0143	2,382	27,09	-0,0002155	0,08372
	576620*Gaussian(26563)+21938*Nugget	0,1323	11,48	151,8	0,0008688	0,0756
	317240*Rational Quadratic(26563)+1792,2*Nugget	0,1061	10,95	43,42	0,002431	0,02521
	302320*Hole Effect(26563)+20578*Nugget	0,1322	11,47	147	0,0008961	0,07802
2500	450980*Circular(27670)+0*Nugget	-0,01425	2,382	21,1	-0,0002746	0,1075
	395110*Spherical(27670)+0*Nugget	-0,01425	2,382	21,43	-0,0002703	0,1058
	359890*Tetraspherical(27670)+0*Nugget	-0,01425	2,382	21,76	-0,0002662	0,1042
	335480*Pentaspherical(27670)+0*Nugget	-0,01425	2,382	22,08	-0,0002624	0,1027
	309510*Exponential(27670)+0*Nugget	-0,0143	2,382	26,83	-0,0002176	0,08455
	608810*Gaussian(27670)+22634*Nugget	0,1324	11,48	154,2	0,0008556	0,07444
	324040*Rational Quadratic(27670)+2573,2*Nugget	0,1135	11,06	52,02	0,002173	0,2127
	314930*Hole Effect(27670)+21359*Nugget	0,1322	11,47	149,8	0,0008799	0,0766

Samples: 95578 de 95578

M = Mean; **RMS** = Root-Mean-Square; **ASE** = Average Standard Error; **MS** = Mean Standardized; **RMSS** = Root-Mean-Square Standardized

Tabla 3.3 Predicción de Errores con Análisis de Anisotropía (Prediction Errors with Anisotropy)

LAG	MODEL	M	RMS	ASE	MS	RMSS
2000	325930*Circular(23023,17631,332,9)+0*Nugget	-0,01401	2,487	21,12	-0,0002861	0,1114
	320410*Spherical(23537,20501,334,3)+0*Nugget	-0,01311	2,41	21,7	-0,0002231	0,1054
	310910*Tetraspherical(23537,22570,334,8)+0*Nugget	-0,0132	2,384	22,17	-0,0002146	0,1023
	298670*Pentaspherical(23537,23537,337,8)+0*Nugget	-0,01384	2,383	22,59	-0,0002272	0,1004
	284100*Exponential(23537,23537,335,1)+0*Nugget	-0,01298	2,383	27,87	-0,000161	0,08142
	357080*Gaussian(22753,16502,330,4)+18367*Nugget	0,1155	11,79	138,9	0,0008282	0,08486
	294110*Rational Quadratic(23537,23537,63,0)+1142,7*Nugget	0,08957	10,82	34,68	0,002568	0,3119
	269510*Hole Effect(23537,23170,319,5)+17739*Nugget	0,09941	11,6	136,5	0,000727	0,08497
2083.3	336150*Circular(23790,18308,333,9)+0*Nugget	-0,01385	2,483	21,07	-0,0002826	0,1115
	321330*Spherical(24141,20377,334,4)+0*Nugget	-0,01339	2,424	21,64	-0,0002406	0,1063
	313490*Tetraspherical(24518,22419,334,3)+0*Nugget	-0,01344	2,393	22,08	-0,0002274	0,103
	304500*Pentaspherical(24518,23945,334,1)+0*Nugget	-0,0133	2,383	22,48	-0,0002148	0,1009
	290990*Exponential(24518,24518,342,8)+0*Nugget	-0,01371	2,382	27,63	-0,0001825	0,08209
	374020*Gaussian(23756,17150,330,8)+18979*Nugget	0,1181	11,8	141,2	0,0008329	0,08354
	301300*Rational Quadratic(24518,24518,333,0)+1734,3*Nugget	0,097	10,96	42,72	0,00226	0,2566
	276970*Hole Effect(24518,23742,321,7)+18389*Nugget	0,1025	11,59	139	0,0007359	0,08342
	373060*K-Bessel(23497,18290,330,1,10)+18420*Nugget	0,1098	11,7	139,1	0,0007862	0,0841

	307270*J-Bessel(23486,23483,288,3,1,8138)+17923*Nugget	0,1037	11,44	137,2	0,0007531	0,08339
	375660*Stable(23481,17259,332,4,2)+18996*Nugget	0,1204	11,77	141,3	0,0008488	0,08329
2200	338560*Circular(25116,18259,334,2)+0*Nugget	-0,01379	2,535	20,92	-0,0002945	0,1144
	325870*Spherical(25448,20457,334,3)+0*Nugget	-0,01388	2,452	21,51	-0,0002706	0,108
	318440*Tetraspherical(25891,22601,334,6)+0*Nugget	-0,01317	2,409	21,93	-0,0002241	0,1043
	313630*Pentaspherical(25891,24865,334,9)+0*Nugget	-0,01319	2,385	22,3	-0,0002132	0,1017
	296940*Exponential(25891,25395,339,0)+0*Nugget	-0,01375	2,384	27,3	-0,0001889	0,0831
	373910*Gaussian(24943,17082,330,8)+19689*Nugget	0,1214	11,88	143,8	0,0008401	0,0826
	309580*Rational Quadratic(25891,25891,324,1)+2715,6*Nugget	0,09843	11,13	53,44	0,001834	0,2082
	278050*Hole Effect(25891,23517,323,2)+19164*Nugget	0,1095	11,61	141,9	0,0007698	0,08181
2300	338060*Circular(26171,17980,333,5)+0*Nugget	-0,01335	2,594	20,81	-0,0002895	0,1173
	336230*Spherical(26506,21314,334,9)+0*Nugget	-0,01375	2,453	21,41	-0,0002665	0,1086
	320650*Tetraspherical(27052,22538,334,7)+0*Nugget	-0,01313	2,433	21,8	-0,0002282	0,1058
	315460*Pentaspherical(27068,24726,334,9)+0*Nugget	-0,01333	2,395	22,16	-0,0002237	0,1027
	302620*Exponential(27068,26304,339,5)+0*Nugget	-0,01388	2,385	27,02	-0,0001928	0,08398
	393650*Gaussian(26053,17850,330,9)+20395*Nugget	0,1207	11,88	146,4	0,0008212	0,08117
	316650*Rational Quadratic(27068,27068,63,0)+3544,6*Nugget	0,107	11,21	61,05	0,001747	0,1835
	277310*Hole Effect(26672,23503,324,2)+19811*Nugget	0,1115	11,61	144,3	0,0007711	0,08049
2400	345410*Circular(25658,18737,334,5)+0*Nugget	-0,01378	2,53	20,88	-0,0002947	0,1144
	330870*Spherical(25844,20962,334,8)+0*Nugget	-0,014	2,446	21,45	-0,0002755	0,1081

	324100*Tetraspherical(26563,23140,335,1)+0*Nugget	-0,01326	2,41	21,85	-0,0002264	0,1047
	311610*Pentaspherical(26563,24327,334,6)+0*Nugget	-0,0136	2,393	22,22	-0,0002316	0,1024
	299980*Exponential(26563,25887,339,5)+0*Nugget	-0,01389	2,384	27,14	-0,0001936	0,08361
	383150*Gaussian(25553,17568,330,8)+20724*Nugget	0,1203	11,88	147,5	0,000812	0,0805
	317250*Rational Quadratic(26563,26563,323,3)+1791,5*Nugget	0,09314	11,02	43,41	0,002136	0,2539
	282030*Hole Effect(26563,24008,323,9)+20177*Nugget	0,1116	11,61	145,6	0,0007645	0,07971
2500	343760*Circular(26718,18384,334,4)+0*Nugget	-0,01386	2,594	20,76	-0,0003112	0,1176
	330900*Spherical(26910,20711,335,0)+0*Nugget	-0,01381	2,485	21,34	-0,0002768	0,1101
	325710*Tetraspherical(27670,23007,335,1)+0*Nugget	-0,0132	2,435	21,74	-0,0002328	0,1062
	313290*Pentaspherical(27670,24227,334,5)+0*Nugget	-0,0134	2,41	22,09	-0,00023	0,1036
	305490*Exponential(27670,26778,339,6)+0*Nugget	-0,01377	2,385	26,88	-0,000191	0,08443
	401790*Gaussian(26639,18277,330,8)+21390*Nugget	0,1182	11,86	149,9	0,0007853	0,07908
	324050*Rational Quadratic(27670,27670,60,7)+2572,7*Nugget	0,1078	11,13	52,02	0,002065	0,2139
	282250*Hole Effect(27424,23961,324,5)+20776*Nugget	0,1122	11,61	147,7	0,0007578	0,07857

Samples: 95578 de 95578

M = Mean; **RMS** = Root-Mean-Square; **ASE** = Average Standard Error; **MS** = Mean Standardized; **RMSS** = Root-Mean-Square Standardized

De todo los modelos generados con diferentes parámetros, el modelo exponencial con análisis de anisotropía, con un Lag = 2000 presenta el menor error en la media de predicción, Media = -0, 01298. El resumen del Modelo se presenta en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Resumen del modelo utilizado para generar el Modelo Digital del Terreno

Output: Prediction Map
Number of datasets currently in use: 1
Number of Points: 95578
Semivariogram/Covariance:
Model: 284100*Exponential (23537, 23537, 344, 1) +0*Nugget
Error modeling:
Microstructure: 0 (100%)
Measurement error: 0 (0%)
Searching Neighborhood:
Neighbors to Include: 5 or at least 2 for each angular sector
Searching Ellipse:
Angle: 344
Major Semiaxis: 23537
Minor Semiaxis: 23537
Angular Sectors: 4

Con esta información se generará el Modelo Digital del Terreno utilizado para el presente trabajo. El mapa generado debe ser exportado a formato raster con un tamaño de celda (Cell size) de 30 m x 30 m.

3.4. Red Hidrográfica

En el Figura 3.19 se presenta el sistema hidrográfico del río Santa Rosa, que nace en la cota 2200 con el nombre de Carne Amarga o Santa Rosa y al unirse con la Quebrada Sabayán en la cota 400 conforman el Santa Rosa. En su avance recibe los aportes de las Quebradas: El Guayabo, La Chilca, Fruta de Pan, de Las Minas, entre las principales.

3.5. Área de la cuenca

En la Figura 3.20 se puede observar el área de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa, calculada con el Software ArcGis. El área calculada es de 80177360,828 m^2 = 80,177360828 Km^2 ≈ 80,18 Km^2. Según la clasificación de cuencas hidrográficas por tamaño según Ven Te Chow (Tabla 2.1), la Cuenca Alta del Río Santa Rosa esta en el rango de área de 25 – 250 Km^2, rango para una cuenca pequeña.

Figura 3.19. Sistema Hidrográfico de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa

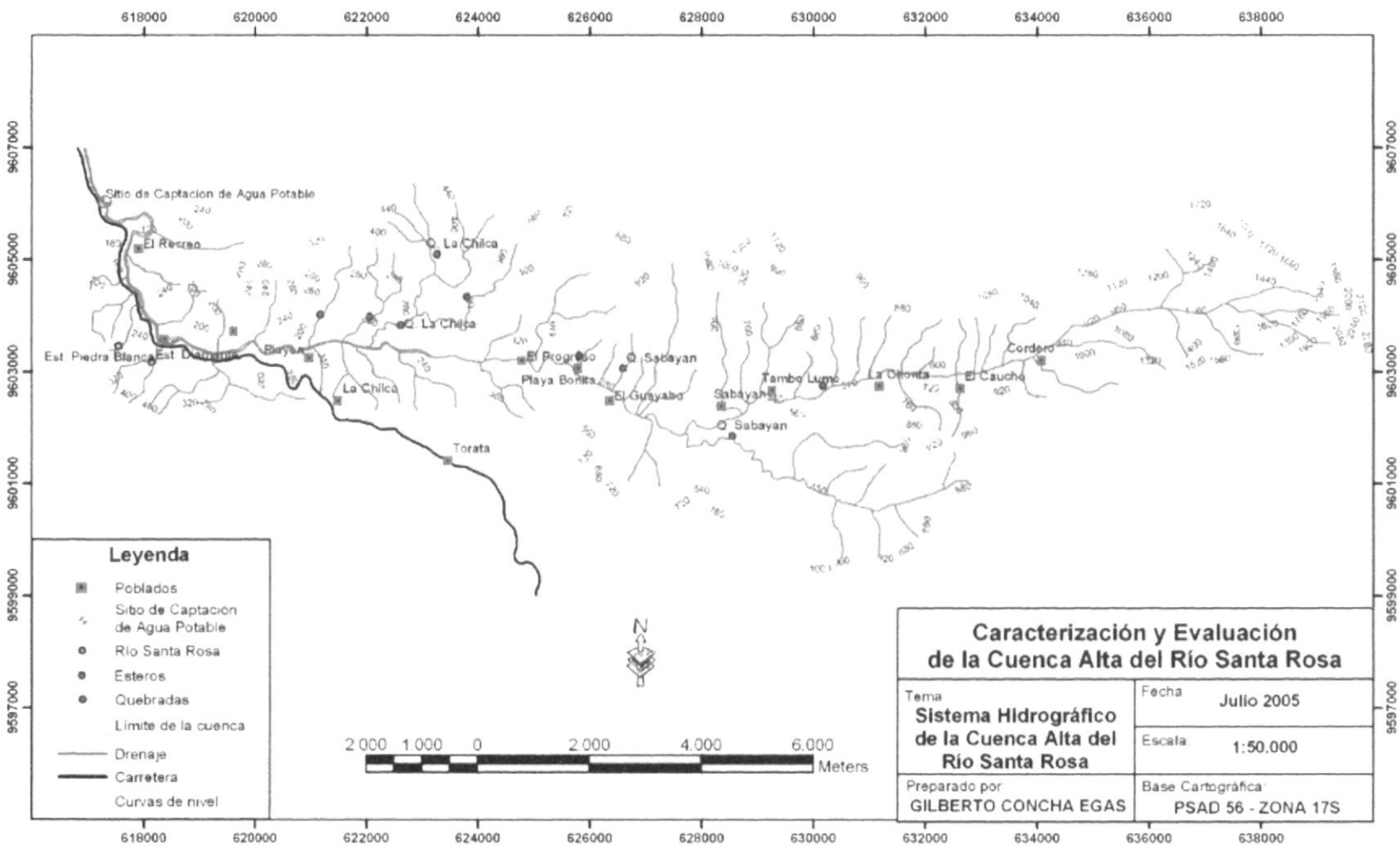
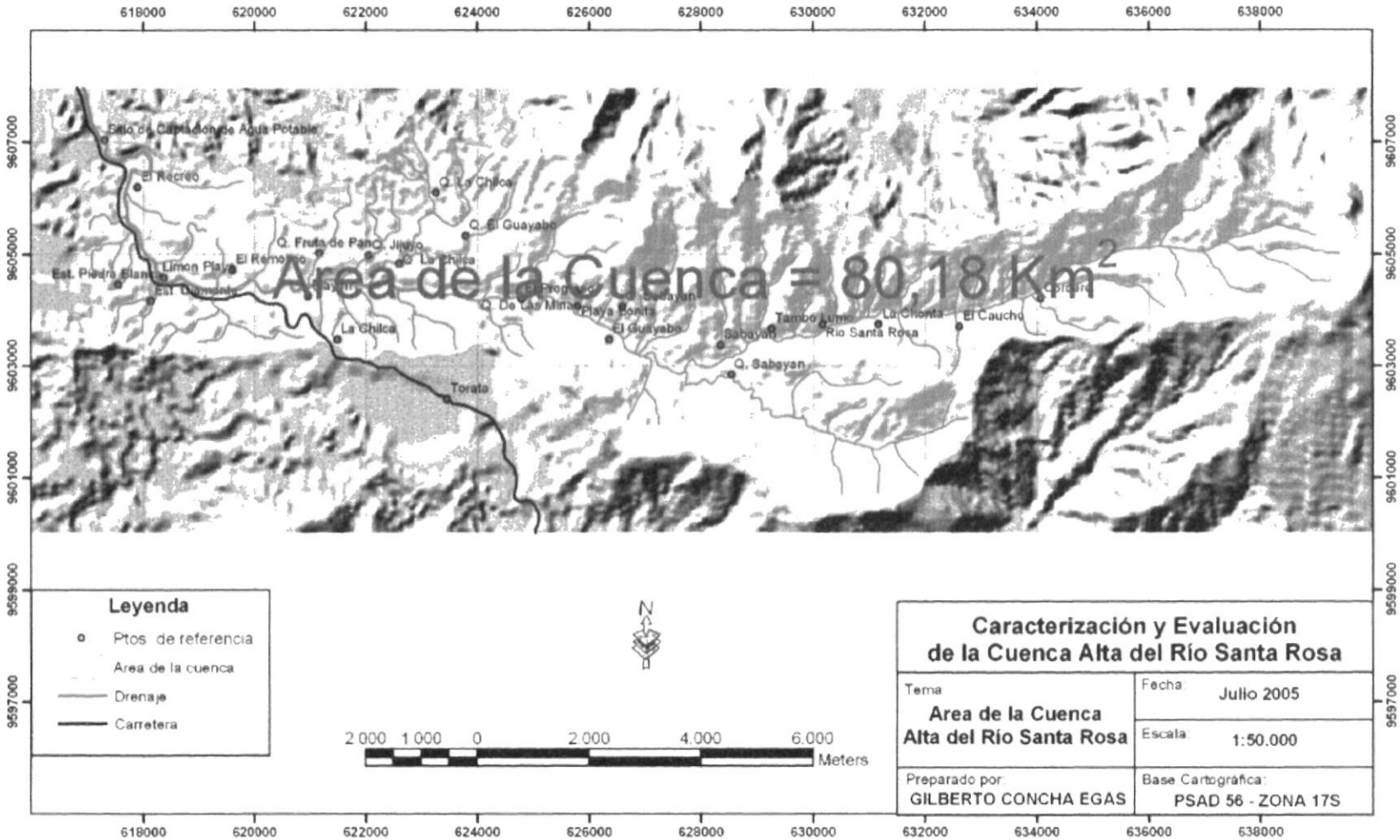


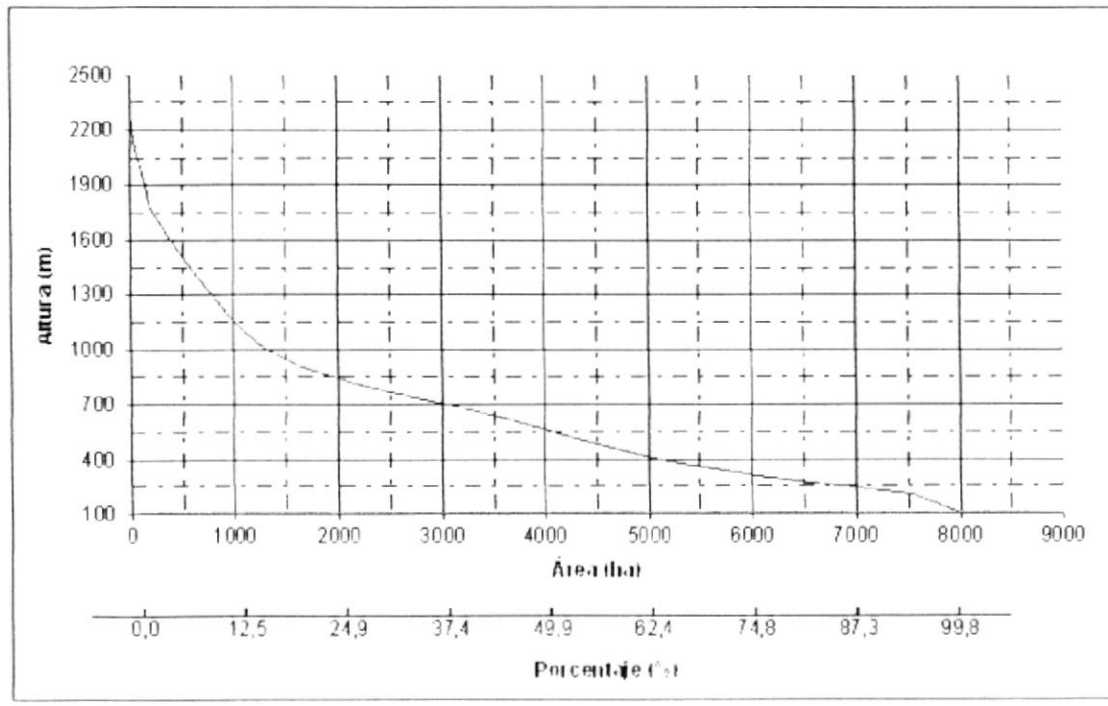
Figura 3.20. Area de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa



3.6. Curva hipsométrica de la cuenca

La elevación media de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa estimada a partir de la curva hipsométrica es de 550 m. aproximadamente, que equivale a la cota correspondiente al 50% del área de la cuenca, Figura 3.21

Figura 3.21 Curva Hipsométrica de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa



3.7. Pendiente de la cuenca

La pendiente media (S_c) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa es del 44,9%. Para calcularla se empleó el criterio de J.W. Alvord, que indica que la pendiente de la cuenca es igual a la longitud total de las curvas de nivel

dentro de ellas, multiplicadas por el desnivel constante entre éstas y dividida entre el tamaño de la cuenca. Tabla 3.5. Para el cálculo de longitudes de cada curva de nivel se empleó las herramientas Geoprocessing Wizard del Software ArcGis. Realizando una extracción de las curvas de nivel que están dentro de la cuenca (Clip one layer based on another) del mapa general de curvas de nivel de la zona, para luego calcular la longitud en metros de cada curva de nivel con la extensión de añadir campo de área/longitud (Add Area/Length Field).

Tabla 3.5 Pendiente Media (Sc) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa

Longitud de curvas del nivel (m)	$\sum L =$	900630,127
Desnivel constante entre curvas de nivel (m)	$D =$	40,000
Área de la cuenca (m^2)	$A =$	80177360,8
Pendiente Media	$S_c = \frac{D \times \sum L}{A} =$	0,44931892

Otro método para calcular la pendiente en una cuenca, es a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT), con la ayuda de la extensión Spatial Analyst del Software ArcGis. El resultado es un mapa que puede ser calculado en porcentajes de pendiente o en grados, el procedimiento se describe en el Anexo B.

La Figura 3.22 y 3.23 presenta el mapa de pendientes de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa en grados y en porcentajes respectivamente.

Figura 3.22 Mapa de Gradientes de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa

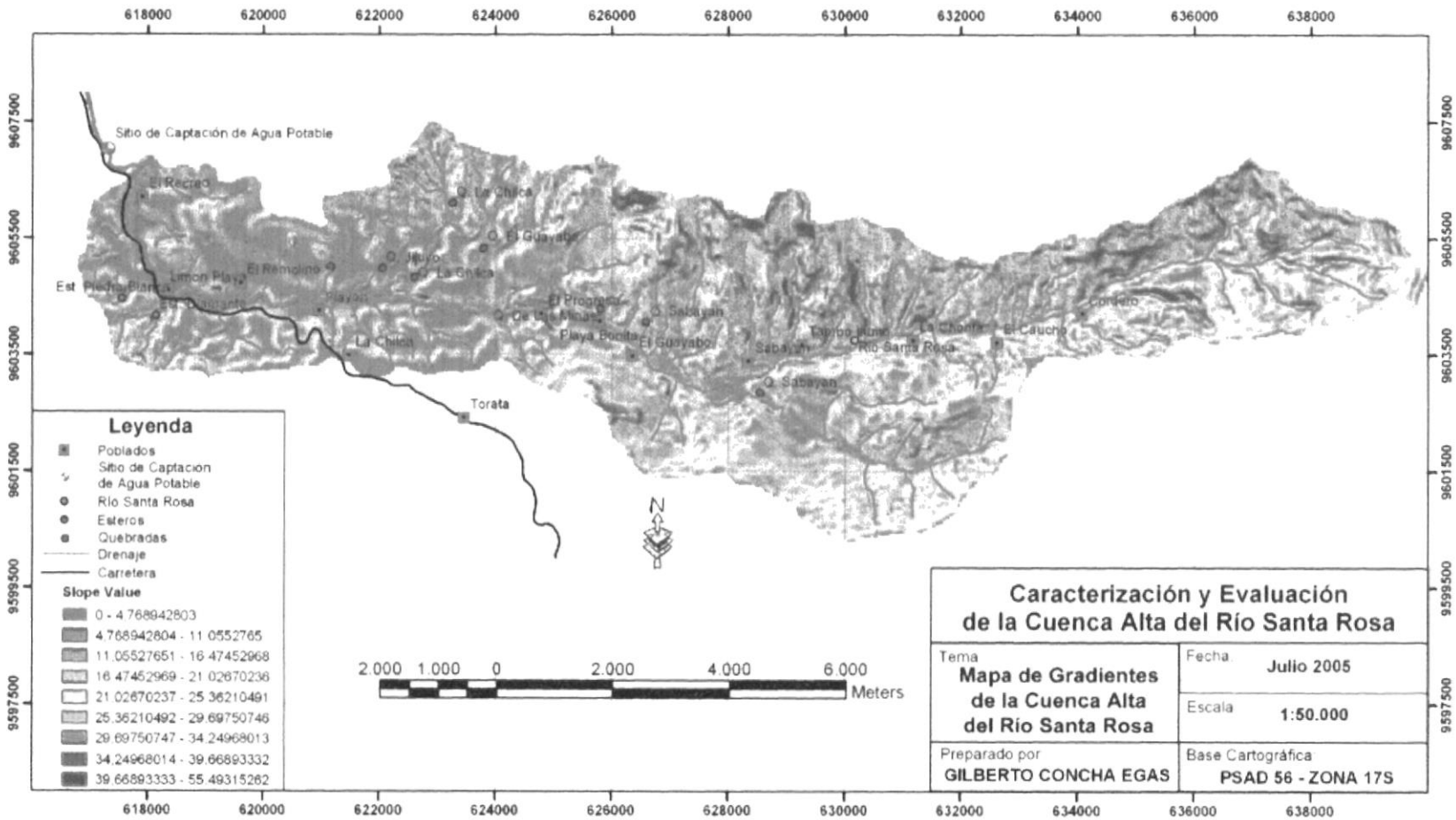
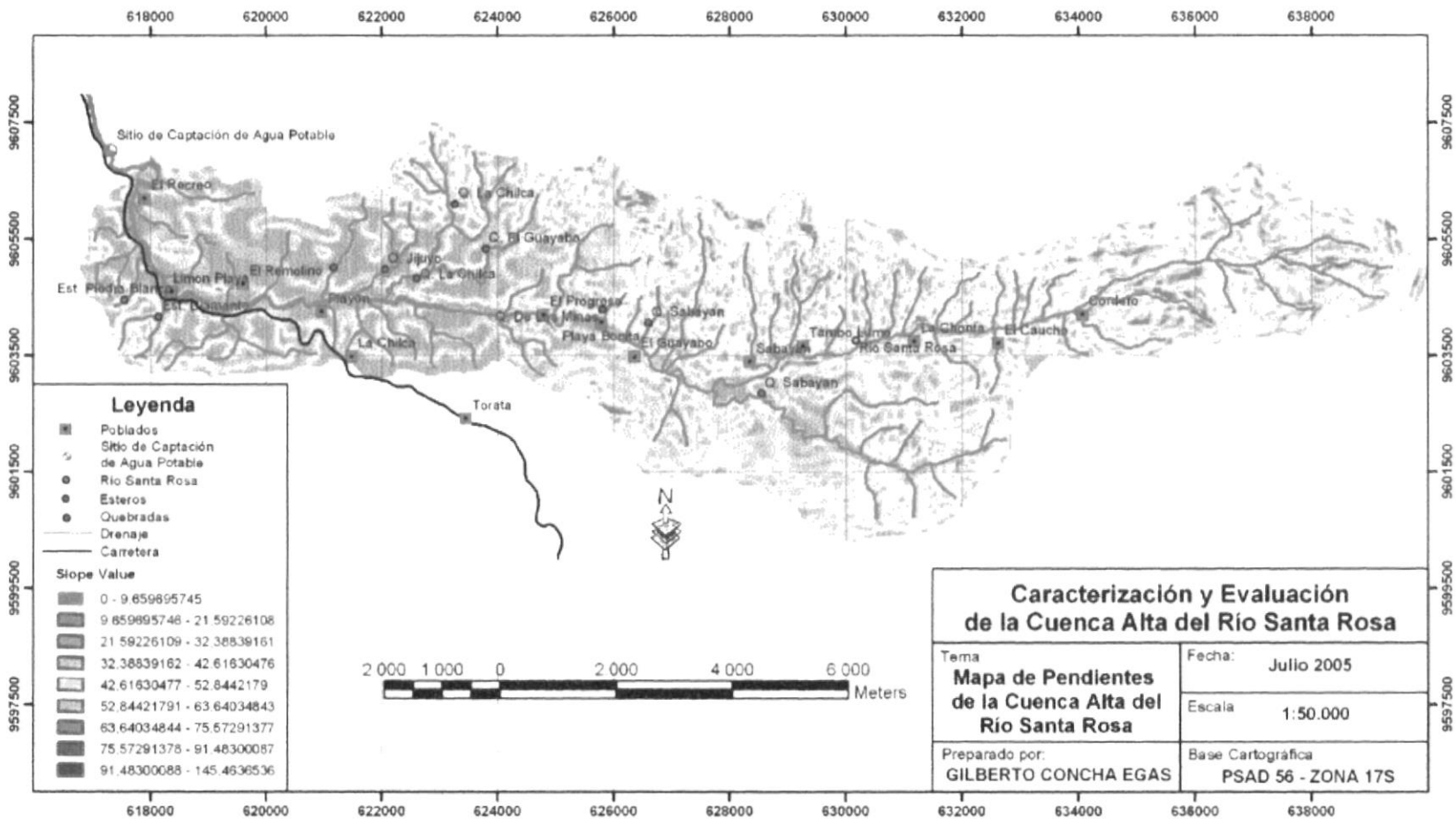


Figura 3.23. Mapa de Pendientes de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa



3.8. Coeficiente de masividad

El coeficiente de masividad de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa es el cociente entre la pendiente media y el área de la cuenca:

$$C_m = \frac{S_c}{A} = \frac{44,9}{80,18} = 0,5599 Km^{-2}$$

3.9. Características de la red drenaje

El área de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa pertenece al gran dominio de las rocas sin agua, debido a la ausencia de permeabilidad primaria, sin embargo esta condición está dada por fracturación, encontrándose consecuentemente agua almacenada y en circulación en fracturas y fallas. En la zona baja, en dirección hacia la costa, se encuentra no consolidado en donde yacen importantes acuíferos.

3.9.1. Tipos de corrientes

Los sistemas de cauces que fluyen a través de la red de drenaje en la Cuenca Alta del Río Santa Rosa son permanentes como intermitentes.

Durante los períodos lluviosos (enero - mayo) los caudales aumentan y las aguas se tornan turbias de color café, debido a los sedimentos arrastrados por la erosión diluvial y aluvial.

En períodos de estiaje el caudal del río Santa Rosa baja considerablemente y las aguas recuperan su transparencia.

3.9.2. Tipo de drenaje

La Cuenca Alta del Río Santa Rosa, presenta los patrones o modelos de drenaje: dendrítico, subparalelo, angular, circular y paralelo. Los modelos de drenaje de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa serán descritos en el Capítulo IV, en la sección Descripción de Unidades Geomorfológicas.

3.9.3. Orden de cuenca

Según la clasificación de corrientes de Horton, la Cuenca Alta del Río Santa Rosa es de cuarto orden, Figura 3.24

3.9.4. Relación de bifurcación

Para calcular la relación de bifurcación de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa, es necesario calcular primeramente el número de cauces (N_u) por cada orden de la cuenca, Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Número de cauces por cada orden de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa

Orden (u)	No. Cauces (N_u)	Longitud (Km.)
1	77	90,924
2	16	18,428
3	3	20,325
4	1	18,427

Si se denomina N_U a la cantidad de tramos de cauces de orden "u" se observa que N_1, N_2,..., N_U se ajustan a una progresión geométrica de la forma:

$$\frac{N_u}{N_{u+1}} = R_b \leftarrow 1 < u < U - 1$$

Siendo U=4 el orden del cauce principal. R_b se denomina como la Relación de Bifurcación y presenta un valor sensiblemente constante para una cuenca, generalmente entre 3 y 4. Para la Cuenca Alta del Río Santa Rosa, es de 4,24, Tabla 3.7

Figura 3.24. Orden de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa

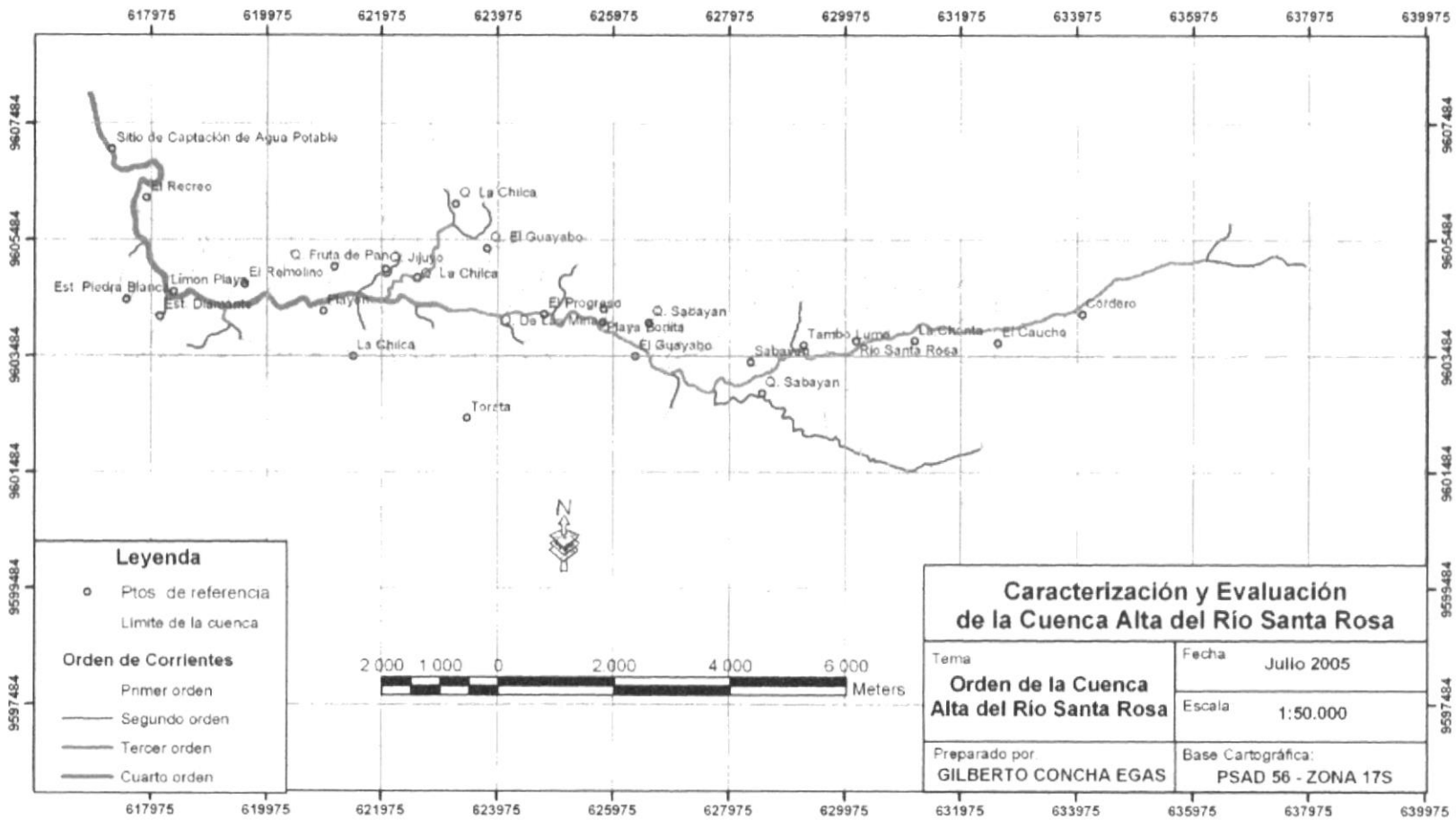


Tabla 3.7 Relación de Bifurcación (R_b) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa

$R_b^1 = \frac{N_3}{N_4}$	$R_b^1 = \frac{3}{1} = 3$
$R_b^2 = \frac{N_2}{N_3}$	$R_b^2 = \frac{16}{3} = 5,33$
$R_b^3 = \frac{N_1}{N_2}$	$R_b^3 = \frac{77}{16} = 4,81$
$R_b = \sqrt[3]{(R_b^3 \times R_b^2 \times R_b^1)}$	$R_b = 4,24$

3.9.5 Densidad de drenaje

La densidad de drenaje de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa es de 1,84 Km/Km^2, Tabla 3.6. Se dice que una red hidrográfica es densa cuando tiene una densidad de drenaje superior a 2,5 Km. /Km^2; por lo que la cuenca en estudio puede ser considerada con una densidad de drenaje regular. Para el cálculo de la longitud de los cauces se empleó la extensión de añadir campo de área/longitud (Add Area/Length Field) del Software ArcGis.

Tabla 3.8 Densidad de Drenaje de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa

Longitud de total de cauces (Km.)	$\sum L =$	148,107
Área de la cuenca (Km^2)	$A =$	80,18
Densidad de drenaje (Km. / Km^2)	$Dd = \frac{\sum L}{A} =$	1,84

CAPÍTULO 4

4. CARACTERIZACION DE LA CUENCA ALTA DEL RIO SANTA ROSA

4.1. Clima

Para determinar las características climáticas de la Cuenca del Alta del Río Santa Rosa, se han identificado 19 estaciones (14 pluviométricas y 5 climatológicas), distribuidas en un rango de altitud entre 10 a 2580 m., como puede observarse en la Tabla 4.1

El amplio rango de altitud y la insuficiencia de estaciones meteorológicas dentro de la cuenca, hacen necesario un análisis de la distribución de frecuencias por intervalos de altitud del comportamiento de la temperatura y la precipitación, empleando la información recopilada; así como la revisión de información relacionada con las características climáticas existentes, tanto a nivel regional como local, con el objetivo de determinar los registros de las estaciones meteorológicas que reflejan el clima de la cuenca.

Tabla 4.1. Estaciones meteorológicas y pluviométricas cercanas al área de estudio

ESTACION	CODIGO	INSTITUCION	TIPO	COORDENADAS GEOGRAFICAS		ALTURA (m)	PERIODO (años)
				LATITUD (S)	LONGITUD (W)		
SANTA ROSA	M 183	INAMHI	CO	3°27'32"	79°57'39"	10	1965-94
TAHUIN EN REPRESA	M 238	PREDESUR	PV	3°37'40"	80°00'10"	129	1985-89
SARACAY	M 569	INAMHI	PV	3°38'37"	79°52'00"	180	1965-85
PTE PUYANGO	M 232	PREDESUR	CP	3°52'42"	80°04'53"	290	1981-91
UZCURRUMI	M 481	INAMHI	PV	3°19'16"	79°35'00"	290	1975-94
LAS CHILCAS	LCH	INAMHI	PV	3°37'26"	79°52'05"	320	1973-78
MARCABELI	M 181	INAMHI	CO	3°46'58"	79°54'32"	520	1965-84
EL SALADO	M 239	PREDESUR	CO	3°44'53"	79°38'20"	580	1983-91
PINDO A.J. AMARILLO	M 480	INAMHI	PV	3°45'46"	79°38'05"	610	1968-86
BALSAS	M 736	PREDESUR	PV	3°46'00"	79°49'30"	700	1982-90
PORTOVELO	M 479	INAMHI	PV	3°42'45"	79°36'46"	900	1965-94
MORO MORO	M 743	PREDESUR	PV	3°40'48"	79°44'28"	980	1971-91
PIÑAS	M 773	INAMHI	PV	3°40'00"	79°39'00"	1100	1985-94
ZARUMA	M 180	INAMHI	CO	3°41'37"	79°36'41"	1150	1965-94
GUAYACAN	M 739	PREDESUR	PV	3°46'29"	79°43'15"	1160	1982-90
HUERTAS	M 740	PREDESUR	PV	3°36'06"	79°37'47"	1350	1971-91
AYAPAMBA	M 735	PREDESUR	PV	3°37'00"	79°40'30"	1425	1975-90
PACCHA	M 744	PREDESUR	PV	3°35'08"	79°39'45"	1540	1982-91
GUANAZAN	M 738	PREDESUR	PV	3°27'00"	79°30'00"	2580	1982-91

CO/CP, estación climatológica; **PV**, estación pluviométrica.

Fuente: INAMHI

En la Tabla 4.2 se presentan las superficies entre curvas de nivel consecutivas (cada 100 m), obtenidos al digitalizar mapas topográficos a escala 1:50.000. Estos valores indican que el 53,5% de la superficie total del área de estudio, se encuentra entre los 100 a 600 metros de altura; desde los 600 a 1200 metros, ocupan el 34,9% del área; y, desde los 1200 a 2300 metros abarcan el 11,6% de la cuenca; lo que significa que el 88% de la cuenca se encuentra por debajo de los 1200 metros de altura, Figura 4.1 (a) y (b).

Figura 4.1. (a) Distribución de alturas y superficies; **(b)** Frecuencias relativas de las alturas

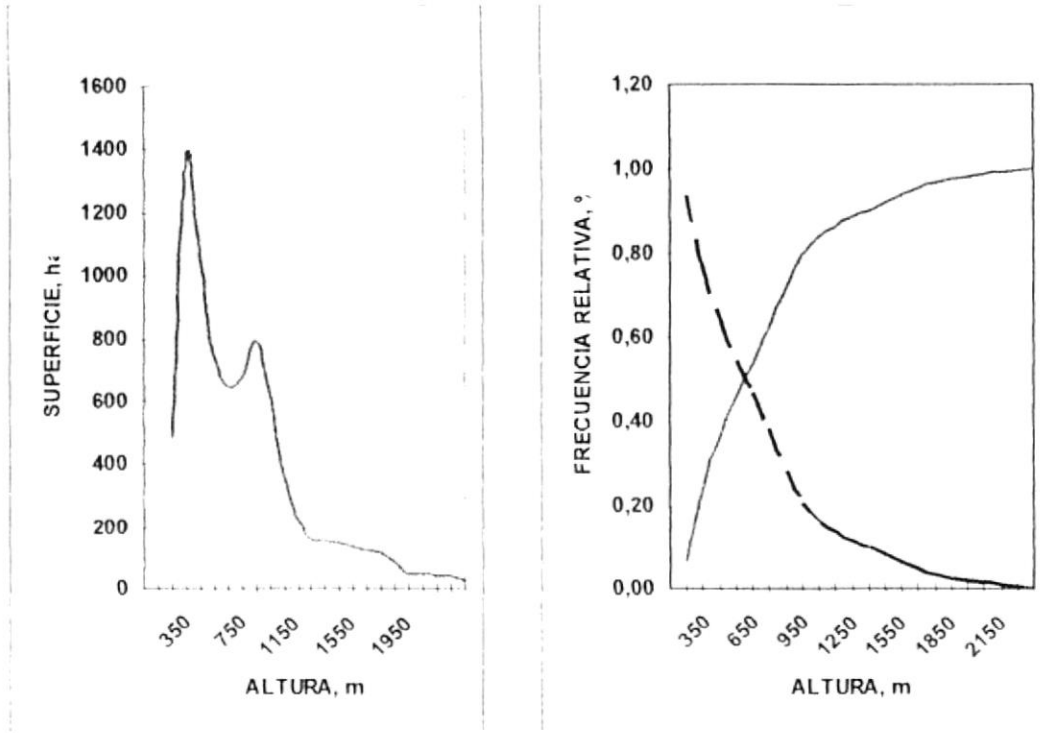


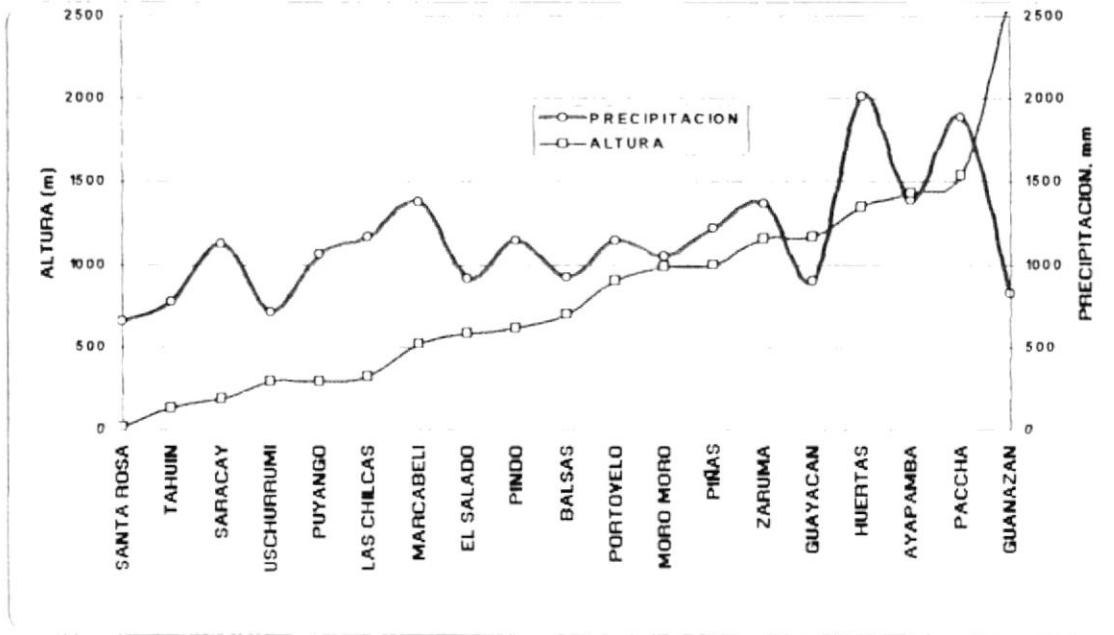
Tabla 4.2. Distribución de alturas y superficies en la cuenca

INTERVALO ALTURA (m)		PUNTO MEDIO	FRECUENCIA ABSOLUTA (ha)	FRECUENCIA RELATIVA (%)	FRECUENCIA ABSOLUTA (ha)	FRECUENCIA RELATIVA	
INFERIOR	SUPERIOR					MENOR QUE (%)	MAYOR QUE (%)
100	200	150	483	6,0	483	0,0602	0,9398
200	300	250	1380	17,2	1863	0,2324	0,7676
300	400	350	1051	13,1	2914	0,3634	0,6366
400	500	450	736	9,2	3650	0,4552	0,5448
500	600	550	642	8,0	4292	0,5353	0,4647
600	700	650	671	8,4	4963	0,6190	0,3810
700	800	750	788	9,8	5751	0,7173	0,2827
800	900	850	610	7,6	6361	0,7933	0,2067
900	1000	950	349	4,4	6710	0,8369	0,1631
1000	1100	1050	217	2,7	6927	0,8639	0,1361
1100	1200	1150	158	2,0	7085	0,8836	0,1164
1200	1300	1250	150	1,9	7235	0,9023	0,0977
1300	1400	1350	148	1,8	7383	0,9208	0,0792
1400	1500	1450	131	1,6	7514	0,9371	0,0629
1500	1600	1550	122	1,5	7636	0,9524	0,0476
1600	1700	1650	113	1,4	7749	0,9665	0,0335
1700	1800	1750	84	1,0	7833	0,9769	0,0231
1800	1900	1850	42	0,5	7875	0,9822	0,0178
1900	2000	1950	47	0,6	7922	0,9880	0,0120
2000	2100	2050	37	0,5	7959	0,9926	0,0074
2100	2200	2150	36	0,4	7995	0,9971	0,0029
2200	2300	2250	23	0,3	**8018**	1,0000	0,0000
			8018	100,0			

Considerando los registros de las 19 estaciones meteorológicas identificadas se han obtenido los valores medios multimensuales y anuales (Anexo C) de la precipitación y la temperatura en relación con la altura.

En el caso de la precipitación, se observa un incremento de la lluvia a medida que aumenta la altura de la estación meteorológica, Figura 4.2.

Figura 4.2. Variación de la precipitación con la altura.



La correlación entre los valores de precipitación anual y altura, para todas las estaciones es r^2=0,14, Figura 4.3; sin embargo, al correlacionar las alturas de las estaciones Santa Rosa (10 m), Tahuín (129 m), Saracay (180 m), Las Chilcas (320 m), Marcabelí (520 m) y Paccha (1540 m), con sus respectivos valores de precipitación, se obtiene un coeficiente r^2=0,873, Figura 4.4. Por lo tanto, considerando las características físicas de cobertura vegetal y humedad, tanto de la cuenca, como de la región se asume que la precipitación, estaría distribuida en función de la hipsometría de la cuenca.

Figura 4.3. Correlación entre la precipitación y altura de todas las estaciones meteorológicas.

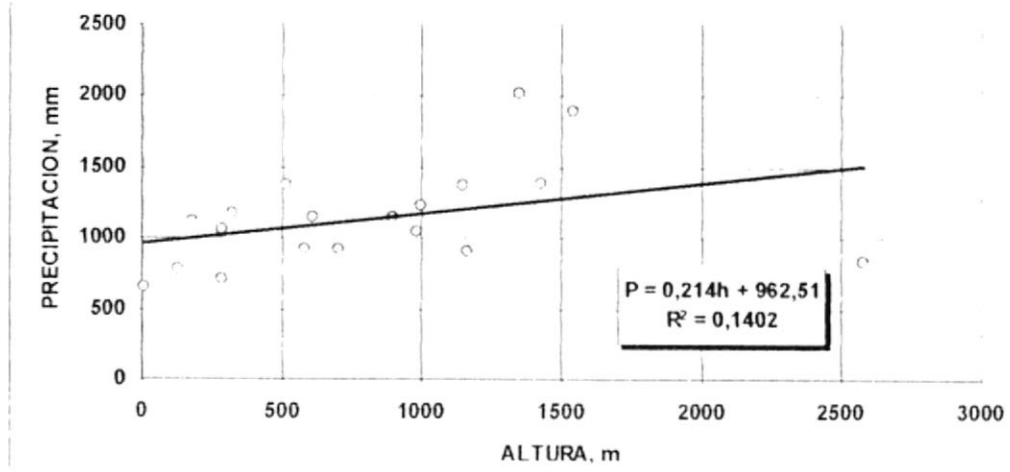
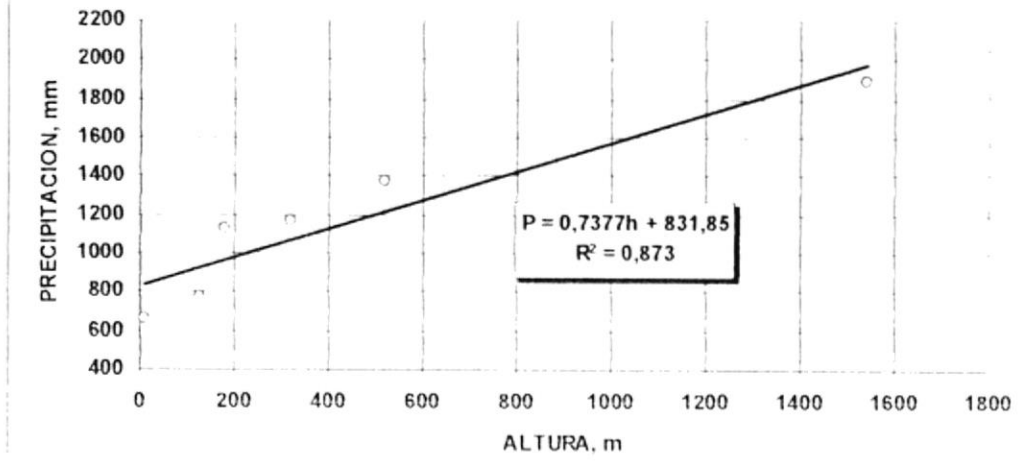
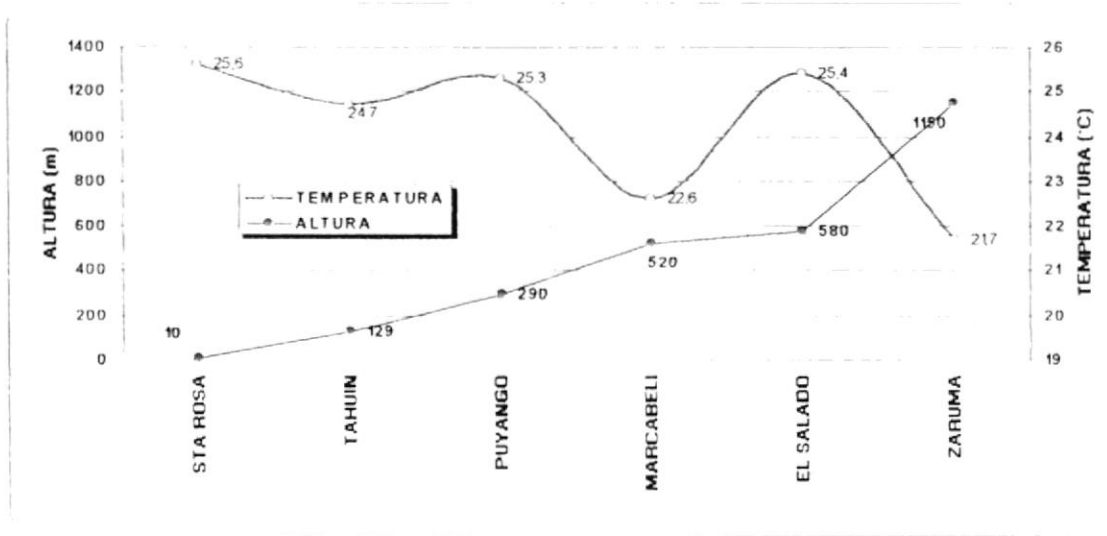


Figura 4.4. Correlación entre la precipitación y altura para las estaciones meteorológicas: Santa Rosa, Tahuín, Saracay, Las Chilcas, Marcabelí y Paccha



La Figura 4.5, presenta la variación de la temperatura en relación con la altura, para las estaciones climatológicas de Santa Rosa, Tahuin, Marcabelí, Zaruma, El Salado (580 m) y Puyango (290 m).

Figura 4.5. Variación de la temperatura con la altura



Al correlacionar las cuatro primeras estaciones, se obtiene un r^2=0,94 y que definen su selección para considerar los valores de temperatura y los de humedad relativa, nubosidad y velocidad del viento. Para el caso de la evaporación el correlacionar dichos valores con la altura, da un r^2=0,94 con las estaciones Tahuín, Marcabelí y Zaruma.

Otra utilidad de las diferentes correlaciones que realizadas, tanto para precipitación, temperatura y evaporación, es estimar valores anuales, para alturas donde no se dispone de información.

4.1.1. Características climáticas de la cuenca

En la Tabla 4.3 se presentan los valores medios para precipitación, temperatura, humedad relativa, nubosidad, velocidad del viento y evaporación, obtenidos para las estaciones seleccionadas. El registro de precipitaciones máximas en 24 horas y los días de lluvia, se encuentran en Anexo C (Los datos de la estación Santa Rosa son referenciales, pues además de encontrarse alejada de la cuenca, su altura no es representativa)

El valor medio anual de precipitación va desde 773 mm. para 129 m. de altura hasta 1888 mm. a 1540 metros de altura, que significa un incremento de 0,79 mm./m. La temperatura media anual varía desde 24,7 °C a 21,7 °C, es decir una diferencia de 3 °C, en una diferencia de altura de 1021 metros (1159 m-129 m), esto es equivalente a una disminución de 0,0029 °C por cada metro de altitud.

Como es necesario disponer de valores que definan las características climáticas del área de estudio, bajo las limitaciones antes mencionadas, se

procedió ha afectar los valores medios mensuales por un factor de ponderación equivalente al porcentaje superficial de las zonas de vida identificadas en la cuenca.

Para determinar los valores de precipitación mensual, a nivel de cuenca, se ha considerado los porcentajes de área, correspondientes a las zonas de vida, según Holdridge. Así se tiene que para obtener el valor medio multimensual de lluvia para la estación meteorológica de Tahuín, se lo afecta por 0,0928; la semisuma de los valores correspondientes a Saracay y Las Chilcas, por un factor de ponderación igual a 0,2169; y la semisuma de los datos correspondientes a Marcabelí y Paccha se multiplica por 0,6903. Posteriormente se suma los tres valores. Por ejemplo, para el mes de enero el cálculo es:

(0,0928*201,9)+(0,2169*((0,5*(199,4+135,3)))+(0,6903*((0,5*(167,9+346,5))) = 232,6 mm

Los valores de temperatura, humedad relativa, nubosidad, velocidad del viento y evaporación se estiman, considerando para la estación Tahuín un factor de ponderación de 0,3097; la media de los valores de Marcabelí y Zaruma, se lo multiplica por el factor 0,6903. Posteriormente se suma todos los resultados obtenidos.

Tabla 4.3. Características climáticas asumidas para el área de estudio

ESTACION	DATOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL O MEDIA	ALTURA (m)
SANTA ROSA	P (mm)	47,1	156,4	195,5	83,6	36,7	19,0	8,0	12,8	27,2	31,5	18,8	17,2	653,9	10
	T (°C)	25,8	26,1	26,4	26,4	26,0	25,3	25,0	25,6	24,2	26,3	25,0	25,4	25,6	
	HR (%)	91	89	89	89	92	90	91	90	92			90	90	
	n (octas)	7	7	7	7	7	7	7	7	7		7	7	7	
TAHUIN	P (mm)	201,9	258,1	138,8	94,1	24,3	7,2	4,4	3,1	2,9	5,5	5,4	27,8	773,3	129
	T (°C)	25,2	25,6	26,2	25,9	25,6	24,6	23,9	23,6	23,3	23,4	24,2	25,0	24,7	
	HR (%)	86	86	86	87	87	87	87	87	87	87	84	85	86	
	n (octas)	6	6	6	6	6	6	7	6	6	7	6	6	6	
	U (m/s)	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,9	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	
	E (mm)	87,9	105,1	134,5	124,8	130,6	119,6	113,8	114,5	112,7	115,0	122,5	122,8	1403,9	
SARACAY	P (mm)	199,4	220,6	223,6	174,0	123,7	38,4	13,4	11,3	18,0	14,9	26,2	56,1	1119,7	180
LAS CHILCAS	P (mm)	135,3	314,6	231,4	120,0	121,0	51,2	49,0	32,7	23,4	34,4	23,4	33,5	1169,9	320
MARCABELI	P (mm)	167,9	291,2	324,1	259,2	119,7	43,4	13,3	14,0	20,6	16,3	24,5	83,2	1377,1	520
	T (°C)	22,6	22,6	22,9	22,9	22,7	22,5	22,6	22,5	22,4	22,3	22,4	22,9	22,6	
	HR (%)	81	82	82	82	83	83	83	83	81	83	83	82	82	
	n (octas)	5	5	5	5	5	5	4	4	4	5	5	5	5	
	U (m/s)	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,5	1,3	1,5	1,4	1,3	1,2	
	E (mm)	64,7	52,9	64,2	58,8	55,2	54,1	63,5	59,3	66,6	64,5	67,5	74,6	746,0	
ZARUMA	T (°C)	21,1	21,2	21,3	21,4	21,3	21,2	21,8	22,2	22,5	22,2	22,3	21,9	21,7	1150
	HR (%)	87	88	88	88	88	87	84	81	81	83	82	84	85	
	n (octas)	7	7	7	7	6	6	5	5	6	6	6	6	6	
	U (m/s)	1,4	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	1,6	1,8	1,6	1,5	1,4	1,4	1,4	
	E (mm)	46,8	47,9	50,7	49,1	47,1	48,5	64,5	79,5	77,4	81,5	73,6	67,4	733,9	
PACCHA	P (mm)	346,5	399,7	270,1	345,3	135,3	29,9	12,7	25,0	26,7	53,4	53,6	190,0	1888,1	1540
VALORES ESTIMADOS PARA CONDICION ASUMIDA	P (mm)	232,6	320,4	267,3	249,3	116,8	35,7	16,1	18,5	21,1	29,9	32,8	106,6	1447,1	
	T (°C)	22,9	23,0	23,4	23,3	23,1	22,7	22,7	22,8	22,7	22,6	22,9	23,2	22,9	
	HR (%)	85	85	85	86	86	86	84	84	83	84	83	83	85	
	n (octas)	6	6	6	6	6	6	5	5	5	6	6	6	6	
	U (m/s)	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	1,2	1,3	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	
	E (mm)	65,7	67,3	81,3	75,9	75,7	72,4	79,4	83,4	84,6	86,0	86,6	87,1	946	

P, precipitación; T, temperatura; HR, humedad relativa; n, nubosidad; U, velocidad del viento; E, evaporación

Fuente: INAMHI

Por ejemplo, para el mes de enero el cálculo es:

Temperatura = ((0,3097*25,2)+(0,6903*(0,5*(22,6+21,1)))) = 22,9 °C

Humedad relativa = ((0,3097*86)+(0,6903*(0,5*(81+87)))) = 85 %

Con estos cálculos, se determinó las limitaciones del clima del área de estudio, que estaría caracterizado por 1447 mm de lluvia anual, con un pico en febrero de 320 mm y un mínimo en julio de 16 mm. Cabe recalcar que el 74% de la lluvia se concentra entre enero a abril, otro 11% de julio a noviembre, y el restante 15% en mayo y diciembre, que son meses de transición.

La temperatura anual puede ser del orden de 22,9 °C, correspondiéndole a marzo, el máximo valor de 23,4 °C y a diciembre el mínimo de 23,2 °C. La evaporación totaliza 946 mm anuales, es decir 2,6 mm/día (0,30 lps/ha). Las Isoyetas Anuales de Precipitación (Figura 4.6), Isotermas Medias Anuales (Figura 4.7) y Evaporación Anual (Figura 4.8), se han trazado empleando el software ArcGis.

Figura 4.6. Isoyetas Anuales (mm.) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa

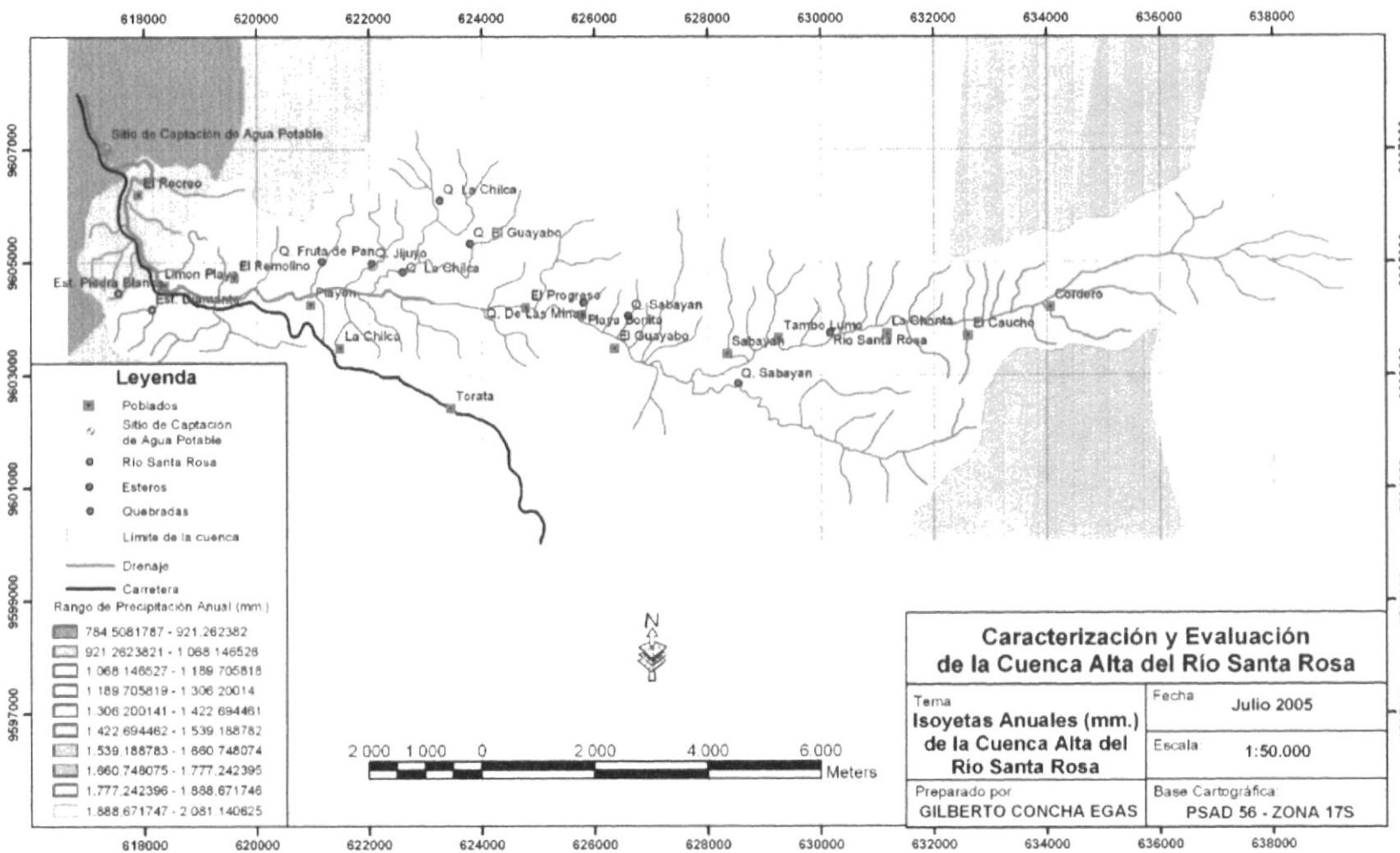


Figura 4.7. Isotermas Medias Anuales (°C) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa

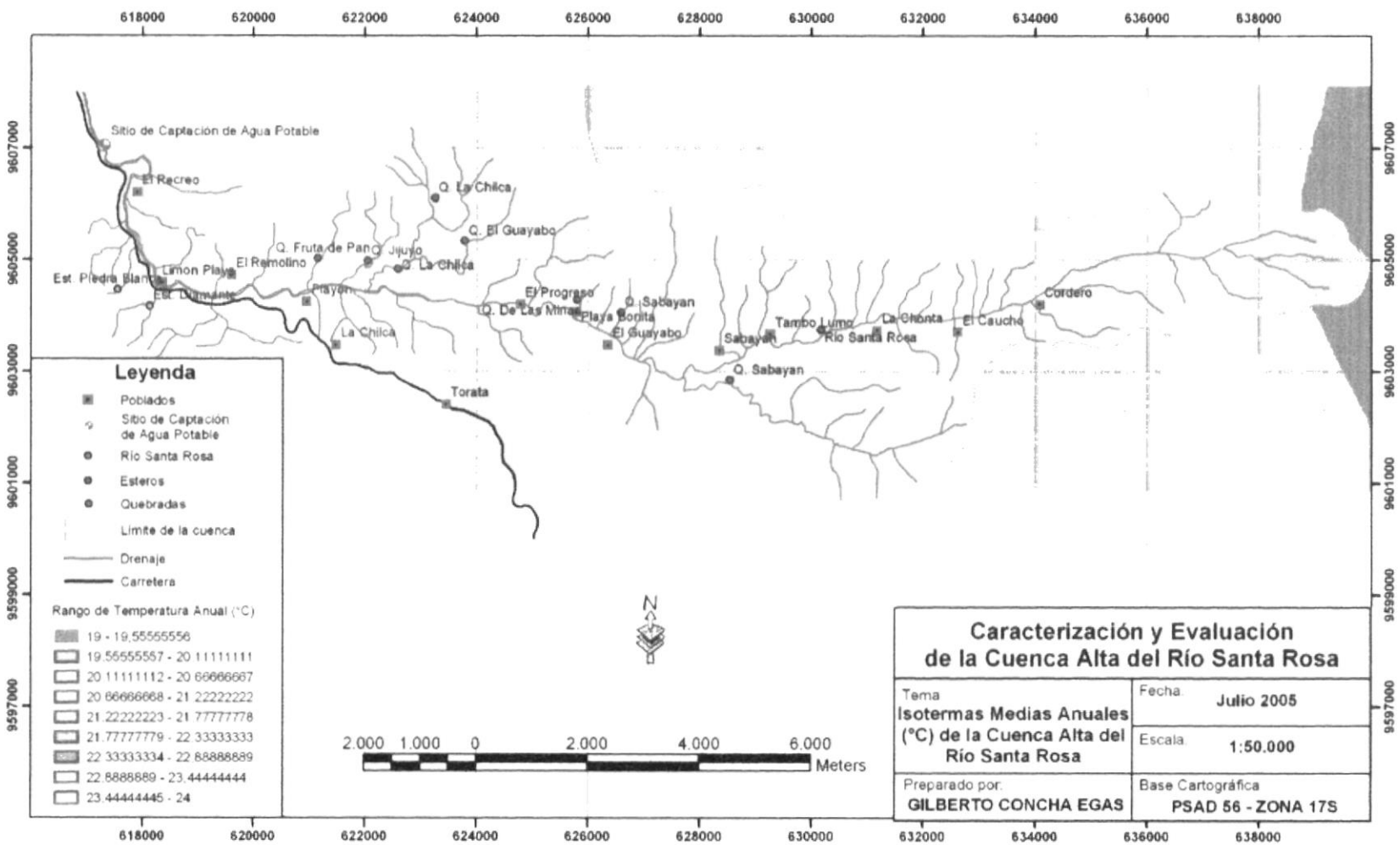
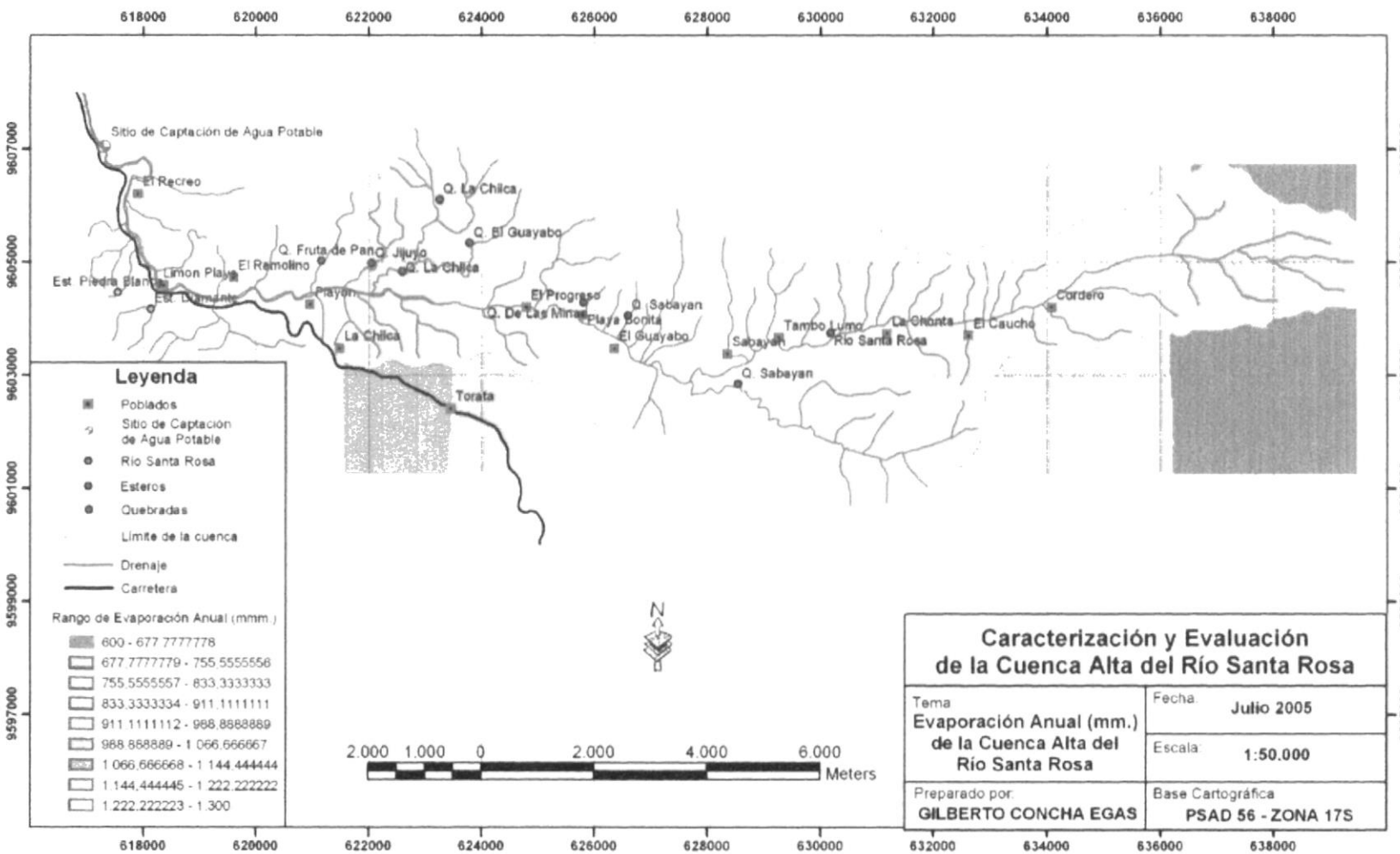


Figura 4.8. Evaporación Anual (mm.) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa



4.1.2. Zonas de vida

Con la herramienta de ArcGis Spatial Analyst, Raster Calculator (Calculadora de Mapas Raster), se identifica y delimita las zonas de vida según la clasificación de Holdridge, en base a los mapas de los datos medios obtenidos de temperatura, precipitación, evaporación para las estaciones meteorológicas seleccionadas, así como del Modelo Digital del Terreno (MDT), Tabla 4.4

Tabla 4.4. Expresiones empleadas para delimitar las zonas de vida, con la Calculadora de Mapas Raster (Raster Calculator) de ArcGis Spatial Analyst.

Zonas de Vida	Expresión	Respuesta Lógica	Conteo Celdas	Área (ha)
bms-T	(([isoterma] >= 24) & ([isoterma] <= 26)) & (([isoyeta] >= 500) & ([isoyeta] <= 1000))	0	80840	-
		1	8247	742,235
bs-T	(([isoterma] >= 24) & ([isoterma] <= 25)) & (([isoyeta] >= 1000) & ([isoyeta] <= 2000)) & ([dem] <= 300)	0	74074	-
		1	15013	1351,19
bh-PM	(([isoterma] >= 18) & ([isoterma] <= 24)) & (([isoyeta] >= 1000) & ([isoyeta] <= 2000)) & (([dem] >= 300) & ([dem] <= 2000))	0	25234	-
		1	63853	5746,8
bh-MB	([isoterma] <= 18) & ([isoyeta] >= 2000) & ([dem] >= 2000)	0	87114	-
		1	1973	177,509
AREA TOTAL DE LA CUENCA (ha.)				8017,83

isoterma = mapa de temperatura, **isoyeta** = mapa de precipitación, **dem** = modelo digital del terreno, **CellSize** (Tamaño de celda)=30x30 m=900m^2=0 09ha

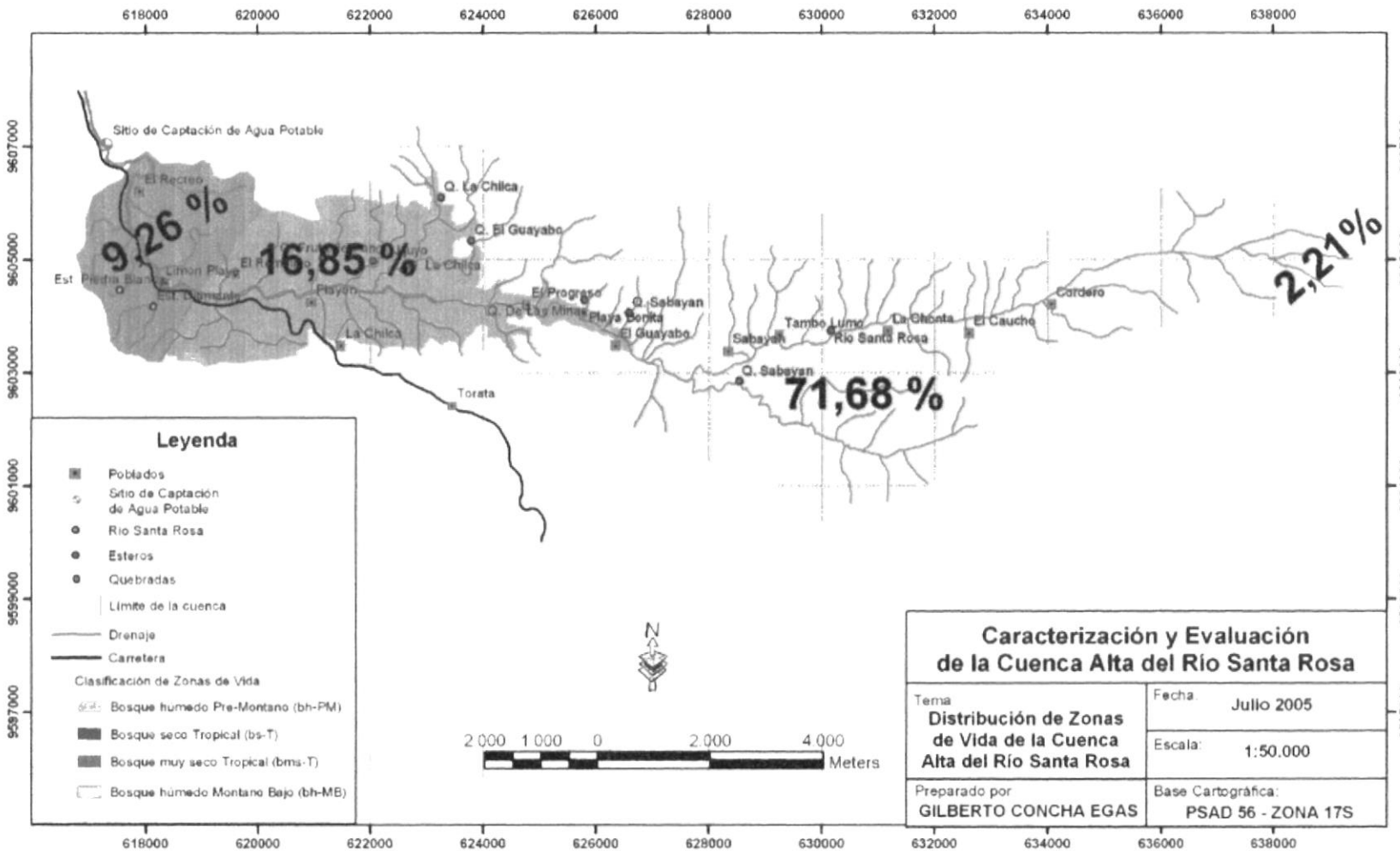
La zona de vida **bosque muy seco Tropical (bms-T)**, caracterizada por una temperatura entre 24 a 26 °C y precipitación de 500 a 1000 mm anuales, comprende 742,235 ha (9,25 %).

El **bosque seco Tropical (bs-T)** con temperatura entre 24 y 25 °C y lluvia de 1000 a 2000 mm, que se delimita hasta alturas de 300 m, comprende 1351,190 ha (16,85 %).

El **bosque húmedo Pre-Montano (bh-PM)**, entre alturas de 300 a 2000 m de altura con temperatura de 18 a 24 °C y lluvia de 1000 a 2000 mm, comprende 5746,8 ha (71,67 %).

El **bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB)**, con alturas superiores a los 2000 m, con precipitaciones entre 2000 a 4000 mm. y temperaturas menores a 18°C, comprende 177,509 ha (2,21%). En la Figura 4.9 está la distribución de las zonas de vida en la cuenca.

Figura 4.9. Distribución de Zonas de Vida de Holdrige en la Cuenca Alta del Río Santa Rosa



4.2. Hidrología

4.2.1. Caudales medios

Para conocer los caudales del río Santa Rosa se considera la estación limnimétrica **Santa Rosa en El Vado** (latitud: 3°33´30"; longitud: 79°56´29"; altura: 150 metros; superficie: 91 km^2; código: H-573), localizada a 300 metros aproximadamente aguas abajo del sitio de captación de agua potable para la ciudad de Santa Rosa, los anuarios hidrométricos publicados por el INAMHI entre 1971-1993, donde se reportan los niveles medios (cm.) desde 1971 a 1981 y 1991 a 1993, pero a partir de 1982 hasta 1989 aparecen registros de caudales.

Sin embargo, el INAMHI publica caudales medio mensuales, registrados y estimados por correlación con las estaciones hidrométricas Arenillas en Arenillas (H-574) y Caluguro A. B. en la toma del canal de riego, para el período 1963-1984, con una media de 1,29 m^3/s (14,2 lps/km^2).

De esta información se obtiene los registros de caudal medio para el período (1971-1981) que sumada a la disponible en los anuarios hidrométricos (1982-1989), permite disponer de un registro de caudales para el período 1971-

1989, con la falta de algunos o todos los meses en algunos años, tal como se observa en la Tabla 4.5. El caudal medio anual es 1,55 m^3/s (17,03 lps/km^2).

Cabe recalcar que el sitio de captación de agua potable fue construido por el IEOS en 1970, según ACSAM-COHIEC (1997), y los registros de la estación limnimétrica se inician a partir de mayo de 1971 y están afectados por los 0,17 m^3/s derivados en la toma.

El mayor caudal medio multimensual ocurre en febrero y marzo con un valor de 3,36 m^3/s y el menor tiene un valor medio de 0.53 m^3/s en noviembre, sin considerar el período 1982-1983 y otros valores que por su magnitud distorsionarían la media. Obsérvese que en febrero de 1983 se registra el mayor caudal medio mensual con 46,86 m^3/s.

Se considera un caudal medio semestral es 2,41 m^3/s, para los meses de enero a junio; mientras, que para el semestre de julio a diciembre, el valor medio es 0,67 m^3/s.

Tabla 4.5. Caudales medios, máximos y mínimos mensuales (m^3/s). Estación Limnimétrica Santa Rosa en El Vado (91 km^2).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1971	-	-	-	-	2,35	1,20	0,96		0,94	1,11	1,11	0,91
1972	0,34	0,54	0,65	0,86	0,68	0,30	0,21	0,61	0,21	0,13	0,11	(4,32)
1973	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1974		1,63	1,66	1,19	1,83	1,19	0,83	0,76	0,63	0,60	0,40	0,67
1975	1,56	4,77	4,74	6,05	3,48	2,18	1,66	1,41	1,21	1,09	0,87	0,78
1976	2,84	6,24	8,95	3,40	2,96	2,03	1,12	0,79	0,64	0,43	0,34	0,38
1977	1,12	2,97	2,68	2,51	1,70	-	-	-	0,98	0,89	0,83	0,74
1978	0,94	1,89	2,07	2,46	1,88	1,51	1,24	0,90	0,90	0,77	0,77	0,72
1979	1,31	2,12	3,07	2,54	1,62	1,48	1,38	0,94	0,94	0,78	0,54	0,28
1980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1981	0,44	1,30	4,80	1,93	1,43	0,81	0,18	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02
1982	0,35	0,76	0,58	0,91	0,69	0,52	0,14	0,19	0,18	0,30	(1,54)	(3,07)
1983	(29,85)	(46,86)	(10,39)	(5,15)	(6,22)	(4,23)	(3,14)	(2,39)	(2,32)	(1,96)	(1,94)	-
1984	2,87	6,89	4,91	4,1	3,16	2,72	2,08	-	-	1,09	0,65	0,64
1985	0,96	0,97	2,1	1,2	0,63	1,29	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,67
1986	2,77	2,93	1,26	3,53	2,54	0,65	0,56	0,56	-	-	-	0,56
1987	6,15	6,89	(17,25)	3,83	3,03	2,3	1,68	0,84	0,59	0,59	0,59	0,59
1988	4,52	(15,81)	6,17	1,08	0,74	0,71	0,65	0,59	0,59	0,56	0,56	0,56
1989	0,56	7,09	(18,96)	(26,71)	(12,44)	2,51	2,08	(1,81)	(1,64)	(1,51)	(1,43)	(1,17)
MEDIA	1,91	3,36	3,36	2,54	1,91	1,38	1,02	0,68	0,64	0,56	0,53	0,58
MAXIMO	29,85	46,86	18,96	26,71	12,44	4,23	3,14	2,39	2,32	1,96	1,94	4,32
MINIMO	0,34	0,54	0,58	0,86	0,63	0,30	0,13	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02

(15,81) valor no considerado para obtener la media

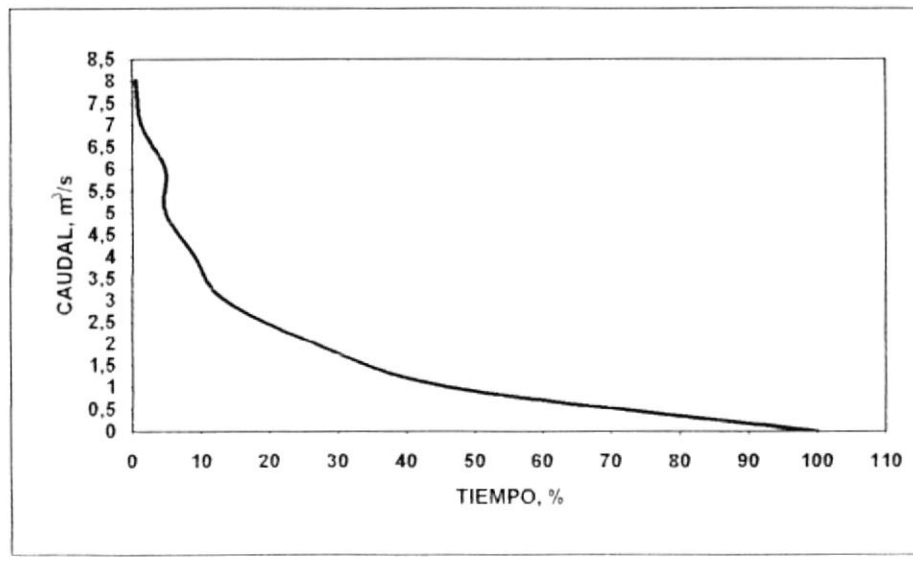
Fuente: INAMHI

En la tabla 4.6 se presentan los datos de caudal medio mensual para el período 1971-1989, y en la Figura 4.10 la curva de duración de caudales.

Tabla 4.6. Datos de caudal medio mensual (m^3/s) para el período 1971-1989. Estación hidrométrica Santa Rosa en El Vado

Intervalos de Clase		Limite inferior del intervalo	N° de ocurrencia en el intervalo	N° de veces que el gasto es mayor o igual al límite inferior del intervalo.	% de tiempo en que el gasto es mayor que el límite inferior del intervalo
Límite Inferior	Límite Superior				
0	0.99	0	90	166	100
1	1.99	1	32	76	45.8
2	2.99	2	22	44	26.5
3	3.99	3	7	22	13.3
4	4.99	4	7	15	9.0
5	5.99	5	0	8	4.8
6	6.99	6	6	8	4.8
7	7.99	7	1	2	1.2
8	8.99	8	1	1	0.6

Figura 4.10. Curva de duración de caudales para el río Santa Rosa en El Vado.



4.2.2. Caudales máximos

Los cálculos de los caudales máximos han sido estimados por Duque (CIDIAT), considerando los registros de precipitación máxima en 24 horas de la estación pluviométrica Paccha, realizando con dichos valores un ajuste a una distribución de probabilidad tipo Gumbel (Anexo D).

A pesar de lo corto de los registros, la estación fue seleccionada por ser la más cercana a la cuenca, además de ser representativa de la zona húmeda alta que ocupa gran parte de la superficie de la cuenca.

Las expresiones citadas por Rojas (1980) han sido empleadas para calcular los caudales picos ó máximos de la cuenca, para períodos de retorno (Tr) de 2, 5, 10, 25 y 50 años, considerando la escorrentía, la cobertura vegetal, la infiltración, la precipitación para un tiempo de concentración, el área de drenaje y el tiempo al pico.

Los caudales máximos calculados se presentan en la Tabla 4.7, para diferentes períodos de retorno (Anexo E), que generalmente son similares a los obtenidos para iguales períodos de retorno, considerando registros de caudales máximos ajustados con una distribución de probabilidad extrema

Gumbel, para el período 1982-1989 (Anexo F), preparada por ACSAM-COHIEC (1997) y Pacheco (1998)

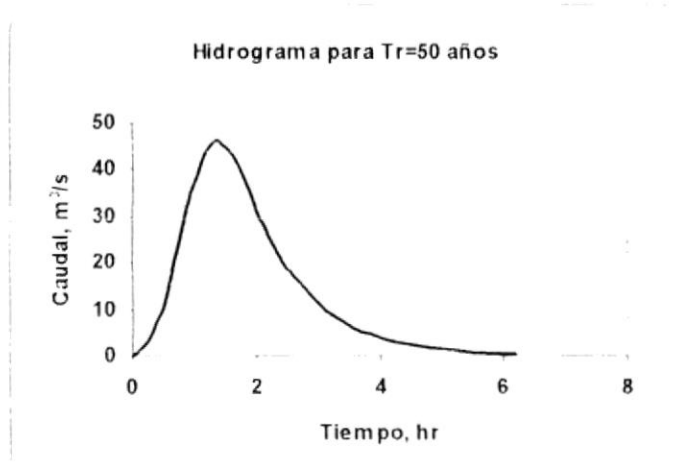
Tabla 4.7. Caudales máximos para varios períodos de retorno

Periodo de retorno (Tr) en años	2	5	10	25	50
Caudal máximo (qp) estimado, m^3/s	7,6	17,6	25,3	35,8	46,1
Caudal máximo, m^3/s Gumbel (1982-1989)	13,9	24,4	31,4	40,2	46,7
Caudal máximo, m^3/s Gumbel (ACSAM, 1997)	13,59	23,98	30,87	39,56	46,01

Fuente: ACSAM-COHIEC (1997), Pacheco (1998)

En la Figura 4.11, se presenta el hidrograma adimensional obtenido para un Tr=50 años y caudal al pico (qp) de 46 m^3/s, estimándose un tiempo al pico (tp) de 1,4 horas.

Figura 4.11. Hidrograma de avenida máxima para un período de retorno de 50 años



4.3 Geología

4.3.1 Litología

La composición litológica de la mayor parte de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa es de un conjunto de rocas metamórficas, que han estado sometidas a un intenso calentamiento y a una presión elevada en niveles profundos, debido generalmente al efecto de movimientos tectónicos causados por la deriva de los continentes lo cual provoca la deformación por plegamiento y fractura de las formaciones geológicas.

Las estructuras secundarias como los pliegues y las fallas, son en general la expresión de la formación de montañas durante los episodios orogénicos o movimientos de la corteza terrestre que dan origen a los mismos.

Según Feininger (1975), estas rocas metamórficas constituyen un basamento uniforme y antiguo que pertenecen a varios grupos de edades, composición e historias metamórficas diferentes. También en menor extensión hay pequeñas zonas de contacto con formaciones geológicas constituidas por rocas volcánicas. Estos grupos y formaciones se describen a continuación y se presentan en la Figura 4.12.

4.3.1.1 Grupo Tahuín

El grupo Tahuín está constituido por rocas metamorfizadas a presión baja, del Paleozoico. Las rocas de este grupo se localizan al Norte de la cuenca alta del río Santa Rosa, al Este limita con una gran falla que es el contacto con las rocas volcánicas de la Formación Celica, al Oeste la falla La Palma, la separa de una pequeña extensión de la serpentina El Toro y de la Formación Raspas al Sur.

Según Feininger (1975) dentro de la cuenca alta hay tres subdivisiones o unidades que en el mapa geológico (Figura 4.12), se las representa:

- **Unidad PzTa** compuesta por anfibolita gneisica (a)
- **Unidad PzT_4** a base de gneis (gr) y migmatitas graníticas (x).

El espesor total de este grupo se cree que excede los 10.000 m.

4.3.1.2 Formación Raspas

La Formación Raspas la constituyen rocas metamórficas de alta presión, del Cretácico. Se localiza entre la población de Limón Playa y la Qda. Sabayán en la margen derecha del Río Santa Rosa, y en el extremo Oeste se

encuentra separada por una pequeña intercalación de la serpentinita El Toro, por la falla La Palma. Al Norte la limita el grupo Tahuín, al Este hay una zona de contacto con una pequeña extensión de serpentinita el Toro.

Son rocas metamórficas de alta presión en los que predominan esquistos (q) pelíticos de grano medio a grueso compuestos por minerales cuarzo y mica de color blanco.

Además se encuentran eclogitas (e) y esquistos glaucofánicos. Las eclogitas están compuestas por el mineral granate. La roca va desde casi masiva a fuertemente bandeada. El esquisto glaucofánico es de grado fino, de color azul, debido al mineral glaucofano. El espesor de esta formación supera los 2.000 m.

4.3.1.3 Formación Serpentina El Toro

Constituida por rocas metamórficas del periodo Cretácico. Se localiza en pequeñas extensiones al extremo Oeste de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa, en el trayecto desde Limón Playa al sitio la Palma, que es justamente la traza de la falla la Palma; y al extremo Este igualmente hay otra pequeña extensión que se encuentra caracterizada por una serpentina de estructura

laminar y por el polimorfo de antigorita de color verde oscuro, grano fino a medio, y de masiva hasta fuertemente esquistosa.

Esta formación está emplazada en concordancia o con la misma inclinación que las capas del Grupo Piedras, y engloba a la Formación Raspas. Se la considera de edad mas joven que las rocas del Grupo Tahuín y Formación Raspas; su edad correspondería al Cretácico superior.

4.3.1.4 Formación Celica

Compuesta por rocas volcánicas de edad más joven que las metamórficas, se localiza en el extremo este de la cuenca alta, a partir de una falla tectónica que es la zona de contacto entre esta formación, el Grupo Tahuín y Serpentina el Toro.

Su litología básicamente está formada por andesitas homogéneas, masivas y de color verde, su textura es porfirítica con fenocristales máficos y andesina - labradorita. Su espesor supera los 2.000 m.

4.3.2 Calificación cualitativa de la susceptibilidad de las rocas a la erodibilidad.

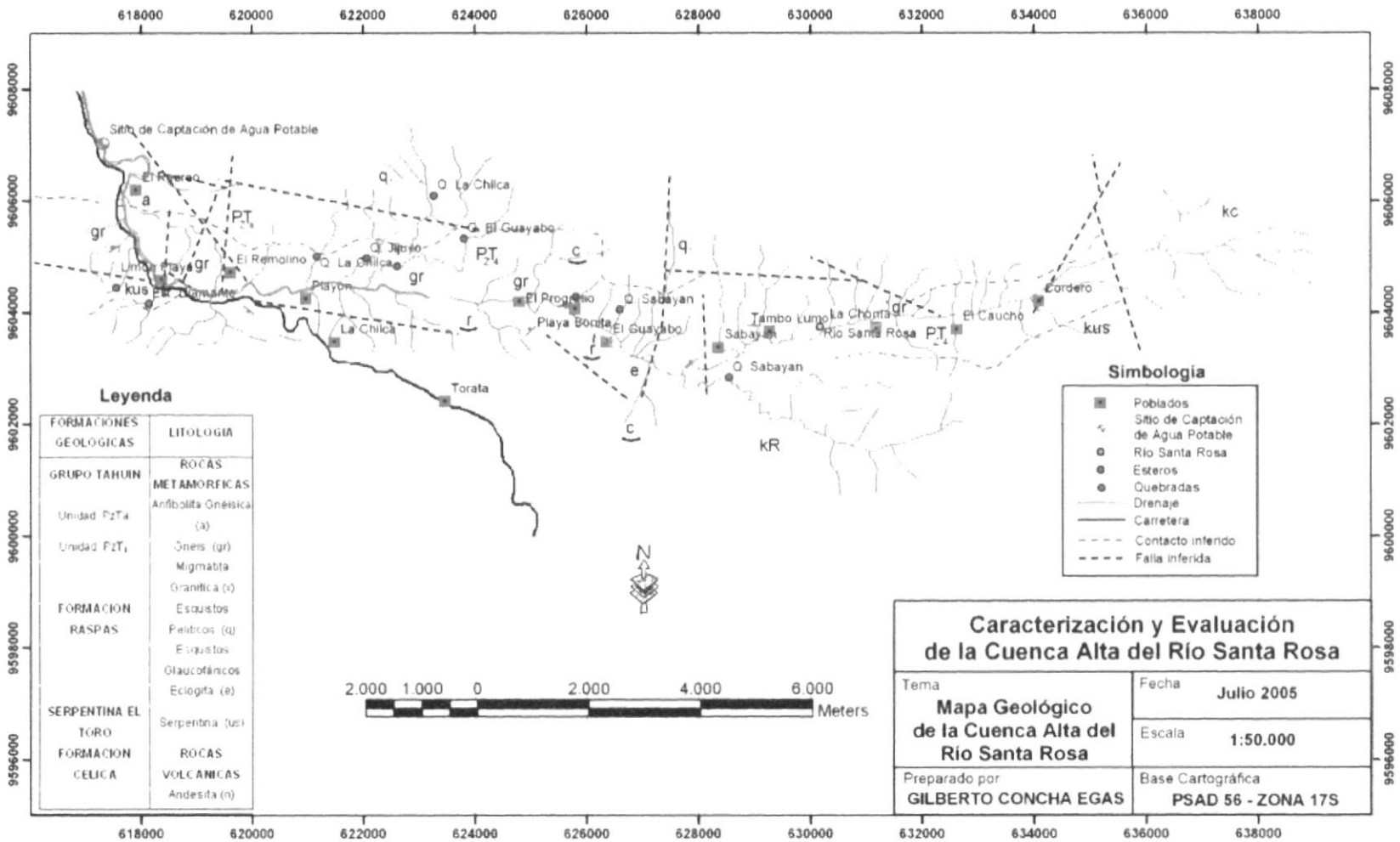
En la Tabla 4.8 se establece una relación entre las rocas metamórficas y volcánicas de las diferentes formaciones geológicas, los tipos de suelos que han originado y la susceptibilidad de las rocas a la erodibilidad. Según esta calificación cualitativa solamente la serpentina (us) sería moderadamente susceptible y las restantes tendrían escasa susceptibilidad.

Tabla 4.8. Litología y susceptibilidad de la erosión en la cuenca alta del río Santa Rosa.

FORMACIONES GEOLÓGICAS	LITOLOGÍA	TEXTURA DE SUELOS QUE ORIGINAN	SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN		
			E_1	E_2	E_3
GRUPO TAHUIN	**ROCAS METAMORFICAS**				
Unidad PzTa:	Anfibolita Gneisica (a)	Suelos de textura francos en superficie y subsuelo, substrato de textura franco fina	X		
Unidad PzT_4:	Gneis (gr)		X		
	Migmátita Granítica (x)		X		
FORMACION RASPAS	Esquistos Peliticos (q)		X		
	Esquistos Glaucofánicos		X		
	Eclogita (e)		X		
SERPENTINA EL TORO	Serpentina (us)			X	
FORMACION CELICA	**ROCAS VOLCANICAS**				
	Andesita (n)	Suelos de textura franco en superficie, subsuelo y substrato de textura arcillosa.	X		

E1, poco susceptible a la erosión, **E2**, moderadamente susceptible a la erosión; **E3**, altamente susceptible a la erosión.

Figura 4.12. Mapa Geológico de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa



4.4. Geomorfología y Suelos

4.4.1. Geomorfología, topografía, pendientes y alturas

4.4.1.1. Geomorfología

El área de la cuenca forma parte de la Región Central o Sierra correspondiente al conjunto desde Zaruma - Saraguro hasta la frontera con el Perú.

El paisaje en general se caracteriza por un descenso de altitudes máximas que alcanzan hasta 2200 m. y una repartición confusa de los conjuntos fisiográficos sin orientación preferencial.

Esta región Sur de la Sierra ecuatoriana que abarca las provincias de El Oro, Loja y Zamora, se caracteriza por la ausencia de actividad volcánica reciente y una fuerte disección en las rocas del substrato: volcánicas al Oeste, metamórficas al Sur y al Oeste.

Los relieves más altos, entre 400 y 2200 m., forman cordilleras estrechas alargadas, divergentes, con inclinación hacia el Sur-Oeste formando valles con direcciones ortogonales.

Las rocas sobre las que se modela este paisaje son volcánicas, intrusivas ácidas, y metamórficas. El diseño de drenaje predominante es *dendrítico*, patrón formado por una corriente principal con seis o mas tributarios primarios y secundarios uniéndose libremente en todas direcciones.

4.4.1.1.1 Criterios geomorfológicos

La Geomorfología está compuesta de una manera jerárquica por parámetros de clasificación que permiten la comprensión geoespacial de las formas de la tierra y sus características morfológicas como altitud, litología, formas de relieve y patrones de drenaje; los que se describen a continuación:

a. Morfología y alturas medias absolutas.

Estos criterios *morfológicos* consideran las formas del modelado y su altitud tomando como referencia el nivel del mar y no un nivel de base local.

COLINAS (C)

CORDILLERAS (K)

COLUVIONES SOBRE IMPUESTOS (C - Si)

Las *alturas medias absolutas* considera la siguiente caracterización de rangos:

FORMAS DE COLINAS BAJAS (C1), desde 0 a 100 m.s.n.m

FORMAS DE COLINAS MEDIAS (C2), desde 100 a 200 m.s.n.m

FORMAS DE COLINAS ALTAS (C3), desde 200 a 400 m.s.n.m

CORDILLERAS BAJAS (K1), desde 400 a 600 m.s.n.m

CORDILLERAS MEDIAS (K2), desde 600 a 1.000 m.s.n.m

CORDILLERAS ALTAS (K3), sobre los 1.000 m.s.n.m.

b. Litología

La cuenca alta del río Santa Rosa está compuesta básicamente de dos tipos de rocas:

ROCAS VOLCÁNICAS (V)

ROCAS METAMÓRFICAS (Ma)

Cada una de estas rocas posee características físico - químicas, de acuerdo a los minerales que la conforman y le confieren un grado de resistencia dependiendo del grado de estabilidad químico - mecánico. Una roca no es más resistente que sus componentes más débiles. El cuarzo es un mineral

formador de estas rocas, muy común, altamente resistente a la desintegración, excepto en clima ecuatorial. Los minerales primarios que componen las rocas metamórficas son principalmente anfiboles, feldespatos, y los tipos de rocas corresponden a gneis, migmatita granítica, cuarcita, esquistos, andesita, entre otras.

Las propiedades de las rocas explican el comportamiento mecánico de las mismas, el cual no es un proceso fortuito, sino dependiente de su composición química y mineralógica. Las rocas duras desarrollan curvas convexas o colinas con cimas agudas y otros rasgos topográficos.

c. Formas de relieve

Este parámetro describe la geometría del relieve, refiriéndose en especial al aspecto de las crestas y cimas de las colinas, cordilleras y mesetas, considerando siempre la resistencia variable a la erosión (erosión diferencial).

En la cuenca se identifican las siguientes formas:

AGUDAS (a)

ASIMÉTRICAS (s´)

ALARGADAS (l)

REDONDAS (r)

d. Patrones de drenaje

El tipo de patrón de drenaje esta relacionado con la litología, la estratificación, el tectonismo, la erosión, las geoformas anomálicas, las características del clima y las pendientes dominantes. Es importante porque es un indicador de la *permeabilidad* de la masa total de la forma, una guía de las variaciones de posición interno y es un indicador del desarrollo del perfil del suelo, y a menudo define el tipo de roca o material parental.

Las formas de los patrones de drenaje dependen de la naturaleza de las formas de la tierra. La dureza y masividad de las rocas subyacentes tienen un efecto sobre el patrón de drenaje, proporcional a la resistencia relativa del material a la meteorización o alteración de las rocas bajo los efectos de fenómenos atmosféricos.

El drenaje se diferencia considerando el patrón y la densidad de acuerdo a la siguiente clasificación:

Patrón

DENDRITICO (D)

SUBPARALELO (S)

ANGULAR (A)

CIRCULAR (C)

PARALELO (P)

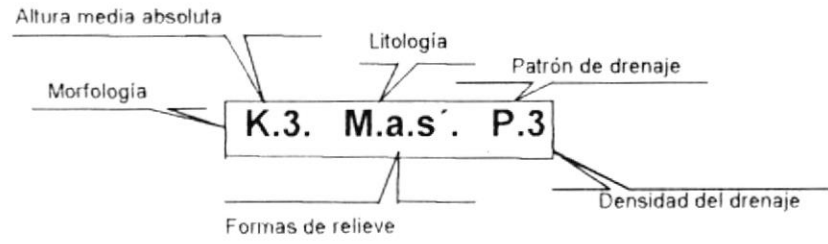
Densidad

POCO DENSO (1)

MEDIANAMENTE DENSO (2)

DENSO (3)

Todas estas características geomorfológicas se resumen en la expresión:



4.4.1.1.2 Descripción de las unidades geomorfológicas

a. Colinas medias C2Mas´P3 (63,06 ha)

Relieves colinados medios (C2), modelados en las rocas metamórficas, constituídas por minerales de anfibolitas, a base de silicatos de Ca, Mg, Fe, Na, Al; la hornblenda es el tipo común, es de color verde, inestable, constituye el grupo geológico Tahuín.

Las colinas presentan cimas agudas (a), y asimétricas (s´). Patrón de drenaje paralelo (P), denso (3), tipo de foliación inclinada. Se localiza entre la población La Avanzada y El Recreo.

b. Colinas medias C2Mrs´D3 (130,75 ha)

Conjunto de colinas medias (C2) denudadas por la erosión formadas por rocas gnéisicas "veteadas" (estructura foliada), correspondientes al grupo Tahuín. Debido a la acción erosiva, las colinas tienen cimas redondeadas (r), son asimétricas (s´); con un patrón de drenaje *dendritico* muy denso (D3) en suelos arcillosos.

Se localizan en la margen izquierda del río Santa Rosa, a la altura de los poblados El Recreo y Limón Playa, entre La Playa y la Pereira. Ambas unidades están en la traza, o atravesadas por fallas geológicas.

c. Colinas altas C3Mas´S3 (1451,68 ha)

Relieves colinados altos, con basamento metamórfico constituido por migmáticas granitoideas, esquistos, gneis, anfibolitas, compuestos de minerales cuarzo, feldespatos, mica, clorita, hornblenda. Pertenecen al grupo Tahuín. Las formas de las colinas son cimas agudas asimétricas. Patrón de drenaje subparalelo, denso. La densidad del drenaje (poco espaciado) está relacionada con la impermeabilidad de las rocas.

Se localizan aproximadamente a continuación del sitio El Recreo, a lo largo del río Santa Rosa, hasta la población El Guayabo entre las cotas 200 y 400 m.s.n.m.

d. Colinas altas C3Mas´C2 (259,72 ha)

Corresponden a colinas altas, (C3) modeladas por procesos morfodinámicos en rocas de la formación El Toro. Las formas de las cimas de las colinas son agudas(a), no guardan proporción y correspondencia (asimétricas) (s´), el

patrón de drenaje es circular (C), medianamente denso (2), disección variable, de origen tectónico.

Esta unidad geomorfológica se localiza en el sector cerro Piedra Blanca, al Sur del poblado Limón Playa.

e. Colinas altas C3Mas´S2 (138,94 ha)

Grupo de colinas altas (C3), modeladas en los afloramientos de la formación Raspas en rocas metamórficas (esquistos, eclogita, metabasitas) y minerales resistentes que generan formas de cimas agudas (a) y asimétricas (s´), patrón de drenaje subparalelo (S), medianamente denso (2).

Se localizan entre los poblados Limón Playa y Playón, en la margen izquierda del río Santa Rosa.

f. Cordilleras bajas K1Mas´P3 (538,92 ha)

Relieve de cordilleras bajas (K1) modeladas por los fenómenos geológicos orogénicos en las rocas metamórficas, (M) gnéis cuarcitico del grupo Tahuín. Se presentan con formas de crestas agudas (a), asimétricas (s´), con

escurrimiento superficial que forma patrones de drenaje paralelo (P), denso (3). Las pendientes dominantes son de 40 a 70 %.

Se localiza al margen de la Quebrada La Chilca y la Quebrada El Guayabo en la Cordillera el Muro.

g. Cordilleras medias K2MrlD1 (193,4 ha)

Relieves modelados en las rocas del complejo metamórfico (M) del grupo Tahuín. Presentan crestas redondeadas (r) y alargadas (l), valles en "V" asimétricos (s´) y profundos. Patrón de drenaje dendrítico (D) poco denso (1)

h. Cordilleras medias K2Mas´P3 (1076,71 ha)

Relieve de cordilleras altas (K2) modeladas por los fenómenos geológicos orogénicos, en las rocas metamórficas (M) gnéis cuarcitico del grupo Tahuín. Se presentan con formas de crestas agudas (a), asimétricas (s´), con escurrimiento superficial que forma patrones de drenaje paralelo (p), denso (3). Las pendientes dominantes son de 12 a 40 %.

Se localiza hacia la margen derecha del río Santa Rosa, sobre la cota 300 m.s.n.m. y forma parte de la divisoria de la cuenca a la altura de la quebrada la Chilca y quebrada El Guayabo (cerro la Chilca).

i. Cordilleras medias K2MaIS2 (1257,96 ha)

Cordilleras medias (K2) modeladas en los afloramientos de rocas metamorfizadas (M) del grupo Tahuín. Estos relieves presentan cimas agudas (a) y alargadas (l), presenta interfluvios agrestes en "V" y encausados. El patrón de drenaje es subparalelo (S), medianamente denso (2). Los suelos desarrollados a partir de granitos y migmatitas granitoideas, son arcillosos, pendientes dominantes de 25 - 70 %. El área de interfluvios separados por una línea de cresta corresponde a fallas geológicas.

Constituyen parte de la divisoria de aguas o línea de crestas que al Norte limita la cuenca alta del río Santa Rosa, a la altura de la población El Guayabo, aproximadamente a partir de la cota 600 m.s.n.m.

j. Cordilleras medias K2Mas´lA2 (1224,24 ha)

Cordilleras medias (K2) modeladas en las rocas metamorfizadas (M) de tipo básico (40 - 90 % de minerales ferromagnésicos) y esquistos de la formación

Raspas. Las formas de las cimas son agudas (a), asimétrico (s´) y alargadas (l), interfluvios separados. Patrón de drenaje angular (A) medianamente denso (2), pendientes dominantes del 12 - 70 %. Se localizan en el sector de la quebrada Sabayán y los cerros El Guayabo y El Mirador constituyen parte de la divisoria de aguas que limita la cuenca.

k. Cordilleras altas K3Vas´D2 (1465.07 ha)

Cordilleras altas (k3) modeladas en rocas volcánicas (V) de tipo andesita, pórfidos andesíticos y tobas andesíticas por la formación Celica.

Las cimas de las cordilleras son agudas(a) y asimétricas (s´), la forma del drenaje es dendrítico (D) medio denso (2) y las pendientes son muy pronunciadas, de 40 a 70 %.

Los suelos originados a partir de estas rocas son de color rojizo a rojo arcillosos, poco profundos, erosionados, ácidos.

Se localizan en las vertientes más altas y extremas, al Este de la cuenca, entre 1000 y 2000 m.s.n.m.

I. Coluviones sobreimpuestos C-Si (217,23 ha)

Constituyen depósitos superficiales de materiales detríticos producto de la meteorización o descomposición de las rocas en zonas aledañas y que han sido arrastrados hasta estas áreas.

Son depósitos *cuaternarios* recientes que cubren toda el área entre las poblaciones La Chilca, Playa Bonita y El Guayabo. No presentan patrón de drenaje definido.

En la Figura 4.13 se presentan las unidades geomorfológicas identificadas en el área de estudio.

4.4.1.2 Topografía

La dinámica de los fenómenos actuales que se dan en el entorno de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa están dados por la asociación de una serie de factores, que influyen en mayor o menor grado de acuerdo a las características de la zona, en relación a los tipos de rocas, depósitos, presencia de fallas, actividad sísmica, actividad erosiva que a su vez está relacionada con las precipitaciones, formas de relieve, formas de las pendientes, tipo de cobertura vegetal, características de suelos y a la

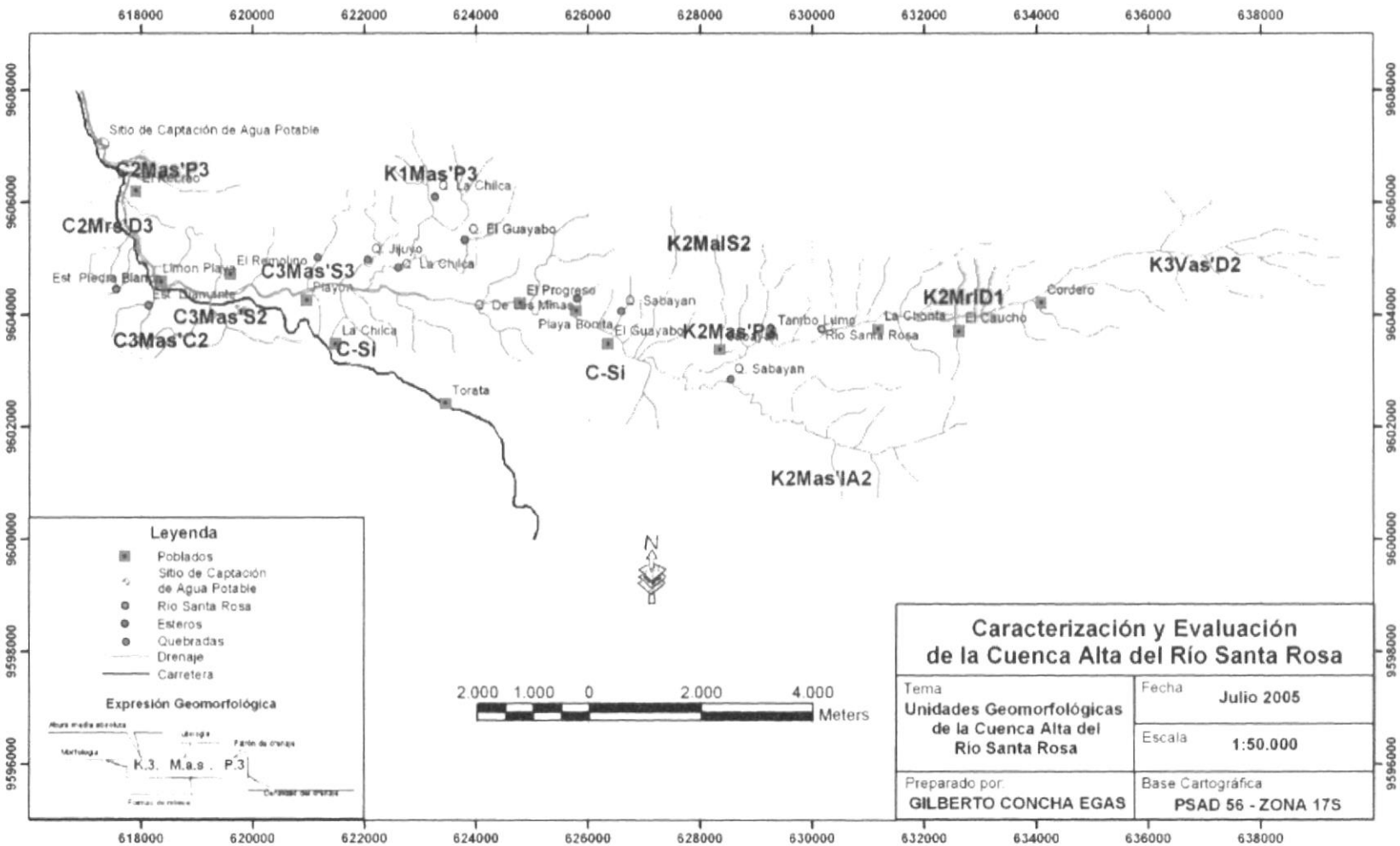
actividad humana relacionada con el uso que da a las tierras y al grado de degradación de las mismas, que puedan acelerar el fenómenos erosivos y de contaminación de las aguas.

La topografía está dada por la disposición de las formas del paisaje que dan como resultado diferentes grados de inclinación, longitud, concavidad y exposición de la pendiente.

El uso que se da a las tierras está influido por el grado de inclinación de las tierras, ya que de este factor depende la actividad agropecuaria. Así, las áreas planas tienen mejores y más rentables posibilidades que una colina de pendientes fuertes y suelos erosionados difíciles y riesgosos para los cultivos.

El factor topografía influye en los eventos que se dan sobre el *transporte* de materiales producidos por la erosión y la consecuente depositación, además de afectar junto con otros factores ambientales la evolución de suelos a través de los años, dando como resultado suelos erosionados, poco profundos, de fertilidad baja y gravillosos.

Figura 4.13. Unidades Geomorfológicas de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa en Cantones



El agua durante la época lluviosa, puede arrastrar o llevar en suspensión diferentes materiales en tamaño y cantidad (si las tierras están desprotegidas de vegetación). La velocidad del flujo depende del grado y de la longitud de la pendiente, así como de la relación entre la velocidad de la escorrentía y la cantidad de material transportado.

En pendientes largas, y según el porcentaje de la pendiente, las pérdidas de suelo se ven aumentadas por el aumento del volumen y velocidad del agua de escorrentía superficial.

4.4.1.3 Pendientes

En la Cuenca Alta del Río Santa Rosa se cuantifican los rangos de pendientes que se presentan en la Tabla 4.9. a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT) y del Mapa de Pendientes en Porcentaje (Figura 3.23), con la herramienta de ArcGis Spatial Analyst, Raster Calculator (Calculadora de Mapas Raster). Las expresiones empleadas en la Raster Calculator se detallan en la Tabla 4.10 con los respectivos resultados, y el mapa de pendientes en la Figura 4.14.

Tabla 4.9. Pendientes y superficie existente en el área de estudio

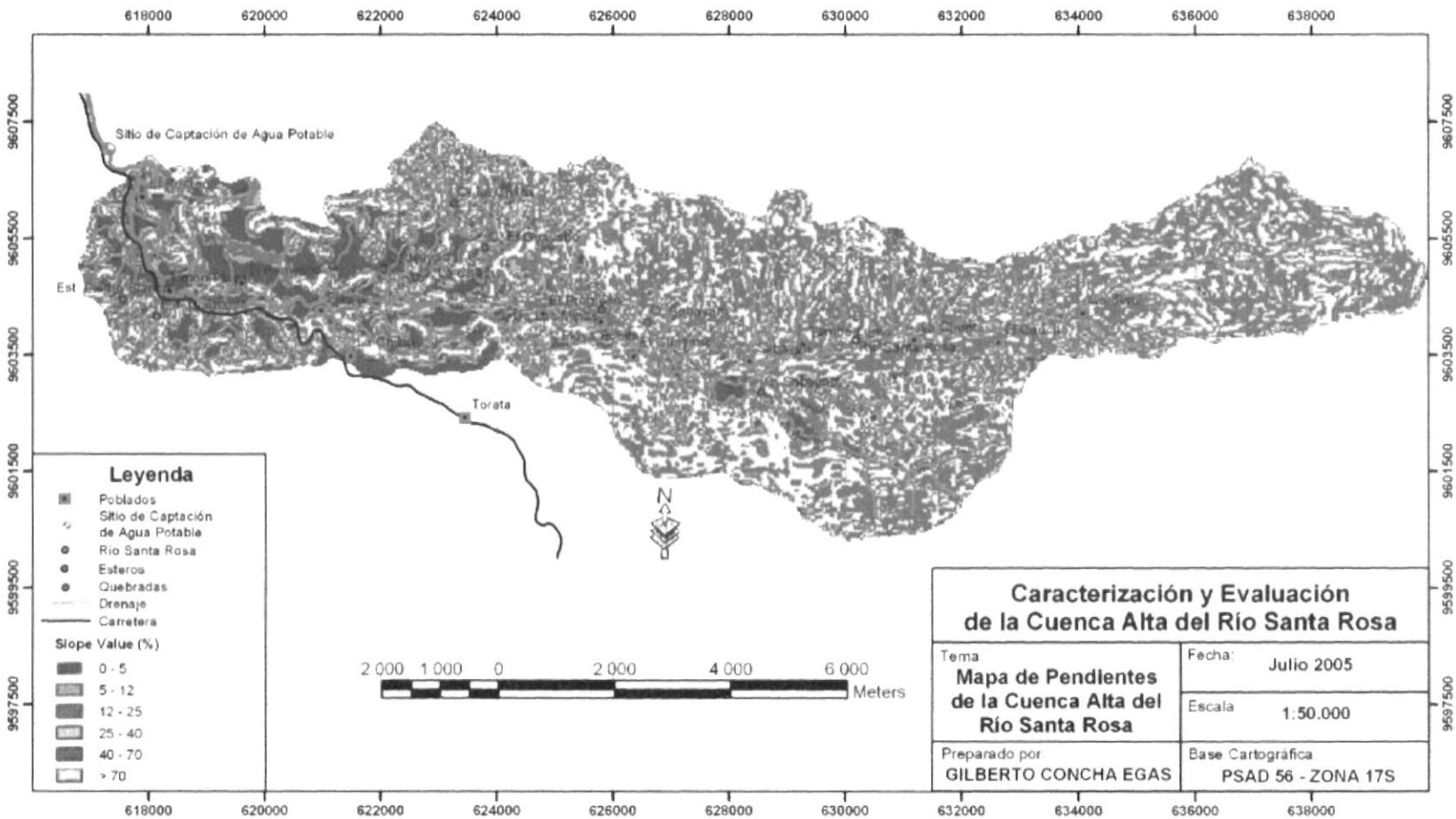
RANGOS (%)	SUPERFICIE (ha)	%	CARACTERISTICAS DEL DRENAJE		
			PATRON	DENSIDAD	LONGITUD
0 - 5	948,87	11,83	Paralelo	denso	cortas
5 - 12	686,88	8,57	Subparalelo y paralelo	denso - medio denso	cortas
12 - 25	1200,24	14,97	Subparalelo	denso	cortas
25 - 40	1935,54	24,14	Paralelo angular	denso medio denso	cortas
40 - 70	2683,98	33,48	Subparalelo dendrítico, angular	medio denso	largas
> 70	562,32	7,01	Dendrítico	medio denso	cortas

Tabla 4.10. Expresiones empleadas para calcular la superficie de los rangos de pendientes, con la Calculadora Raster (Raster Calculator) de ArcGis Spatial Analyst.

Rango	Expresión	Respuesta Lógica	Conteo Celdas	Área (ha)
0-5	([dem_slope_p] >= 0) & ([dem_slope_p] <= 5)	0	78544	-
		1	10543	948,87
5-12	([dem_slope_p] > 5) & ([dem_slope_p] <= 12)	0	81455	--
		1	7632	686,88
12-25	([dem_slope_p] > 12) & ([dem_slope_p] <= 25)	0	75751	-
		1	13336	1200,24
25-40	([dem_slope_p] > 25) & ([dem_slope_p] <= 40)	0	67581	-
		1	21506	1935,54
40-70	([dem_slope_p] > 40) & ([dem_slope_p] <= 70)	0	59265	-
		1	29822	2683,98
>70	[dem_slope_p] > 70	0	82839	-
		1	6248	562,32
AREA TOTAL DE LA CUENCA (ha.)				8017,83

dem_slope_p = Pendiente del Modelo Digital del Terreno en Porcentaje, **CellSize** (Tamaño de celda)=30x30 m=900m^2=0.09ha

Figura 4.14. Mapa de Pendientes de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa

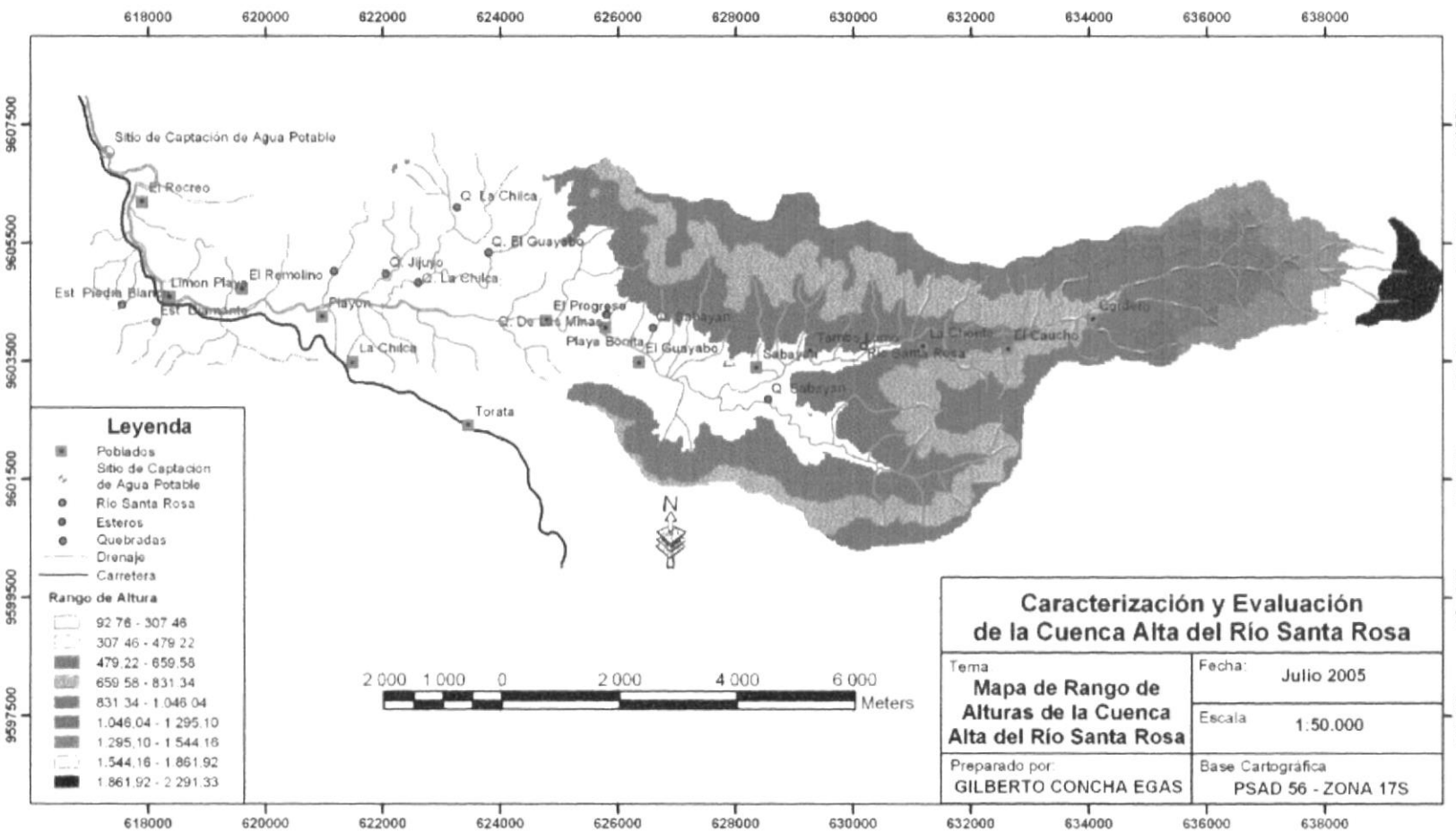


4.4.1.4. Alturas

La topografía es sinónimo de relieve e incluye en la Cuenca del río Santa Rosa diferentes formas de modelado y altitud, que se presentan en el mapa geomorfológico (Figura 4.13). La altura del relieve es posible considerarla en relación al nivel del mar o la diferencia de altura entre la cúspide y la base (altura relativa); en la cuenca se considera la altura en relación al nivel del mar, en la Figura 4.15 se presenta el mapa de Rango de Alturas de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa. Se consideran como colinas (C) las elevaciones menores a los 400 m.s.n.m., y alturas superiores como cordilleras (K) a los 1000 m.s.n.m.

La altitud del relieve da lugar a diferentes eventos acorde a la incidencia de otros factores medio ambientales ya mencionados, pero la mayor influencia de la altura se hace notar en los cambios climatológicos que pueden darse, y consecuentemente repercute en la distribución de cambios graduales de precipitación, disminución de temperatura, meteorización, tipo de vegetación, régimen de humedad de los suelos, característica de los suelos, secuencia de suelos.

Figura 4.15. Mapa de Rango de Alturas de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa



Con relación a la precipitación por ejemplo, en 22 Km. de longitud de la cuenca alta, desde el sitio de captación de agua para abastecimiento de la población de Santa Rosa, la precipitación varía desde los 800 hasta 2000 mm promedio anual; las zonas de vida varían desde Bosque muy seco Tropical, Bosque seco Tropical y Bosque húmedo Pre-Montano; así como las pendientes van en forma ascendente, desde el río Santa Rosa hacia las líneas divisorias de las cumbres más altas, que las separan de las cuencas adyacentes vecinas.

Los suelos fluctúan desde Rhodustalfs, fértiles y situados en las alturas menores a 400 m.s.n.m. a Oxic Dystropepts, de tierras altas, en el extremo Este de la cuenca, mas o menos a partir de los 800 m.s.n.m., de menor fertilidad y con problemas de acidez.

4.4.2. Suelos

4.4.2.1. Características físicas, químicas, fertilidad de los suelos y clasificación taxonómica.

Los suelos de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa tienen características físico químicas influenciadas por el tipo de rocas existentes, el ambiente climático de la cuenca con sus características de temperatura y pluviosidad,

principalmente; el relieve colinado y muy disectado con pendientes fuertes; el tipo de cobertura vegetal existente, que amortigua el fenómeno erosivo a pesar de las fuertes pendientes; la dinámica geológica, entre los más importantes. En la cuenca existe una diferenciación climática que permite agrupar los suelos por su régimen de humedad de la manera siguiente:

a) Régimen ústico

Enmarcado dentro de la formación vegetal bosque seco Tropical de acuerdo a la clasificación de Holdridge. Las condiciones de humedad en el suelo deben ser de al menos 90 días continuos o más de 180 días acumulativos en la mayoría de los años; esto, se cumple justamente en esta formación vegetal, debido a la alternancia de época lluviosa y seca.

b) Régimen údico

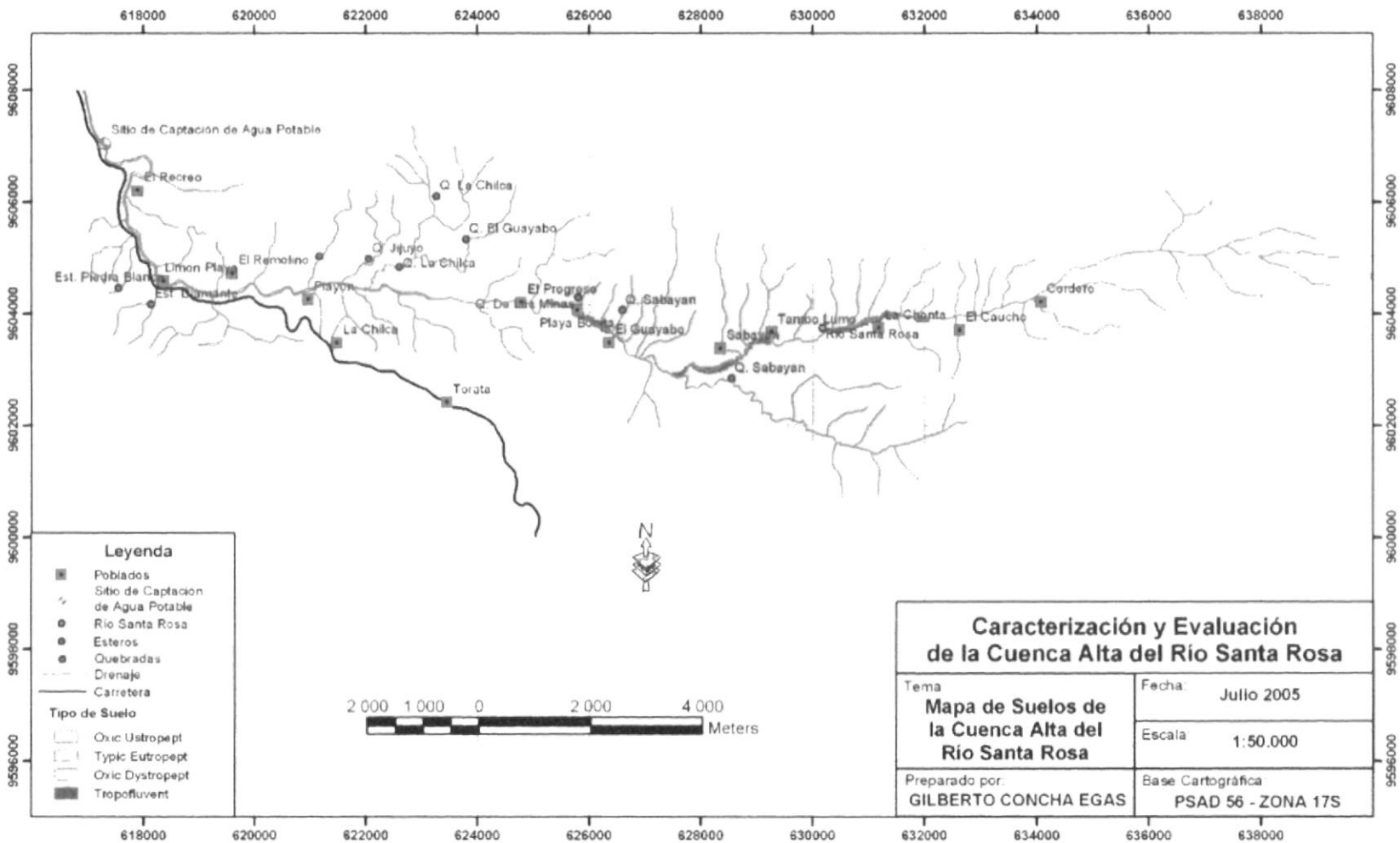
En cambio, en este caso, el suelo debe permanecer húmedo la mayor parte del año, de tal manera que no debe estar seco durante tres meses seguidos (90 días acumulativos), lo que corresponde a la formación bosque húmedo pre-Montano de la clasificación de Holdridge.

De acuerdo a esto, y a las características descritas por Pacheco (1998) en los perfiles de suelo a lo largo de la cuenca alta del río Santa Rosa, así como las características físicas y químicas resultado de los análisis de suelos respectivos, Fuentes (1998), que se presentan en el Anexo G, se tiene los subgrupos de suelos identificados, de acuerdo al sistema de clasificación taxonómica norteamericana (USDA), y la evaluación cualitativa de la fertilidad empleando los criterios de Cortés A. y Malagón D. del CIDIAT que se detallan en el Anexo H. En la Figura 4.16 se presenta el mapa de suelos de la cuenca.

4.4.2.1.1. Orden Inceptisoles

En general las características de los suelos de la cuenca no evidencian un mayor desarrollo o evolución, por lo que se los ha agrupado en este orden, que se deben a la acción conjunta de los factores clima (régimen de humedad), vegetación (acumulación de materia orgánica) y relieve (suelos poco evolucionados en pendientes fuertes); en general, son suelos jóvenes que se han formado en colinas de fuertes pendientes y a partir de rocas metamórficas.

Figura 4.16. Mapa de Suelos de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa



En las formaciones ecológicas bosque seco tropical (bs-T), se localiza el subgrupo de suelos Oxic Ustropepts, de régimen de humedad ustico; y en la formación ecológica bosque húmedo pre-montano (bh-PM), se localizan sucesivamente los subgrupos Typic Eutropepts y Oxic Dystropepts, bajo un régimen de humedad údico.

4.4.2.1.1.1. Oxic Ustropepts (2225 ha)

Son suelos formados en condiciones ambientales que corresponden a la formación vegetal bosque muy seco tropical y bosque seco tropical, con temperaturas alrededor de 25 °C y precipitaciones de 800 a 1200 mm. promedio anual, con una marcada estación lluviosa y otra seca, de relieve colinado y disectado, con fuertes pendientes, mayores al 40%, imprime su característica de poco espesor del suelo agrícola (solum, o conjunto de los dos primeros horizontes superiores A y B), que fluctúa entre 30 y 40 cm. de profundidad, color pardo, bien estructurado en bloques sub angulares; debido entre otras cosas, a la abundante presencia de raíces de los pastizales o de bosques. Las texturas del suelo van de franco arcillo arenoso a arcilloso en profundidad. El substrato es de color rojo a rojo amarillento, poco permeable al agua, gravilloso o con piedras.

El contenido de materia orgánica y nitrógeno es bajo en los 15 cm.

superficiales y decrece abruptamente en profundidad; tienen un porcentaje de saturación de bases alto (+50%) y una capacidad de intercambio catiónico (CIC), de medio a alto.

El pH es ligeramente ácido en los primeros 40 cm, cambiando a muy ácido en profundidad (> 40cm); el fósforo se encuentra en un nivel muy bajo. Todas estas características son indicativas de una fertilidad baja de los suelos, en las condiciones actuales. En el Anexo I se describe el perfil típico.

4.4.2.1.1.2. Typic Eutropepts (1158 ha)

Son inceptisoles de zona húmeda de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa, a manera de transición entre los inceptisoles de áreas secas y húmedas, con alto contenido de bases intercambiables; ligeramente ácido; bajo contenido de fósforo; mediano contenido de materia orgánica y nitrógeno en los primeros 10 cm., que decrece bruscamente en el subsuelo; alta a media capacidad de intercambio catiónico, textura medianamente fina en el suelo superior, y más arcilloso en el substrato pedregoso y gravilloso. La fertilidad es moderada a baja.

El espesor del suelo agrícola superficial es menor a 50 cm. de profundidad, color pardo, bien estructurado en bloques subangulares finos y abundante

presencia de raíces que en conjunto le dan una mejor permeabilidad. En el Anexo J se describe el perfil típico.

4.4.2.1.1.3 Oxic Dystropepts (4575 ha)

Son Inceptisoles de textura media a fina, color pardo de reacción superficial ácida (pH 5,2) a muy ácida (pH 4,9) en profundidad. Son formados a partir de rocas metamórficas como el gnéis o esquisto , en condiciones climáticas más húmedas (1.400 a 2.000 mm de lluvia promedio anual), con temperaturas 20 a 22 °C y ocupa los relieves de cordilleras más altos caracterizados por la formación vegetal bosque húmedo pre-Montano (bs-PM).

El contenido de nitrógeno y la capacidad de intercambio catiónico es medio; sin embargo el porcentaje de saturación de aluminio es alto, lo que indica la existencia de aluminio en concentraciones tóxicas. El fósforo es medio a bajo. En el Anexo K se describe el perfil típico.

4.4.2.1.2 Orden Entisoles

Son suelos sin evidencia de formación de horizontes y constituyen una acumulación de materiales gruesos (piedras, gravas, gravillas, arenas, etc.)

arrastrados por río y depositados a lo largo del mismo en estrechas terrazas pedregosas. Corresponden a los Tropofluvents.

4.4.2.1.2.1 Tropofluvent (60 ha)

Constituidos por acumulación de materiales por lo general gruesos (piedras, cantos redondos, gravilla, arenas, etc.) constituyendo terrazas estrechas y alargadas a lo largo del río Santa Rosa, estas condiciones no permiten el desarrollo de horizontes, sino una mezcla de materiales, por la continua aportación durante las épocas lluviosas.

4.4.2.2. Aspectos relevantes de los suelos de la cuenca

De las características físicas y químicas de los suelos de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa, que se resumen en la Tabla 4.11 se puede concluir los aspectos siguientes:

- Un 7% de la superficie total, tienen pendientes mayor al 70% localizándose en la margen izquierda del río Santa Rosa y cabecera, entre 400 a 2.000 m.s.n.m; otro 33% comprende pendientes entre 40 al 70% en la margen derecha; y finalmente un 60% abarca rangos de pendientes entre 0 al 40% localizadas en la parte media a baja.

- Alrededor de 6 de cada 10 ha de los suelos bajo régimen de humedad údico tienen fertilidad muy baja, caracterizadas por pH < 5,5 (ácido a muy ácido), que influye en la disponibilidad de nutrientes y concentración tóxica de aluminio (> 1 ppm), cuyo efecto directo es producir o acentuar deficiencias de calcio y fósforo por acumulación en las raíces, impidiendo la absorción de estas. Además el porcentaje de saturación de aluminio existente (> 60%) afectan y/o interfiere el desarrollo de especies vegetales susceptibles.

- La superficie restante (4 de 10 ha) presenta limitaciones moderadas a fuertes de disponibilidad de nutrientes, que caracterizan a estos suelos con una fertilidad moderada a baja. Nótese que estos suelos tiene un pH ligeramente ácido, y el porcentaje de saturación de aluminio va de 2 a 8%, excepto el Oxic Ustropept que a 40 cm. presentó 59%, con pH muy ácido y 4,3 me/100 gr. de aluminio.

- Este escenario nos presenta a tiempo real, las limitaciones del recurso suelo, tanto en su topografía como en su capacidad de ser utilizado intensivamente en agricultura, salvo el caso de permitir el desarrollo de pasturas como Saboya, adaptable a regimenes de humedad údico y ústico, así como a pH ácidos y efectos tóxicos del aluminio presente.

Tabla 4.11. Características químicas y fertilidad de los suelos

Régimen de humedad	Suelo	Superficie		Profundidad	Textura	pH	CIC	SB	Al	H	SAI	N	Fertilidad
		ha	%	(cm)			me/100gr	%	me/100gr		%	%	
Ustico	Oxic Ustropepts perfil tipico: # 3	2225	28	0 - 15	FAAr/FA	5,6	21,3	52,6	0,2	0,2	2	0,13	Limitaciones moderadas a fuertes
				15 - 40	A/FA	6,0	14,7	57,7	0,2	0,2	3	0,005	
				40 - 100	A	4,7	14,5	29,1	4,3*	4,2	59*	0,047	Fertilidad baja Toxicidad por aluminio
	Typic Eutropepts perfil tipico: # 2	1158	14	0 - 15	FAAr/FA	6,3	29,6	76,8	1,2	1,1	8	0,196	Limitaciones moderadas
				15 - 45	FAAr/FA	6,3	19,6	97,8	0,2	0,2	2	0,038	
				45 - 150	A/FA	6,3	19,5	75,7	0,2	0,2	2	0,032	Fertilidad moderada a baja
Udico	Oxic Dystropepts perfil tipico: # 1	4575	57	0 - 15	FAAr/FA	5,2	17,4	28,4	2,5	2,5	29	0,236	Limitaciones fuertes a severas
				15 - 60	A	4,9	15,5	12,0	5,7	5,6	73	0,135	
				> 60	A	4,9	15,7	10,4	5,4	5,2	67	0,132	Fertilidad muy baja Toxicidad por aluminio

Fuente: Pacheco y Fuentes (1998), Vera (1996)

4.4.2.3 Uso del suelo

4.4.2.3.1. Uso agropecuario y cobertura vegetal

El uso pecuario para 1986 estaba constituido mayormente por bosque con 4.145 ha (52%) y pasto para alimento de ganado vacuno con 3.873 ha (48%). Figura 4.17

Para estimar la superficie de bosque y pasto para 2005, se procedió a seleccionar e interpretar en un área de 2.700 ha que dispone de fotografía

aérea para 1983 y 1986, y se establece que se han talado 160 ha de bosque, para incorporarla a la explotación pecuaria. Si se afecta esta superficie por 2,97 (superficie de la cuenca, 8018 ha/superficie del área seleccionada, 2.700 ha), se obtiene 475 ha, que es el área total en tres años, es decir una tasa de cambio de bosque a pastos de 158 ha/año.

Esto quiere decir que después de 18 años (1987-2005), existiría una superficie de pasto que abarcaría el 86% de la cuenca (6875 ha), correspondiéndole el restante 14% al bosque intervenido (1143 ha), como se observa en la Tabla 4.12.

Las cifras estimadas, correspondientes a los porcentajes actuales de uso del suelo, no estarían alejadas de la realidad, puesto que según la encuesta por muestreo realizada por el Instituto Nacional de Estadística y Censo-INEC- en 1990, para establecer el uso del suelo, en la cuenca se encuentran alrededor o al interior las parcelas de muestreo Nº 245, 284, 288, 335 y 344 que totalizan 1.156 ha en las que se reporta que el pasto cultivado abarca un 65% de dicha superficie, mientras que a la categoría bosques y montes le corresponde el 19% y otro 15% de cultivos permanentes y transitorios, pero cuya superficie es mínima en el área de estudio, puesto que la agricultura generalmente es de consumo en finca, más que de tipo intensiva con fines comerciales. Ver Tabla 4.13

Figura 4.17. Mapa de Uso de Suelos y Cobertura Vegetal de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa

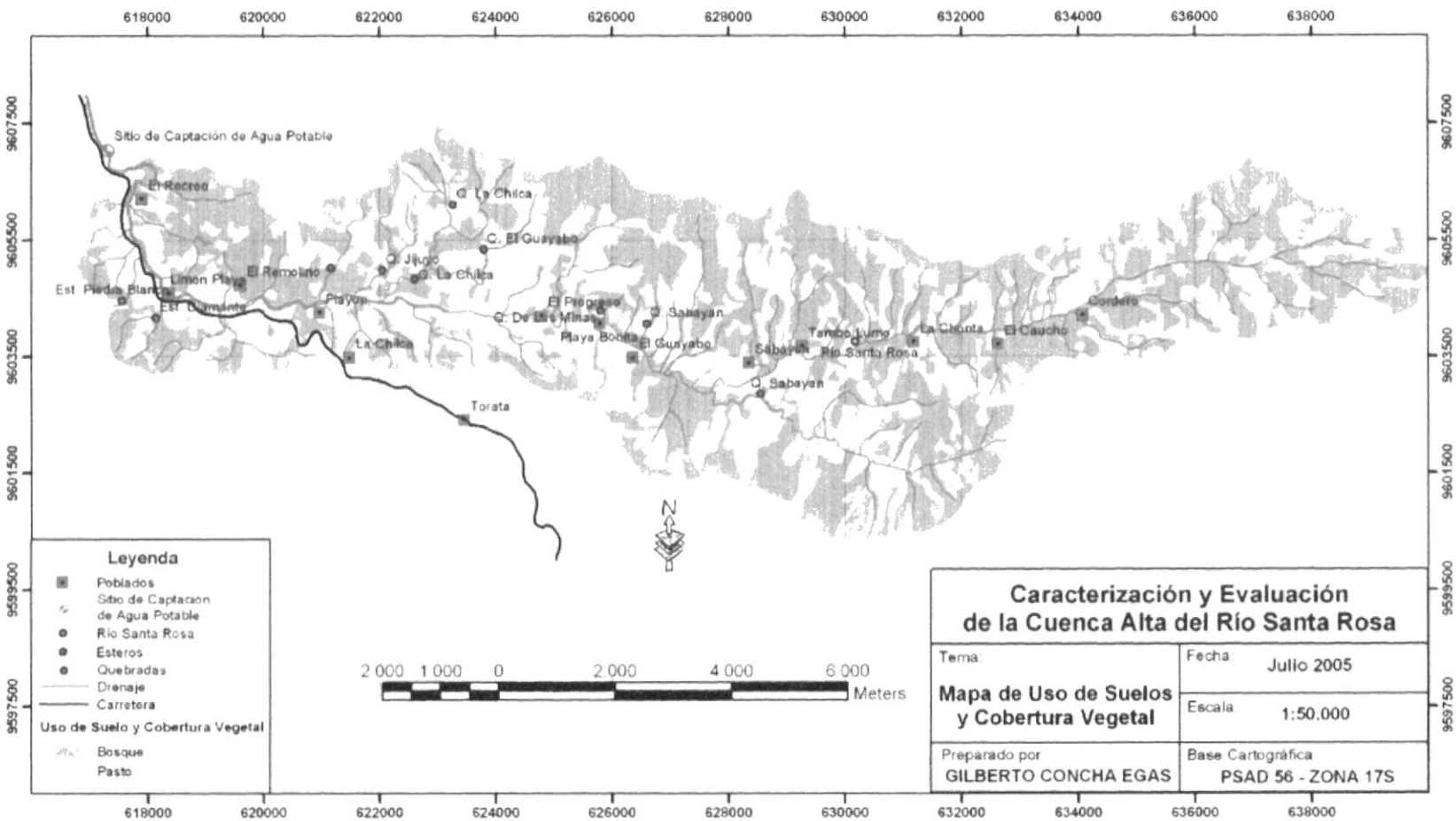


Tabla 4.12. Tasa de cambio estimado de bosque a pasto en la cuenca

Año	1983	1986	Tasa de cambio en 3 años (ha)	Tasa de cambio por año y ha	1986	1990	2005
Pasto	1117	1277	+ 160		3873 (48%)	4505 (56%)	6875 (86%)
Bosque	1583	1423	- 160	158	4145 (52%)	3513 (44%)	1143 (14%)
Total (ha)	**2700**	**2700**			**8018**	**8018**	**8018**

Además el Centro de Estudios Poblacionales -CEPAR- (1992), señala que en la Provincia de El Oro, la superficie de montes y bosques abarca el 30% del área provincial.

Adicionalmente a esta información se presentan en las Tablas 4.14 y 4.15 correspondiente al cantón Santa Rosa y a la Provincia de El Oro respectivamente, el número de UPAs[4] y superficies por categoría de uso del suelo por muestreo, correspondientes al último Censo Nacional Agropecuario realizado por el Instituto Nacional de Estadisticas y Censos, INEC, desde el 01 de octubre de 1999 hasta el 30 de septiembre de 2000, en la que se observa la continua disminución de hectáreas de montes y bosques. El porcentaje de montes y bosques para el cantón Santa Rosa señalado es del 10.2% y de 12.4% para la Provincia de El Oro. Por ende el cálculo estimado

[4] UPA = Unidad de Producción Agropecuaria, que tiene una extensión de tierra de 500 m^2 o mas, dedicada total o parcialmente a producción agropecuaria... (Ver definición en detalle www.inec.gov.ec)

de bosque a pasto indicado en la Tabla 4.12 dentro de la cuenca sería confirmado.

Tabla 4.13. Uso del suelo por muestreo de parcelas reportados por INEC (1990).

Parcela	UPAS	Total	USO DEL SUELO, ha						
Nº	Nº	ha	CT	CP	BA	PC	PN	MB	O
245	17	159,59	0,75	23,16		81,86	0,25	46,42	7,15
		100,00%	**0,47%**	**14,51%**		**51,29%**	**0,16%**	**29,09%**	**4,48%**
284	19	426		104,5	0,5	312,5		8,5	
		100,00%		**24,53%**	**0,12%**	**73,36%**		**2,00%**	
288	7	158,29		15,69	1,76	135,84		5,00	
		100,00%		**9,91%**	**1,11%**	**85,82%**		**3,16%**	
335	21	205,67		35,18	3	43,3		120	4,19
		100,00%		**17,11%**	**1,46%**	**21,05%**		**58,35%**	**2,04%**
344	14	206,82		0,5	0,5	160,7	4,03	37,59	3,5
		100,00%		**0,24%**	**0,24%**	**77,70%**	**1,95%**	**18,18%**	**1,69%**
TOTAL	78	**1156,37**	0,75	179,03	5,76	734,20	4,28	217,51	14,84
		100,00%	**0,07%**	**15,48%**	**0,50%**	**63,49%**	**0,37%**	**18,81%**	**1,28%**

CT, cultivo transitorio; **CP**, cultivo permanente; **BA**, barbecho; **PC**, pasto cultivado; **PN**, pasto natural; **MB**, monte y bosque; **O**, otros usos.

Fuente: INEC (1990).

Cabe mencionar que la metodología empleada por el INEC en el último Censo Nacional Agropecuario (1999-2000), para la realización de los censos se ha modificado notoriamente, en la actualidad no existen encuestas ni registros por parcelas como existieron en el Censo de 1990, por lo que no se pudo verificar el cambio existente de las parcelas de muestreo Nº 245, 284, 288, 335 y 344 que se ubicaban dentro la Cuenca Alta del Río Santa Rosa.

Tabla 4.14. Número de UPAs y superficies por categoría de uso del suelo por muestreo del cantón Santa Rosa reportados por INEC (1999-2000).

Categoría de uso principal de suelo	UPAs	Ha	%
Cultivos Permanentes	1584	11335	14,8
Cultivos Transitorios y Barbecho	283	523	0,7
Descanso	280	2518	3,3
Pastos Cultivados	625	29633	38,7
Pastos Naturales	68	793	1,0
Montes y Bosques	395	7800	10,2
Otros usos	2558	23948	31,3
TOTAL	3034	76550	100

Fuente: III Censo Nacional Agropecuario, INEC (2000)

Tabla 4.15. Número de UPAs y superficies por categoría de uso del suelo por muestreo de la Provincia de El Oro reportados por INEC (1999-2000).

Categoría de uso principal de suelo	UPAs	Ha	%
Cultivos Permanentes	15089	84294	18,4
Cultivos Transitorios y Barbecho	5494	9936	2,2
Descanso	1888	8848	1,9
Pastos Cultivados	8365	228799	50,1
Páramos	1916	16010	3,5
Pastos Naturales	102	781	0,2
Montes y Bosques	5005	56506	12,4
Otros usos	18911	51853	11,3
TOTAL	22115	457027	100

Fuente: III Censo Nacional Agropecuario, INEC (2000)

4.4.2.3.1.1 Actividad agropecuaria

La actividad agrícola en la cuenca es prácticamente de autoconsumo y se reduce a pequeñas "chacras" ya sea comunal o individual con: plátano, yuca, café, entre otros, siendo por lo tanto en la actividad ganadera uno de los principales usos que se dan a los suelos de la Cuenca Alta del río Santa Rosa y sitios aledaños. El tipo de ganado existente es de las razas Brahman, Bronswiss, Holstein para carne y leche.

El *pasto* es saboya (Panicum maximun), y/o estrella (Cynodon nienfluensis). A los pastizales se los conoce con el nombre de *invernas*, formados después de realizar la tala del bosque; sin embargo, se observa que no se la realiza, en terrenos con pendientes muy fuertes, de 60 a más del 70%, por constituir áreas de riesgo para los semovientes.

En la actualidad la expansión de las invernas depende de los dueños de los terrenos si es que desean realizarlo y disponen de terreno topográficamente apto para la circulación del ganado.

Las invernas, poseen solamente unos cuantos árboles como laurel de montaña o pachaco, entre otros con el objetivo que el ganado disponga de sombra y para que el pasto pueda desarrollarse satisfactoriamente.

Solamente en las quebradas mantienen la cobertura boscosa natural, por que de no ser así la fuente de agua se agotaría y el ganado no tendría a parte del río otro lugar para tomar agua.

4.4.2.3.1.2 Cobertura vegetal

La cobertura vegetal existente, o sea el bosque intervenido o secundario, está muy relacionada con el tipo de zona de vida identificadas en el área de estudio. De acuerdo a esto, en la cuenca alta del río Santa Rosa tenemos las siguientes formaciones vegetales o zonas:

Bosque muy seco Tropical (bms-T)

Bosque seco Tropical (bs-T)

Bosque húmedo pre-Montano (bh-PM)

Generalmente el bosque secundario se encuentra muy intervenido, y fragmentado en pequeñas áreas que generalmente se localizan entre las cotas 600 a 2.000 metros relacionadas con pendientes no transitables por el ganado. La mayor parte de las quebradas se encuentran con cobertura vegetal, debido a que el ganadero protege sus fuentes de agua.

a. Bosque muy seco tropical

Esta formación vegetal avanza desde aproximadamente la cabecera cantonal Santa Rosa, La Avanzada y aproximadamente hasta el poblado Limón Playa.

El tipo de vegetación característico de esta formación es la de sabanas: Cascol (Libidia corymbosa), Bototillo (Cochlospermun vitifolium), Niguito (Muntingia calabura), Ébano (Ziziphus thyrsiflora), Pasayo (Bombax ruizzi), Pechiche (Vitex gigantea), Fernán Sánchez (Triplaris guayaquilensis), Guásimo (Guazuma ulmifolia), Guachapelí (Pseudo samanea guachapele), Samán (Samanea saman).

La mayor actividad dentro del campo agropecuario es la ganadería y las áreas ocupadas para pastizales con este fin alternan con las de bosque en las colinas altas (C3) cercanos al río cuyas pendientes y disección del terreno lo permitan, además de que estas áreas de pastoreo alternan con otras ubicadas en las planicies costeras fuera de la cuenca alta y que son utilizadas durante la época lluviosa para luego en la seca, utilizar los pastizales de la cuenca alta del río.

Muy pocas áreas de cultivos a pequeña escala se observan, ya que las pendientes del terreno son muy fuertes.

b. Bosque seco Tropical

Esta formación se extiende gradualmente en el tramo del río Santa Rosa desde aproximadamente Limón Playa y la población El Guayabo, hasta la cota 300 metros.

Dadas las condiciones topográficas de colinas altas, disección fuerte, flancos cordilleranos altos, disminución de la temperatura que influye en el aumento de la humedad relativa, orientación de colinas y cordillera, hacen que se produzcan microclimas en los ambientes ecológicos, dando una cobertura vegetal muy frondosa especialmente en las laderas menos expuestas al sol o umbrías y, en las quebradas.

Aparecen con más frecuencia el Laurel de montaña (*Cordia alliodora*), Matapalos (*Ficus*), La espinosa mocora (*Astrocarium sp*), es mas frecuente el Fernán Sánchez (*Triplaris guayaquilensis*). En bosques secundarios, es típica la presencia de el Guarumo (*Cecropia sp.*), La balsa (*Ochroma lagopus*), el Laurel y Niguito.

c. Bosque húmedo Pre-Montano

Debido al relieve cordillerano alto y abrupto, la cobertura boscosa es mayor que las áreas de pastizales para pastoreo estacional. El estrato superior del bosque está representado por las palmas de los géneros Euterpe, Atlalea, Geonoma, Iriarta, Guilielma gasipaes, además de Cauchillo (*Sapium sp*); Matapalos, de los géneros Ficus y Caussapoa, Moral bobo (*Clarisia racemosa*).

En el estrato intermedio ocurren Helechos arbóreo (*Cyathea sp*), palmas de los géneros Phytélaphas y Bactris, Caña guadua (*Guadua angustifolia*).

En el soto bosque se encuentran Platanillo (Heliconia sp), Anturios (Anthurium sp).

En el bosque secundario se dan Guarumo plateado (Cecropia sp), Laurel de montaña (Cordia alliodora), Aliso (Alnus jorullensis).

4.4.2.3.2 Otros usos

Actualmente no existe un aprovechamiento turístico en relación a algún vestigio arqueológico o atractivo paisajístico que esté relacionado con el

bosque secundario existente, más bien hay un uso intensivo relativo a balnearios de fin de semana o de días festivos localizado en los sitios Playón y Limón Playa, donde existe una infraestructura rústica de comedores.

Con excepción de los centros poblados de Sabayán, El Guayabo, Playa Bonita, la Chilca, El Playón, El Remolino, Limón Playa y El Recreo, no existen áreas significativas dedicadas a proyectos de construcción de viviendas o fincas vacacionales.

CAPÍTULO 5

5. ANALISIS CARTOGRAFICO DEL DETERIORO FISICO AMBIENTAL POR EROSION HIDRICA

5.1. Generalidades

La pérdida de suelo por erosión puede constituir un grave problema en la agricultura de regiones montañosas, resultando de enorme importancia la determinación de áreas de riesgo para el establecimiento de medidas preventivas. En este campo, los SIG son una herramienta de gran utilidad al permitir la combinación de diversas variables distribuidas en el territorio;

además, el empleo de otras herramientas de análisis espacial como la Teledetección y la Geoestadística, permite resultados más ajustados a la realidad que los obtenidos por los procedimientos clásicos.

A continuación se describe la metodología seguida para la elaboración de la *Cartografía de Estados Erosivos* de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa, mediante la aplicación de la ecuación paramétrica propuesta por FAO/PNUMA/UNESCO (1980), que considera la intervención de factores ambientales en la degradación del suelo como los factores de agresividad climática, suelo, topográfica y uso del suelo.

5.2. Materiales y métodos

La planificación hidrológica y gestión integral de una cuenca requiere la utilización conjunta de una serie de datos topográficos, climáticos e hidrológicos y de información fisiográfica incluyendo la red de drenaje, vegetación, litología y suelos, asociados al dominio de la cuenca.

Se desarrollaron tareas de recolección de datos fisiográficos, y con aplicación de herramientas como los Sistema de Información Geográfica (SIG), empleando el Software ArcGis se realiza el procesamiento de la base de datos y se elaboró de una base de datos georreferenciada raster.

El SIG sirve como herramienta de trabajo para el proceso y representación de la información, y para el enlace con la ecuación para estimar la erosión hídrica y la obtención de datos cuantitativos de pérdida de suelo superficial en la cuenca. La secuencia de pasos para al análisis cartográfico del deterioro físico ambiental por erosión hídrica es:

1. Recopilación y evaluación de la información básica disponible: cartas topográficas, catastrales, geológicas, de suelos, datos climáticos y meteorológicos, fotografías aéreas e Imágenes satelitarias, datos de campo sobre uso actual del suelo y datos socioeconómicos regionales.
2. Confección de una base de datos cuali-cuantitativos de campo identificando situaciones de erosión hídrica en la cuenca.
3. Diseño y ampliación de la base de datos anteriormente mencionada, a partir de la distribución geográfica-cartográfica, caracterizando cada situación problema y cada uno de los factores que intervienen en la ecuación.
4. Desarrollo de técnicas de digitalización de mapas primarios por medio del software ArcGis.
5. Determinación de cada factor que interviene en la ecuación a través de un mapa (imagen raster).

6. Procesamiento de la información cartográfica en el SIG y diseño del modelo cartográfico.
7. Obtención de la cartografía de degradación por erosión hídrica de la cuenca hidrográfica.

5.3. Descripción del trabajo y aplicación SIG

A partir de la aplicación de la ecuación paramétrica propuesta por FAO/PNUMA/UNESCO (1980), para estimar la erosión hídrica, que considera la intervención de factores ambientales en la degradación del suelo, mediante la siguiente expresión:

$$D=f(R, S, T, U)$$

Donde D=degradación del suelo; R=factor de agresividad climática; S=factor de suelo; T=factor topográfico; U=factor de uso del suelo

Según López (1995) la resolución de esta ecuación, da una indicación numérica de la velocidad de degradación. Los valores de los factores R, S, T y U están en razón inversa al grado de resistencia con respecto a la degradación de modo que, mientras mayor sea el factor numérico asignado, mayor será la degradación resultante.

5.4. Mapas Temáticos

5.4.1. Pendientes

Las zonas elevadas de la cuenca se encuentran hacia el Este y se observan en el Modelo Digital del Terreno (MDT) de color blanco y lila, la mayor altura es de 2200 m.s.n.m., como se presenta en la Figura 5.1. Las zonas menos elevadas de la cuenca se encuentran hacia el este y se observan en el MDT de color celeste, la menor altura de la cuenca es de 100 m.s.n.m. Se presenta en la Figura 5.2 una vista en 3D del MDT.

A partir del MDT se obtiene el mapa de pendientes en porcentaje de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa, que se presenta en la Figura 5.3. Con la calculadora de mapas (Raster Calculator) de ArcGis Spatial Analyst se realiza la delimitación y clasificación según el rango de pendientes que se presenta en la Tabla 5.1.

Figura 5.1. Modelo Digital del Terreno (MDT) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa

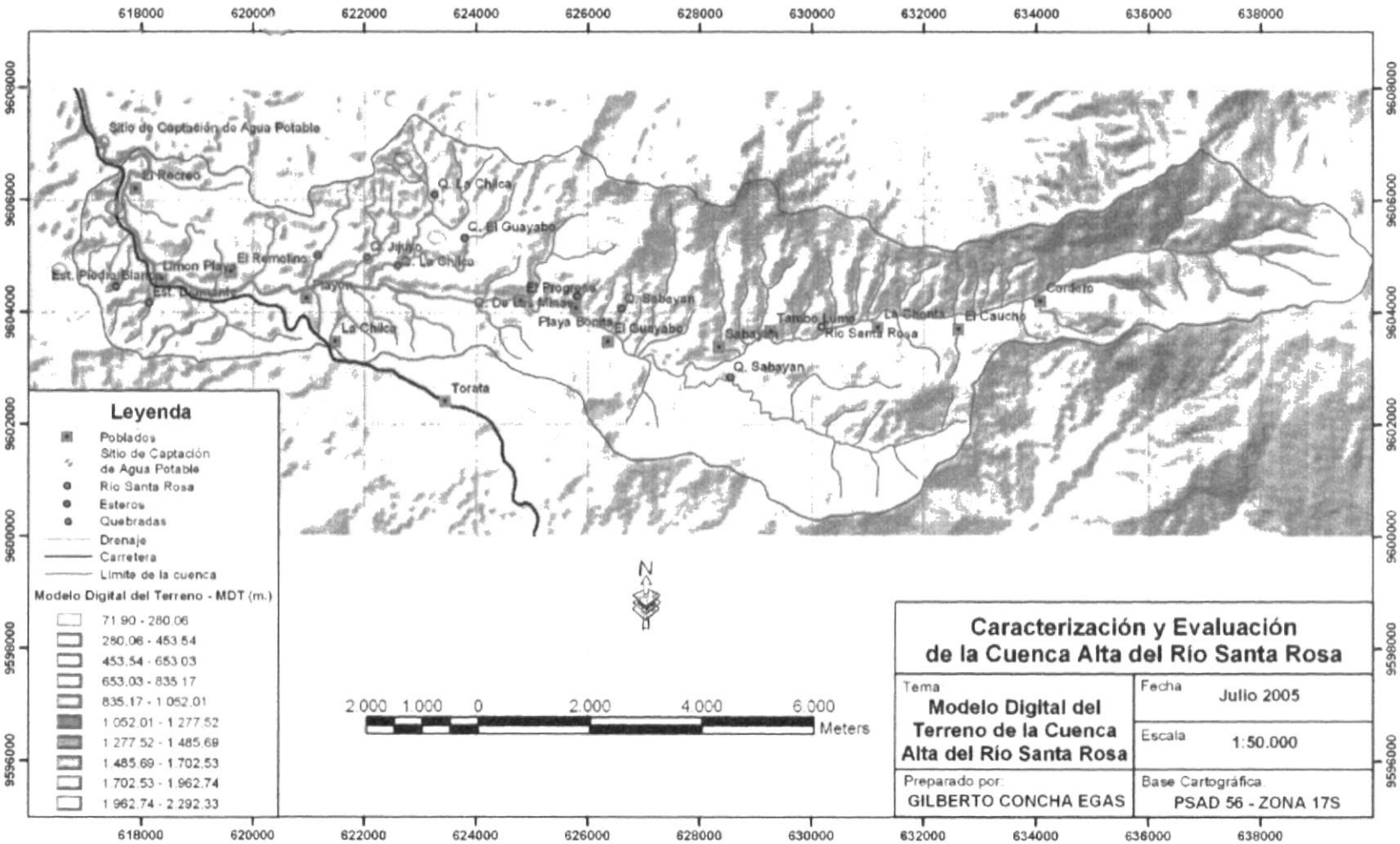


Figura 5.2. Vista en 3D del Modelo Digital del Terreno (MDT) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa

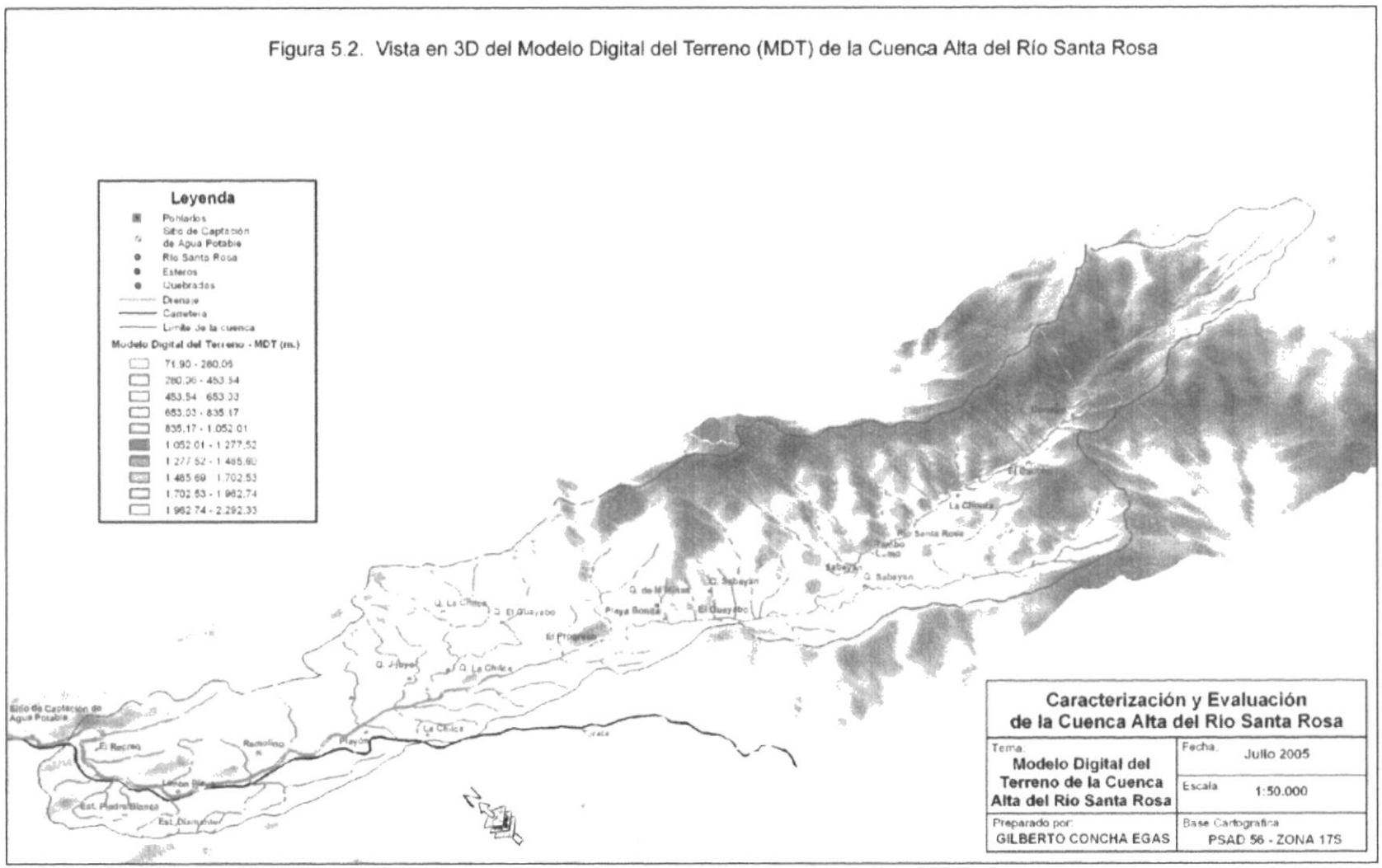


Figura 5.3. Mapa de Pendientes de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa

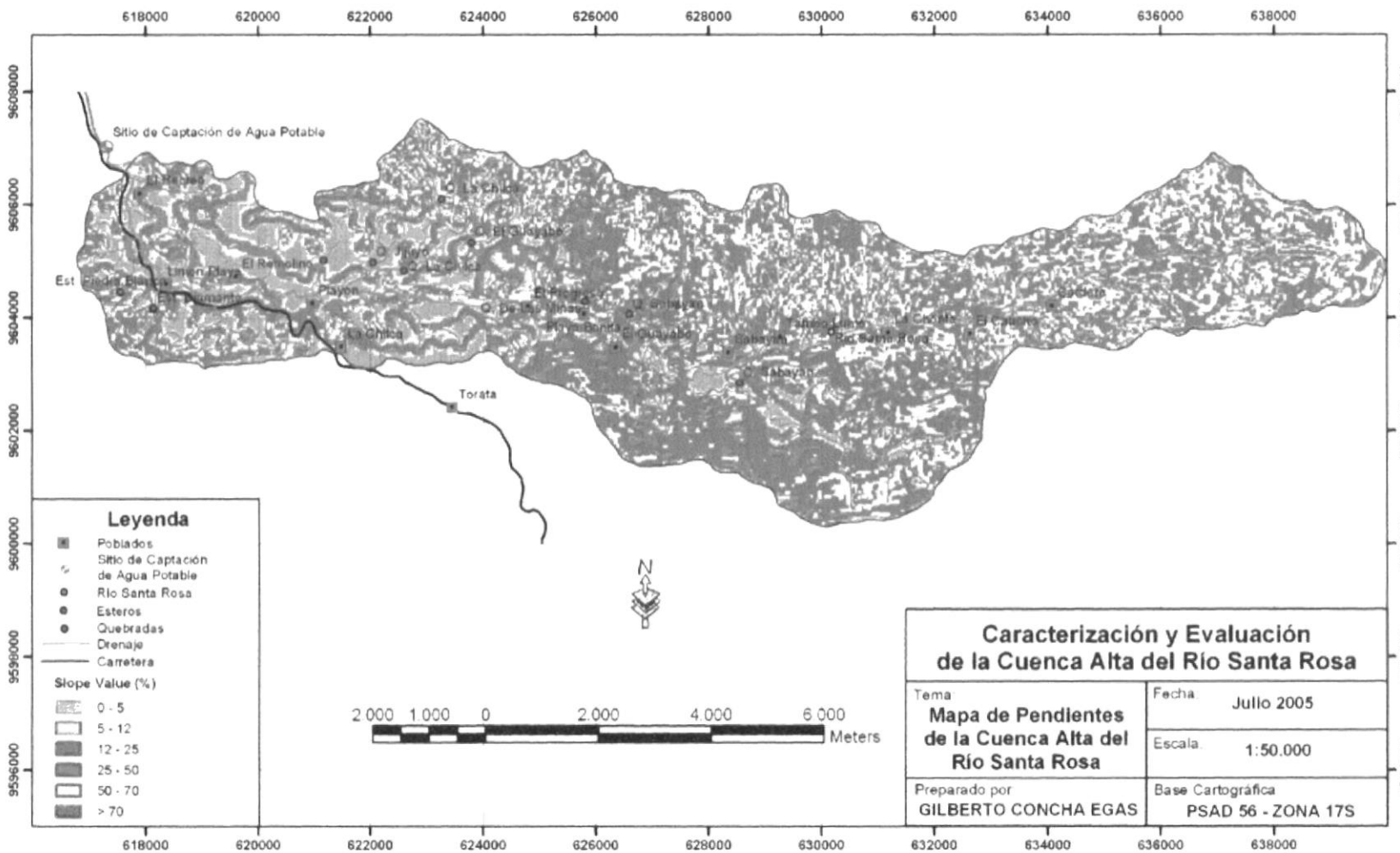


Tabla 5.1. Expresiones empleadas para delimitar, clasificar y calcular las superficies de rangos de pendientes con la calculadora de mapas (Raster Calculator) de ArcGis Spatial Analyst

Rango	Expresión para delimitar y clasificar	Respuesta Lógica	Conteo Celdas	Área (ha)
0-5	([dem_slope_p] >= 0) & ([dem_slope_p] <= 5)	0	78544	-
		1	10543	948,87
5-12	([dem_slope_p] > 5) & ([dem_slope_p] <= 12)	0	81455	-
		1	7632	686,88
12-25	([dem_slope_p] > 12) & ([dem_slope_p] <= 25)	0	75751	-
		1	13336	1200,24
25-50	([dem_slope_p] > 25) & ([dem_slope_p] <= 50)	0	53939	-
		1	35148	3163,32
50-70	([dem_slope_p] > 50) & ([dem_slope_p] <= 70)	0	72907	-
		1	16180	1456,2
>70	[dem_slope_p] > 70	0	82839	-
		1	6248	562,32
Área Total de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa				8017,83

dem_slope_p = Pendiente del Modelo Digital del Terreno en Porcentaje, **CellSize** (Tamaño de celda)=30x30 m=900m^2=0.09 ha, **Respuesta Lógica** = 0, 1 (Falso, Verdadero)

5.4.2. Red hidrográfica

La red hidrográfica está formada por cursos de agua permanentes y temporales, con redes de drenaje dendrítico, subparalelo, angular, circular y paralelo, tal como se indica en el Capitulo IV en la descripción de unidades geomorfológicas. El curso de agua más importante de la cuenca es de régimen permanente y se llama Río Santa Rosa. La longitud total de los cursos es de 148,107 Km.

El escurrimiento superficial tiene un sentido Este – Oeste, según la distribución de alturas observadas en el Modelo Digital del Terreno (MDT), tal como se presenta la Vista en 3D del MDT en la Figura 5.2

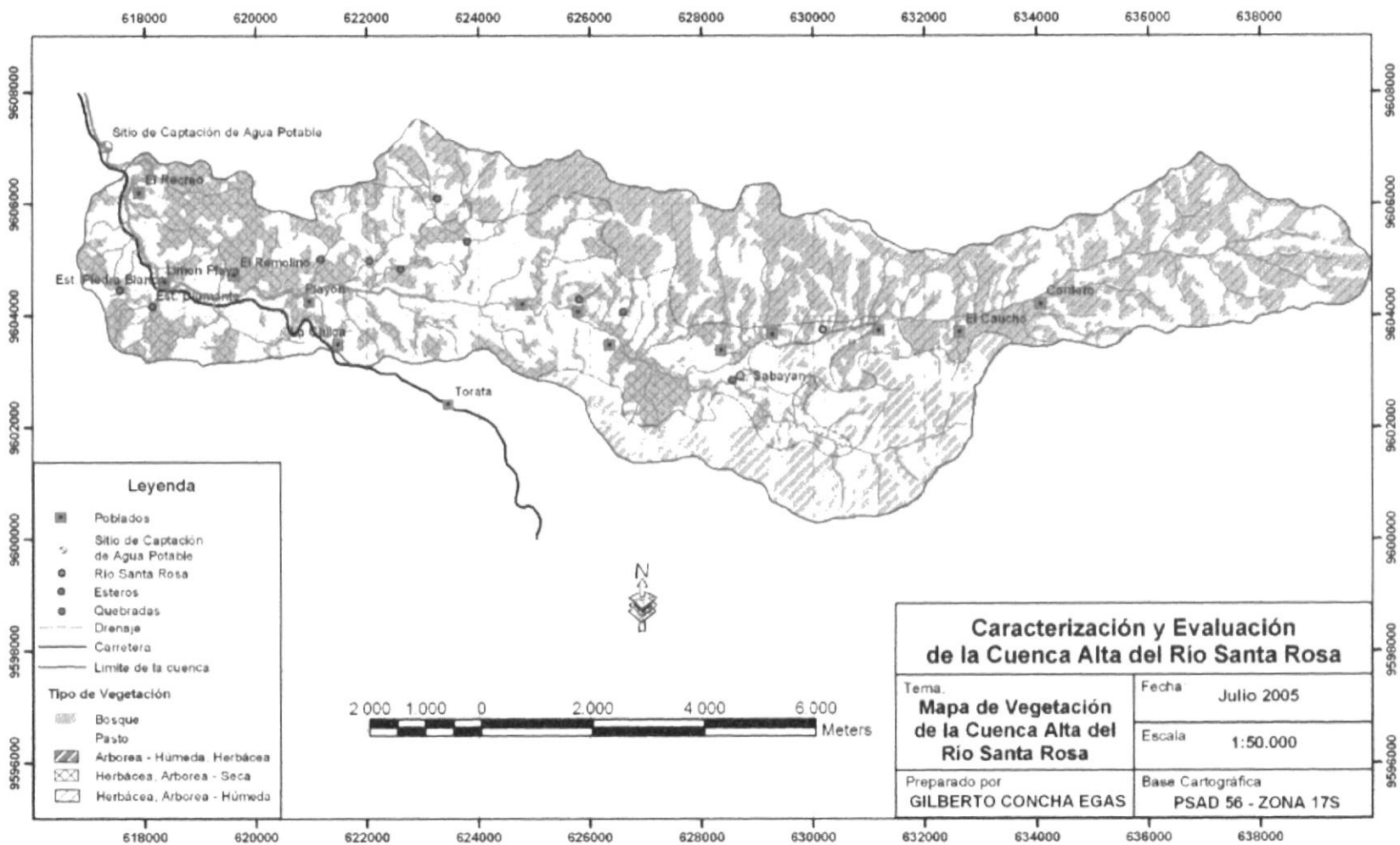
5.4.3. Vegetación

En la cuenca se encuentran mayormente dos tipos de vegetación: bosque y pastizal, este último sirve de alimento para ganado vacuno, tal como se presenta en la Figura 5.4. El tipo de pastizal que predomina en la cuenca es el tipo Chileno, pero también se presentan los tipos Sirena, Janeiro y Elefante.

La cobertura vegetal existente, o sea el bosque intervenido o secundario, esta muy relacionada con el tipo de zona de vida que han sido identificadas en la cuenca, tal como se indica en el Capitulo IV en la identificación y delimitación de las zonas de vida según la clasificación de Holdridge.

Generalmente el bosque secundario se encuentra muy intervenido, y fragmentado en pequeñas áreas que generalmente se localizan entre las cotas 600 a 2.000 metros, relacionadas con pendientes de difícil acceso para el ganado. La mayor parte de las quebradas se encuentran con cobertura vegetal ribereña.

Figura 5.4. Mapa de Vegetación de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa



5.4.4. Litología

La mayor parte de la composición litológica de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa es un conjunto de rocas metamórficas que constituyen un basamento uniforme y antiguo que pertenecen a varios grupos de edades, composición e historias metamórficas diferentes, también en menor extensión hay pequeñas zonas de contacto con formaciones geológicas constituidas por rocas volcánicas, Feininger (1975). Las formaciones y litologías presentes en la cuenca se presentan en la Tabla 5.2 y en la Figura 4.12, y se las describen en detalle en la sección de Geología y Geomorfología del Capitulo IV.

Tabla 5.2. Formaciones Geológicas y Litologías de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa.

FORMACIONES GEOLÓGICAS	LITOLOGÍA	TEXTURA DE SUELOS QUE ORIGINAN
GRUPO TAHUIN	**ROCAS METAMORFICAS**	
Unidad PzTa:	Anfibolita Gneisica (a)	Suelos de textura francos en superficie y subsuelo, substrato de textura franco fina.
Unidad PzT_4:	Gneis (gr)	
	Migmátita Granítica (x)	
FORMACION RASPAS	Esquistos Pelíticos (q)	
	Esquistos Glaucofánicos	
	Eclogitas (e)	
SERPENTINA EL TORO	Serpentina (us)	
FORMACION CELICA	**ROCAS VOLCANICAS**	
	Andesita (n)	Suelos de textura franco en superficie, subsuelo y substrato de textura arcillosa.

5.5. Erosión y sedimentación

5.5.1. Erosión hídrica potencial y actual

Para estimar la erosión hídrica se emplea la ecuación paramétrica propuesta por FAO/PNUMA/UNESCO (1980):

$$D=f\ (R,\ S,\ T,\ U)$$

D, degradación del suelo

R, factor de agresividad climática

S, factor de suelo

T, factor topográfico

U, factor de uso del suelo

5.5.1.1. Índice de erosividad de la lluvia

Para calcular el índice de erosividad de la lluvia (R) se emplea la ecuación modificada del índice de Fournier (Hadley, Lal, Onstand et al, 1985):

$$R = \sum_{i=1}^{n=12} \frac{Pi^2}{P}$$

R, índice de erosividad de la lluvia

pi, precipitación mensual en mm

P, precipitación anual en mm

En la Tabla 5.3, se presentan los índices de erosividad de la lluvia, calculados a partir de los valores medios de precipitación correspondientes a las series de datos reportados de las estaciones Paccha, Las Chilcas, Saracay, Marcabelí, Tahuín en la presa y Santa Rosa.

El valor medio de R es 207, excluyendo la estación de Santa Rosa por no encontrarse en el rango de alturas que ocurren en la cuenca; los índices extremos de erosividad, como 170 a 283, son calculados para 654 a 1888 milímetros anuales de lluvia y a una altitud entre los 129 a 1540 m.

Al no disponer de mayor información para mayores alturas y precipitaciones, se ha realizado una correlación de tipo lineal, con un r=0,94 (Anexo L), estimándose entre los 1800 a 2000 metros de altura, un R medio de 312 para 2150 a 2307 milímetros de lluvia anual. En la Figura 5.5 se presenta un Mapa de Índices de Erosividad de la Lluvia.

Tabla 5.3. Índices de erosividad de la lluvia

ESTACION	IEP	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	ALTURA (m)
PACCHA	P (mm)	346,5	399,7	270,1	345,3	135,3	29,9	12,7	25,0	26,7	53,4	53,6	190,0	1888,1	1540
	R	***64***	***85***	***39***	***63***	***10***	***0,5***	***0,1***	***0,3***	***0,4***	***2***	***2***	***19***	***283***	
LAS CHILCAS	P (mm)	135,3	314,6	231,4	120,0	121,0	51,2	49,0	32,7	23,4	34,4	23,4	33,5	1169,9	320
	R	***16***	***85***	***46***	***12***	***13***	***2***	***2***	***1***	***0,5***	***1***	***0,5***	***1***	***179***	
SARACAY	P (mm)	199,4	220,6	223,6	174,0	123,7	38,4	13,4	11,3	18,0	14,9	26,2	56,1	1119,5	180
	R	***36***	***43***	***45***	***27***	***14***	***1***	***0,2***	***0,1***	***0,3***	***0,2***	***1***	***3***	***170***	
MARCABELI	P (mm)	167,9	291,2	324,1	259,2	119,7	43,4	13,3	14,0	20,6	16,3	24,5	83,2	1377,3	520
	R	***20***	***62***	***76***	***49***	***10***	***1***	***0,1***	***0,1***	***0,3***	***0,2***	***0,4***	***5***	***225***	
TAHUIN	P (mm)	201,9	258,1	138,8	94,1	24,3	7,2	4,4	3,1	2,9	5,5	5,4	27,8	773,5	129
	R	***53***	***86***	***25***	***11***	***1***	***0,07***	***0,03***	***0,01***	***0,01***	***0,04***	***0,04***	***1***	***177***	
STA ROSA	P (mm)	47,1	156,4	195,5	83,6	36,7	19,0	8,0	12,8	27,2	31,5	18,8	17,2	653,8	10
	R	***3***	***37***	***58***	***11***	***2***	***1***	***0,1***	***0,3***	***1***	***2***	***1***	***0,5***	***117***	
R_{MEDIA}		**38**	**72**	**46**	**33**	**9**	**1**	**0,5**	**0,3**	**0,3**	**1**	**1**	**6**	**207**	
R_{MAXIMO}		64	86	76	63	14	2	2	1	1	2	2	19	**283**	
R_{MINIMO}		3	37	25	11	1	0,07	0,03	0,01	0,01	0,04	0,04	0,45	**170**	

Una vez calculado el mapa del índice de erosividad de la lluvia, se procede a estimar el riesgo de erosión hídrica, ocasionado por la ausencia o escasa cobertura vegetal protectora del suelo.

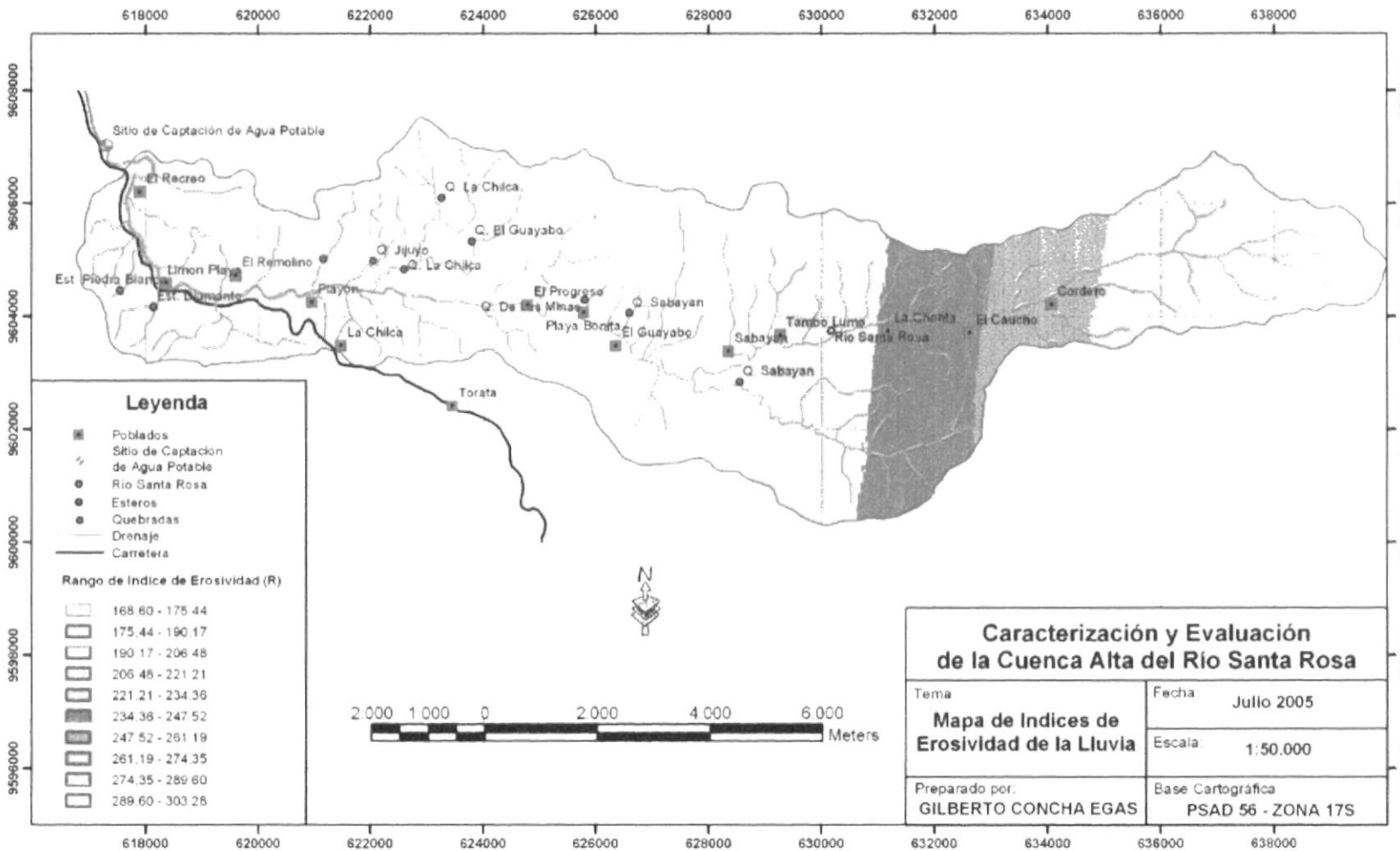
5.5.1.2. Riesgo de erosión hídrica

El riesgo de erosión o erosión potencial, se obtiene empleando la expresión:

$$Ep = R \times C_{tex} \times C_{tax} \times C_{pend}$$

Ep, riesgo de erosión en ton/ha/año

Figura 5.5. Mapa de Indices de Erosividad de la Lluvia (R) de la Cuenca Alta del Rio Santa Rosa



R, índice de erosividad de la lluvia

C_{tex}, coeficiente por textura del suelo

C_{tax}, coeficiente por clasificación taxonómica del suelo

C_{pend}, coeficiente de pendiente del suelo

Es necesario determinar cada factor de la expresión de erosión potencial (Ep) y generar el respectivo mapa (imagen raster), para luego calcular los valores de erosión potencial multiplicando los mapas correspondientes, a través de la calculadora de mapas (Raster Calculator) de ArcGis Spatial Analyst. Se determina el tamaño de cada píxel (celda) de 30 m. x 30 m.

Inicialmente se debe generar un mapa base de toda la superficie de la cuenca, se delimita la cuenca a través de un polígono y se lo transforma en un mapa (imagen raster) a través de la extensión ArcGis Spatial Analyst, y se asigna el valor de 1 a cada píxel (celda).

Para determinar los coeficientes C_{tex} y C_{tax}, se utiliza la información levantada por PRONAREG (1989) y la preparada por Vera (1996) para CODELORO. Los suelos de la cuenca del río Santa Rosa son mayormente de textura arcillosa, pertenecientes a los órdenes taxonómicos Alfisol e Inceptisol.

El mapa del coeficiente C_{tax} se obtiene a partir de la clasificación taxonómica de la cuenca, se asigna cada orden taxonómico el respectivo coeficiente C_{tax}, para los órdenes taxonómico de la cuenca el C_{tax} = 1, es decir cada píxel del mapa recibirá el valor de 1, esto se realiza a través de la multiplicación del mapa base de la cuenca por 1 en la calculadora de mapas (Raster Calculator). El mapa de C_{tax} se presenta en la Figura 5.6

El suelo de la cuenca es mayormente arcilloso, por ende para obtener el mapa de coeficiente C_{tex} se asigna a cada píxel de la cuenca el valor de 0,1 esto se realiza a través de la multiplicación del mapa base de la cuenca por 0,1 en la calculadora de mapas (Raster Calculator). El mapa de C_{tex} se presenta en la Figura 5.7

Por otra parte, para establecer el mapa del coeficiente C_{pend}, se emplea el Mapa de Pendientes generado a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT), y se realiza la clasificación de rango de pendientes tal como se indica en la Tabla 5.1, y se asigna cada rango el coeficiente C_{pend} correspondiente tal como se indica en la Tabla 5.4, a través de la multiplicación del mapa base de la cuenca por cada coeficiente C_{pend}. El mapa de C_{pend}, se presenta en la Figura 5.8

Figura 5.6. Mapa de Coeficiente por clasificación taxonómica (Ctax) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa

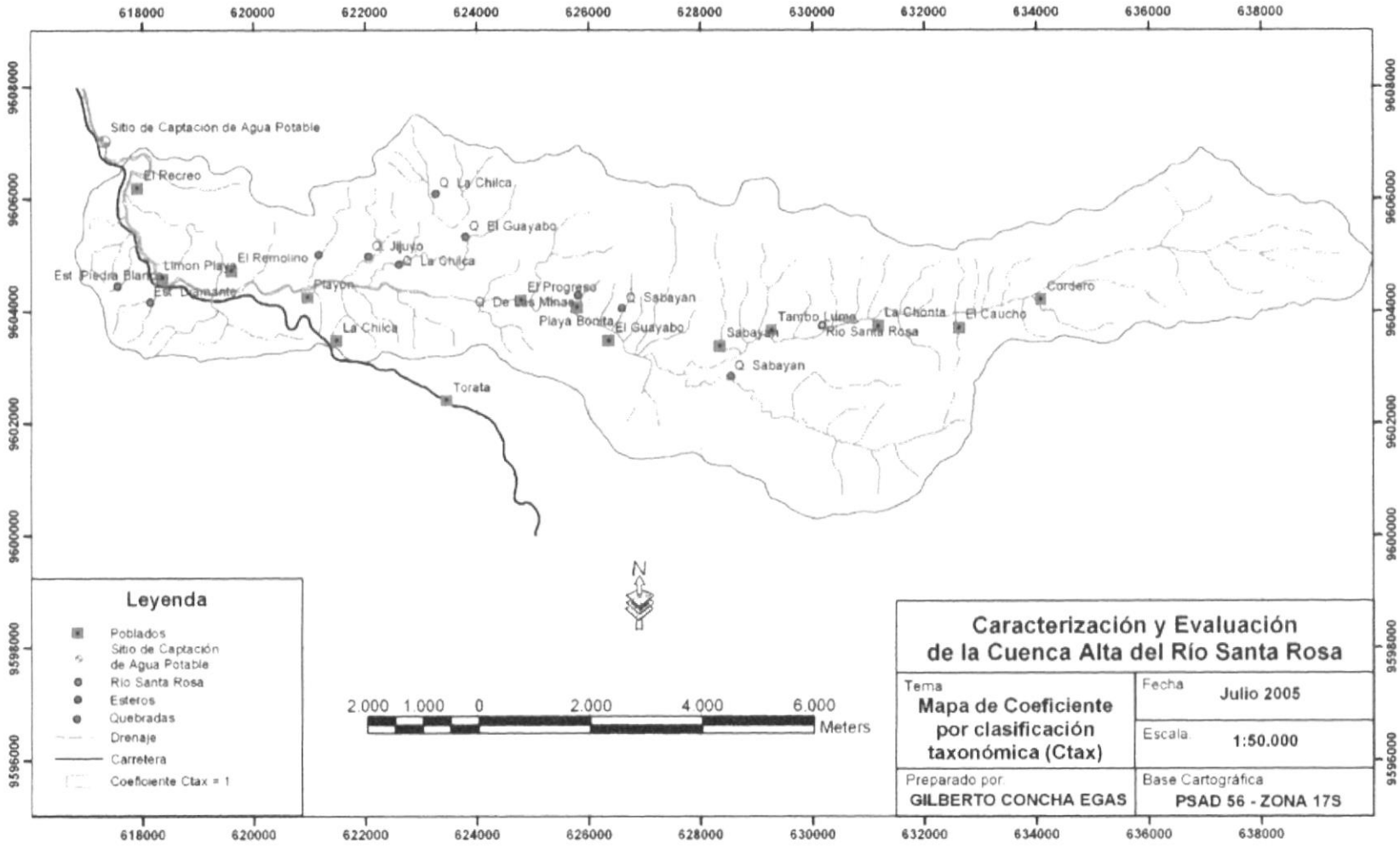


Figura 5.7. Mapa de coeficiente por textura del suelo (Ctex) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa

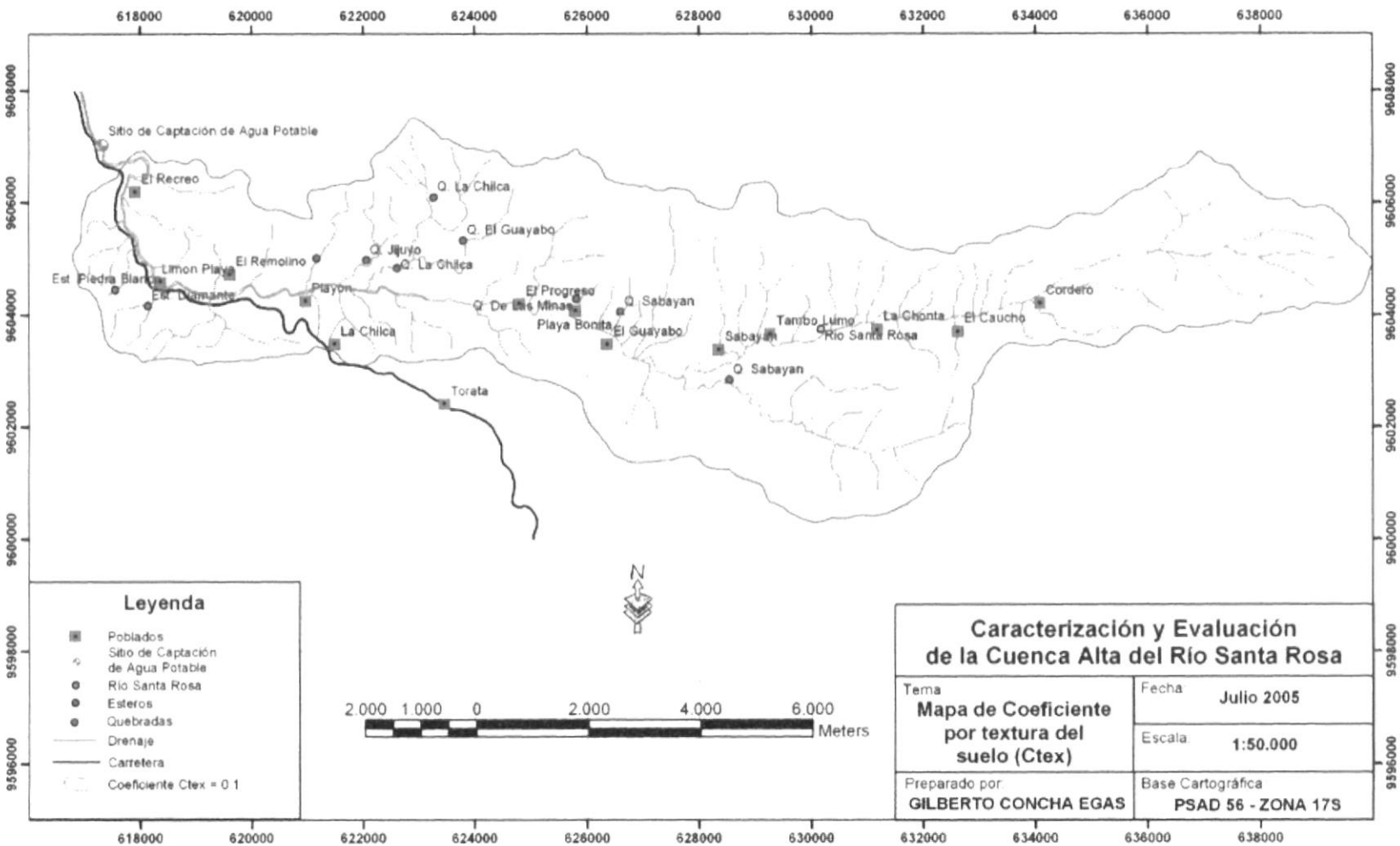


Tabla 5.4. C_{pend} asignado a cada rango de pendientes a través de la calculadora de mapas (Raster Calculator) de ArcGis Spatial Analyst

Rango de Pendientes (%)	0-5	5-12	12-25	25-50	50-70	>70
C_{pend}	0,15	0,35	2,0	3,5	8,0	11,0

Finalmente se procede a determinar el mapa de erosión potencial (Ep), a través de la multiplicación de todos los mapas en la calculadora de mapas (Raster Calculator) de ArcGis Spatial Analyst. Los mapas multiplicados son los siguientes:

- Índice de erosividad de la lluvia (R), Figura 5.5
- Coeficiente por clasificación taxonómica (C_{tax}), Figura 5.6
- Coeficiente por textura del suelo (C_{tex}), Figura 5.7
- Coeficiente de pendiente del suelo (C_{pend}), Figura 5.8

Figura 5.8. Mapa de coeficiente de pendiente del suelo (Cpend) de la Cuenca Alta del Rio Santa Rosa

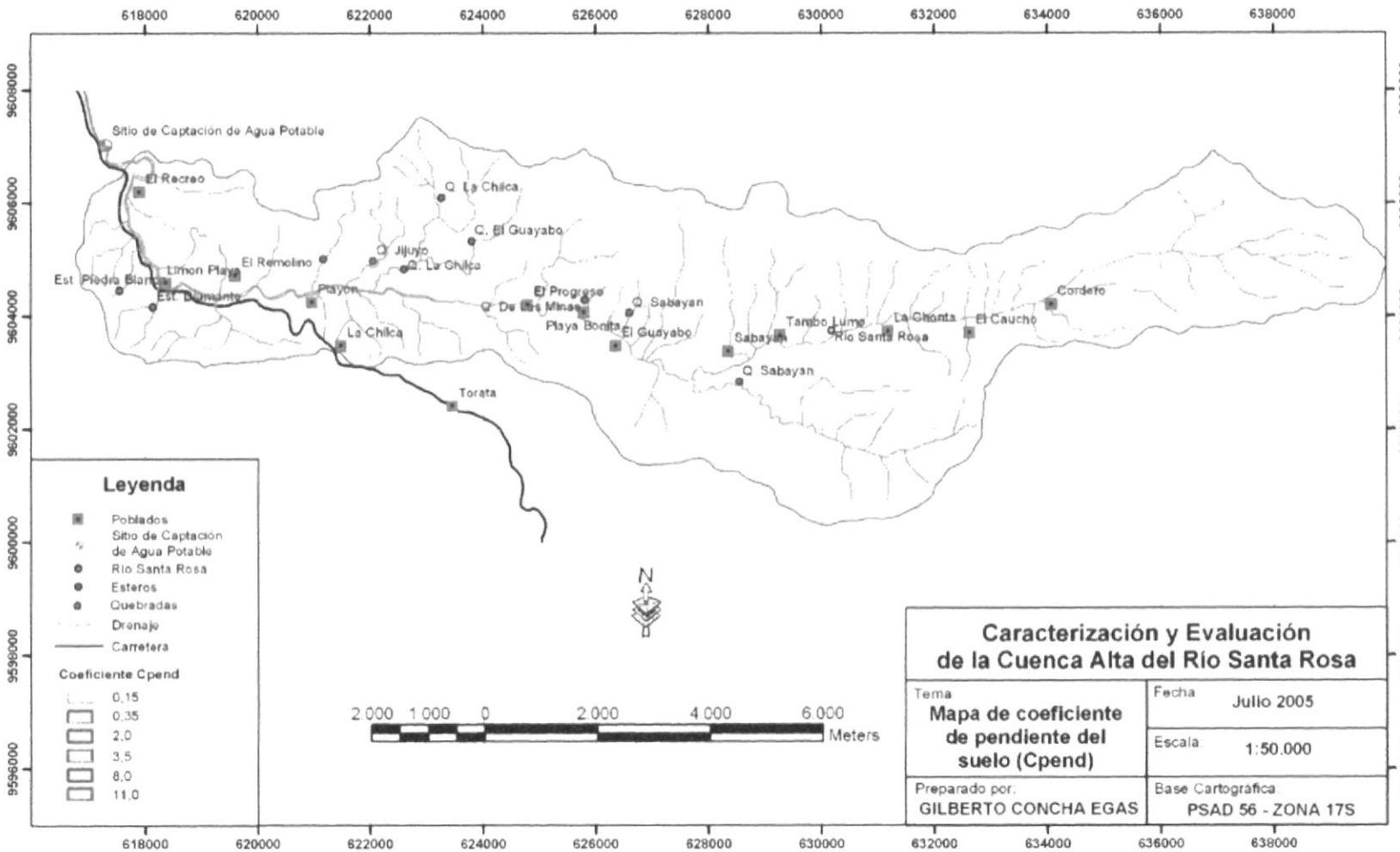
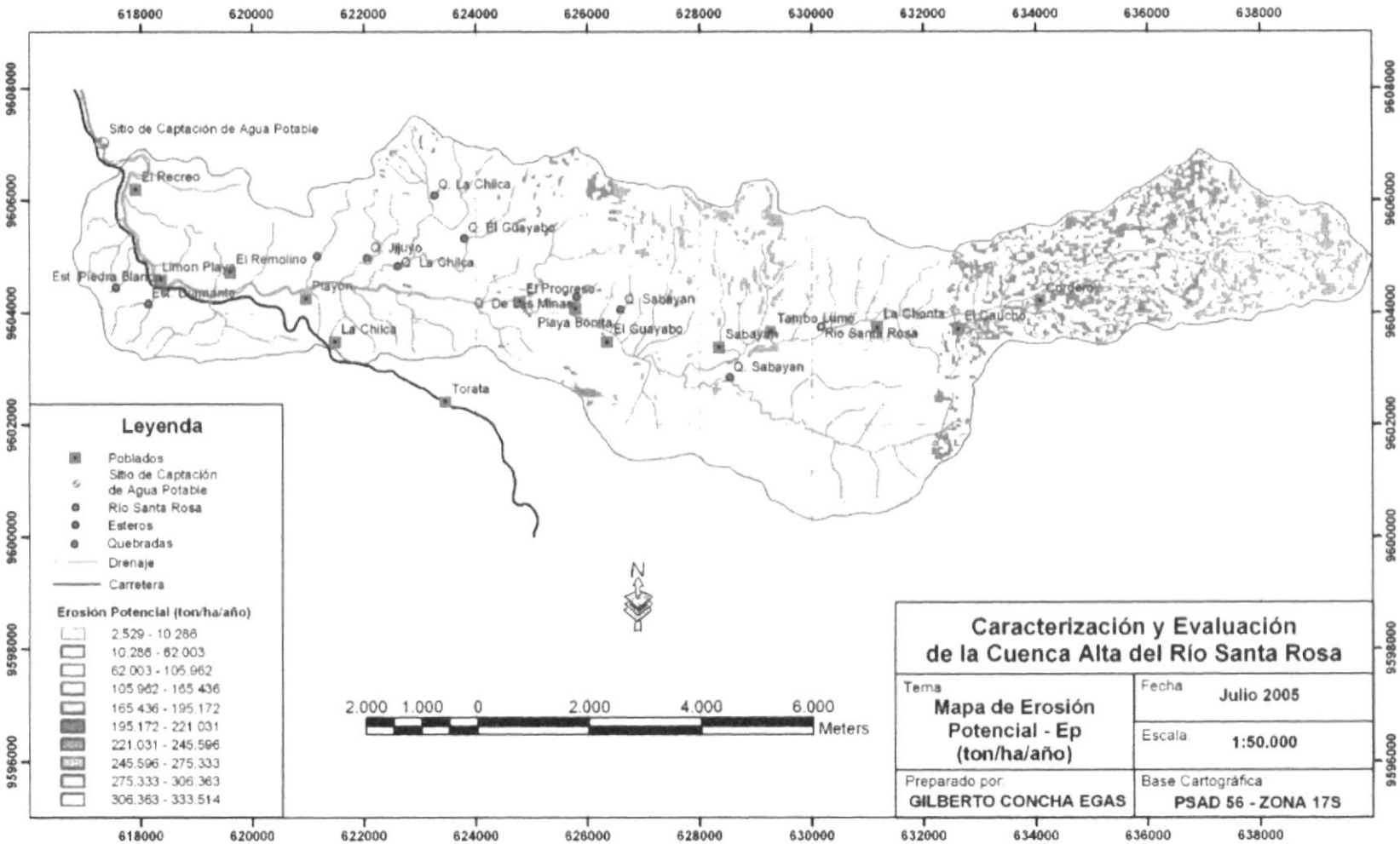


Figura 5.9. Mapa de Erosión Potencial - Ep (ton/ha/año) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa



La erosión potencial en la cuenca va desde 2,529 a 333,514 tn/ha/año, según muestra el Mapa de Erosión Potencial de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa, Figura 5.9.

A partir de la escala de fragilidad de erosión potencial que se presenta en la Tabla 5.5, se realiza la clasificación de la erosión potencial de la cuenca, que se presenta en la Figura 5.10. La clasificación y delimitación de áreas se realiza con la calculadora de mapas (Raster Calculator) de ArcGis Spatial Analyst, tal como se presenta en la Tabla 5.6

Tabla 5.5. Escala de fragilidad de erosión potencial

Nivel	Ep (tn/ha/año)	mm./año
Prácticamente nula	< 10	< 0,6
Escasa	10 – 15	0,6 – 0,9
Media	15 – 50	0,9 – 3,3
Elevada	50 – 100	3,3 – 6,1
Muy elevada	100 – 200	6,1 – 13,3
Muy alta	> 200	> 13,3

Fuente: Libro de descripción y cuantificación de procesos de regresión, degradación, desertización y desertificación, de Bartolomé Pons Rullán

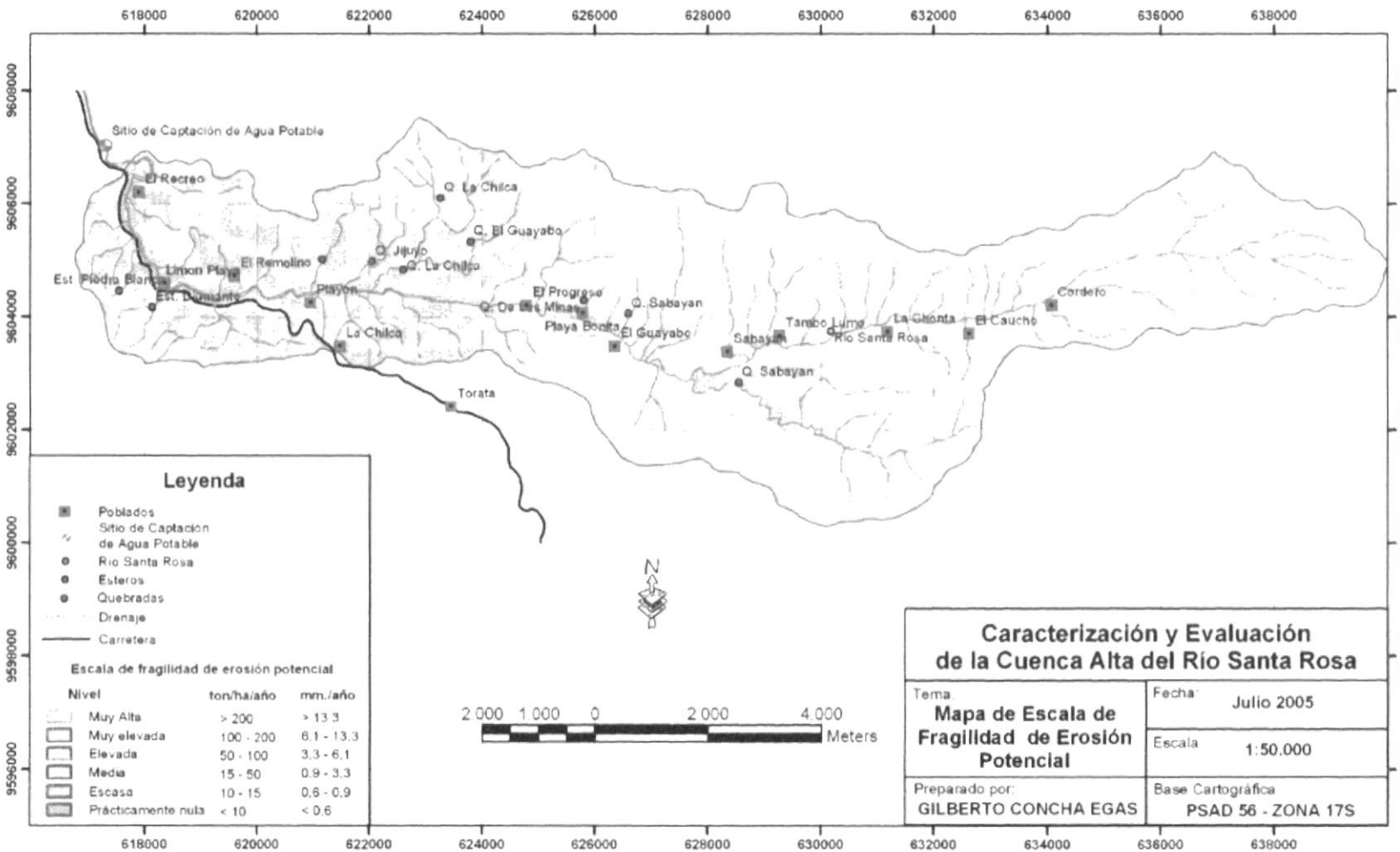
Tabla 5.6. Expresiones empleadas para delimitar, clasificar y calcular las superficies de rangos de escalas de fragilidad de erosión potencial con la calculadora de mapas (Raster Calculator) de ArcGis Spatial Analyst

Rango	Expresión para delimitar y clasificar	Respuesta Lógica	Conteo Celdas	Área (ha)	%
< 10	[Erosion Potencial] <= 10	0	70965	-	-
		1	18122	1630,98	20,34
10-15	([Erosion Potencial] > 10) & ([Erosion Potencial] <= 15)	0	89034	-	-
		1	53	4,77	0,06
15-50	([Erosion Potencial] > 15) & ([Erosion Potencial] <= 50)	0	76738	-	-
		1	12349	1111,41	13,86
50-100	([Erosion Potencial] > 50) & ([Erosion Potencial] <= 100)	0	54252	-	-
		1	34835	3135,15	39,10
100-200	([Erosion Potencial] > 100) & ([Erosion Potencial] <= 200)	0	77015	-	-
		1	12072	1086,48	13,55
> 200	[Erosion Potencial] > 200	0	77431	-	-
		1	11656	1049,04	13,09
Área Total de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa				8017,83	100%

Erosion Potencial = Mapa de erosión potencial, **CellSize** (Tamaño de celda)=30x30 m=900m^2=0.09 ha, **Respuesta Lógica** = 0, 1 (Falso, Verdadero)

Según la escala de fragilidad de erosión potencial de la Tabla 5.5, los niveles de erosión elevados están a partir de 50 tn/ha/año; en la Cuenca Alta del Río Santa Rosa el 65,74% del área de la cuenca tiene niveles de erosión superiores a dicho límite.

Figura 5.10. Mapa de escala de fragilidad de erosión potencial de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa



5.5.1.3. Erosión actual

La erosión actual se obtiene, utilizando la expresión:

$$Ea = Ep \times C_{uso}$$

Ea, erosión actual en ton/ha/año

C_{uso}, coeficiente de uso del suelo

Para establecer el C_{uso}, se procedió a la revisión y análisis, de la información acerca del uso del suelo que ha sido publicada por PRONAREG (1985), a escala 1:200.000, en base a la interpretación de fotografías aéreas tomadas entre 1976 a 1983. También se consultó el trabajo de Vera (1996), quién empleó información del CLIRSEN (1989) para elaborar cartografía temática de varias cuencas en la Provincia de El Oro, siendo la fecha de toma de la fotografía aérea durante 1986.

Además se fotointerpretó el uso de suelo y cobertura vegetal de las fotografías aéreas disponibles en el Instituto Geográfico Militar (IGM) a escala 1:60.000, con fecha de toma en los años 83 y 86; esto debido al nivel bajo de la información recopilada.

Es necesario establecer dos escenarios, si se considera el porcentaje estimado de cobertura del suelo para los usos de pasto y bosque. La Tabla 5.7 presente los coeficientes de uso del suelo en relación al uso y porcentaje de cobertura vegetal que se pueden seleccionar. La erosión actual de la cuenca se determina en forma global y no cartográfica.

Tabla 5.7. Coeficientes de uso del suelo en relación al uso y porcentaje de cobertura vegetal

Uso del Suelo	% de Cobertura del Suelo					
	0-1	**1-20**	**20-40**	**40-60**	**60-80**	**80-100**
Pasto	0,45	0,32	0,2	0,12	0,07	0,02
Bosque con Sotobosque	0,45	0,32	0,16	0,18	0,01	0,006
Bosque sin Sotobosque	0,45	0,32	0,2	0,1	0,06	0,01

Fuente: López (1995)

El escenario 1, considera que para 1986 la superficie de pasto abarca el 51,7% y la de bosque el 48,3% del área de la cuenca. El C_{uso} para una cobertura estimada de 80 al 100%, es 0,02 para pasto y 0,006 correspondiente a bosque, tal como se presenta en la Tabla 5.8. Se determina que la erosión actual presenta valores entre 0,937 a 1,559 ton/ha/año. La pérdida de suelo será entre 0,078 a 0,130 mm/año, tal como se presenta en Tabla 5.9. El valor medio estimado es 1,140 tn/ha/año (0,095 mm/año).

Tabla 5.8. Coeficiente de uso de suelo (C_{uso}) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa, Escenario 1

Uso de Suelo	C_{USO}	% Superficie	C_{USO} de la cuenca
Bosque	0.006	0,4830	0.0132
Pastos	0.002	0,5170	

C_{USO} de la cuenca = (C_{USO} x %Superficie) Pasto + (C_{USO} x %Superficie) Bosque

Tabla 5.9. Estimación de erosión actual de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa, Escenario 1

Índice de erosividad de la lluvia (R)	Erosión Potencial (Ep)	C_{USO}	Erosión Actual (Ea= EP x C_{uso})	
	tn/ha/año		tn/ha/año	mm/año
Máximo (R_{MAX})	117,787	0,0132	1,559	0,130
Medio (R_{MED})	86,155		1,140	0,095
Mínimo (R_{MIN})	70,755		0,937	0,078

Para el escenario 2, se selecciona una superficie de 2700 ha. que dispone la fotografía aérea para 1983 y 1986. Se fotointerpreta y delimita las superficies de pastos y bosque, y se calcula por diferencia entre ambas fotografías el área de bosque talado, que es de 160 ha.

Si se afecta esta superficie por 2,97 (superficie de la cuenca, 8018 ha/superficie del área seleccionada, 2700 ha), se obtiene 475 ha, que es el área total en tres años, lo que significa una tasa de cambio de bosque a pastos de 158 ha/año.

Esto quiere decir que después de 18 años (1987-2005), existiría una superficie de pasto que abarcaría el 86% de la cuenca (6875 ha), correspondiéndole el restante 14% al bosque intervenido (1143 ha), tal como se indica en el Capítulo IV en la sección de Uso de Suelo.

En la Tabla 5.10 se presenta el C_{uso} para una cobertura de suelo entre 40 al 60%. Se determina que la erosión actual presenta valores entre 8,29 a 13,8 ton/ha/año, valores muy bajos, considerando los rangos de erosión potencial calculados. La pérdida de suelo, será entre 0,69 a 1,15 mm/año, tal como se presenta en Tabla 5.11. El valor medio estimado es 10,10 ton/ha/año (0,84 mm/año).

Tabla 5.10. Coeficiente de uso de suelo (C_{uso}) de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa, Escenario 2

Uso de Suelo	C_{USO}	% Superficie	C_{USO} de la cuenca
Bosque	0,1	0,14	0,1172
Pastos	0,12	0,86	

C_{USO} de la cuenca = (C_{USO} x %Superficie) Pasto + (C_{USO} x %Superficie) Bosque

Tabla 5.11. Estimación de erosión actual de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa, Escenario 2

Índice de erosividad de la lluvia (R)	Erosión Potencial (Ep)	C_{USO}	Erosión Actual (Ea= EP x C_{uso})	
	tn/ha/año		tn/ha/año	mm/año
Máximo (R_{MAX})	117,787	0,1172	13,8	1,15
Medio (R_{MED})	86,155		10,10	0,84
Mínimo (R_{MIN})	70,755		8,29	0,69

5.5.2. Pérdida de suelo y fertilidad

En la Tabla 5.12 se presentan para valores extremos y medios calculados considerando los escenarios de uso del suelo correspondientes a la situación sin cobertura vegetal o erosión potencial y con coberturas que fluctúan entre 40 al 60% y del 80 al 100%.

Tabla 5.12. Pérdida del suelo de la cuenca bajo diferentes escenarios

Escenarios		Perdida de Suelo Anual	
		tn/ha	mm.
Sin cobertura vegetal (Erosión potencial)	Max	117,787	9,8
	Med	86,155	7,2
	Min	70,755	5,9
Cobertura entre 80-100% de bosque y pasto (Erosión actual)	Max	1,559	0,130
	Med	1,140	0,095
	Min	0,937	0,078
Cobertura entre 40-60% de bosque y pasto (Erosión actual)	Max	13,8	1,15
	Med	10,10	0,84
	Min	8,29	0,69

La pérdida de suelo anual bajo diferentes escenarios en la Cuenca Alta del Río Santa Rosa va desde 0,078 mm. hasta 1,15 mm. con cobertura de bosque y pasto; en el caso de no existir cobertura vegetal el rango va desde 5,9 mm. hasta 9,8 mm.

La pérdida de suelo puede comprender un riesgo potencial de pérdida de fertilidad debido a la materia orgánica vinculada (humus) y al riesgo que podría provocar la erosión hídrica en un lavado intenso del nitrógeno, fósforo, potasio (NPK) en el suelo.

5.5.3. Sedimentos

Según OEA la fuente principal de producción de sedimentos, es la misma cuenca, debido a la erosión hídrica.

También son fuentes, los taludes y cauces de ríos, el sistema de drenaje, la vialidad, los derrumbes y deslizamientos, entre otros. El transporte de sedimentos ocurre tanto en suspensión (carga lavada, $\varnothing$<0.06 mm) y de fondo ($\varnothing$>0.06 mm).

Los registros de la estación hidrométrica Santa Rosa en El Vado durante el período de 1979 a 1993, presentan que la cantidad de sólidos en suspensión

en la cuenca van desde 0,22 a 1,96 tn por día para caudales aforados entre 0,139 a 1,206 m^3/s, aunque los muestreos realizados se han registrado para períodos de menor escorrentía en la cuenca, tal como se presenta en la Tabla 5.13

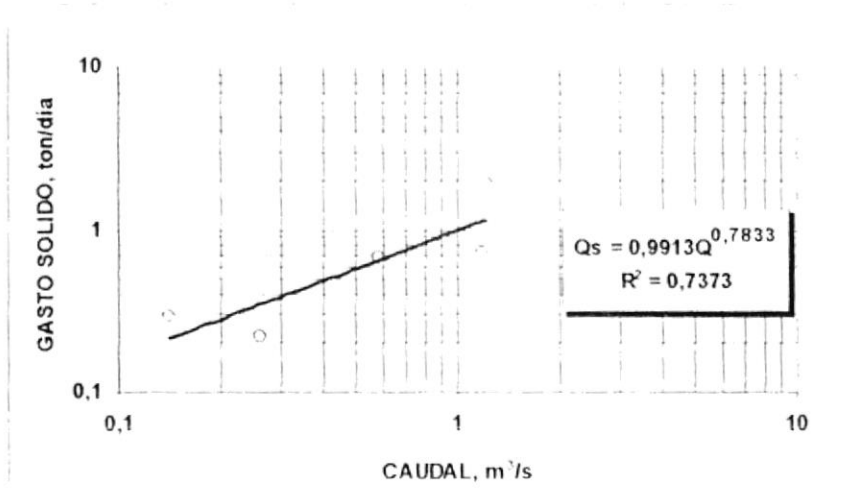
Tabla 5.13. Gasto sólido para la estación limnimétrica Santa Rosa en El Vado

Fecha	Caudal, Q (m^3/s)	Concentración, Co ($Kg./m^3$)	Gasto Sólido, Qs (Kg./s)	Gasto Sólido, Qs (tn/dia)
Mayo-15-1979	1,206	0,0188	0,0227	1.96
Octubre-15-1979	0,261	0,0096	0,0025	0.22
Marzo-17-1980	0,576	0,0138	0,0079	0.68
Octubre-4-1990	1,166	0,0071	0,0083	0.72
Noviemnbre-23-1990	0,139	0,0247	0,0034	0.29

Fuente: INAMHI

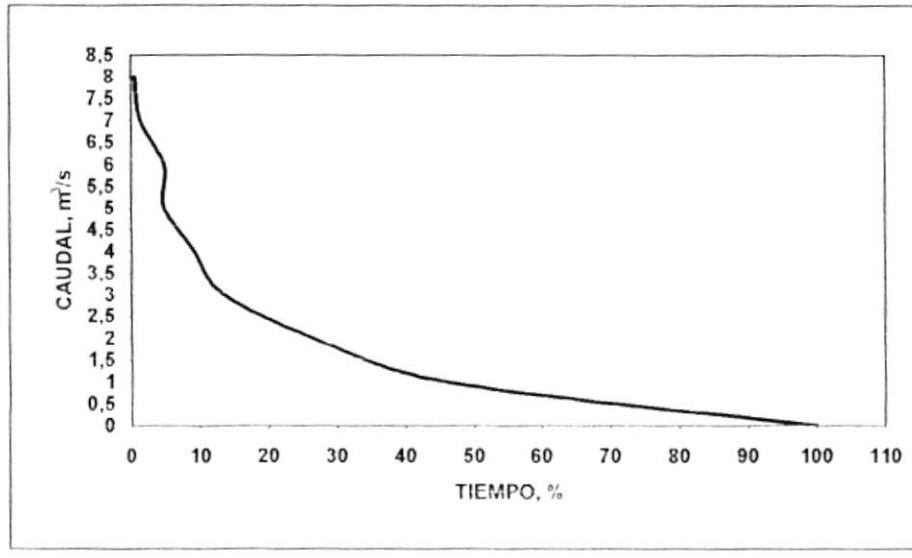
Los valores de caudal aforado y gasto sólido se correlacionaron, obteniéndose una expresión potencial como se presenta en la Figura 5.11.

Figura 5.11. Curva de gasto sólido para la estación hidrométrica Santa Rosa en El Vado



En la Tabla 5.14 se presenta la estimación de carga de sedimentos en suspensión. Este cálculo se realiza considerando la curva de duración de caudales, que se presenta en la Figura 5.12, de la que se obtiene los diferentes porcentajes de tiempo (P), el caudal respectivo (Q). Luego se determina el caudal medio (Qm) a partir de la semisuma de los valores de caudal (Q), correspondientes tanto para el inmediato superior e inferior del porcentaje de tiempo (P), por ejemplo (4,9+3,7)/2 = 4,75 m^3/s.

Figura 5.12. Curva de duración de caudales para el río Santa Rosa en El Vado.



Los porcentajes de tiempo (P), se incrementan (IP) en 5%, que multiplicado por 365 días del año, dan un equivalente de incremento constante (t) de 18,25 días.

Para obtener el gasto sólido, Qs (tn/día), se emplea la expresión obtenida **$Qs = 0,9913Q^{0,7833}$**. Con el caudal medio (Qm) se multiplica por el factor t (días) y da como resultado el gasto sólido promedio, Qs (tn).

La carga total de sedimento en suspensión es igual a la sumatoria de los gastos sólidos, que da como resultado 382,1 tn, que significa un arrastre unitario anual de sedimento en suspensión (qs) de 4,8 tn/km^2/año.

Para obtener el arrastre total (Qt) se multiplica la carga total de sedimento por el factor estimado de 1,20 que significa un incremento del 20% por arrastre de fondo, que da como resultado 458,5 tn/año.

Finalmente el arratre total unitario (qt) es igual al arrastre total (Qt) dividido por la superficie de la cuenca igual a 80,18 km^2, es decir se obtiene una tasa igual a 5,7 tn/km^2/año.

Tabla 5.14. Cuantificación de la carga de sedimentos en suspensión y total, para la estación linnimétrica, Santa Rosa en El Vado

Q (m^3/s)	P (%)	Qm (m^3/s)	IP	t (dias)	Qs (tn/dia)	Qs (tn)
4,9	5	4,75	0,05	18,25	3,36	56,7
3,7	10	3,15	0,05	18,25	2,44	45,5
2,8	15	2,60	0,05	18,25	2,10	38,2
2,4	20	2,25	0,05	18,25	1,87	34,1
2,1	25	1,93	0,05	18,25	1,66	30,2
1,75	30	1,58	0,05	18,25	1,41	25,8
1,4	35	1,29	0,05	18,25	1,21	22,1
1,18	40	1,10	0,05	18,25	1,07	19,5
1,02	45	0,96	0,05	18,25	0,96	17,5
0,9	50	0,85	0,05	18,25	0,87	15,9
0,79	55	0,75	0,05	18,25	0,79	14,4
0,7	60	0,65	0,05	18,25	0,71	12,9
0,6	65	0,55	0,05	18,25	0,62	11,3
0,5	70	0,47	0,05	18,25	0,55	10,0
0,44	75	0,40	0,05	18,25	0,48	8,7
0,35	80	0,32	0,05	18,25	0,40	7,3
0,28	85	0,24	0,05	18,25	0,32	5,9
0,20	90	0,04	0,05	18,25	0,22	4,1
0,10	95	0,05	0,05	18,25	0,09	1,7
0,01	100					
Superficie de la Cuenca Alta del Rio Santa Rosa (Km^7)						80,18
Carga total de sedimento en suspensión (Qs), tn.						382,1
Arrastre unitario anual de sedimento en suspensión (qs), tn/km^7/año						4,8
Arrastre total (Qt) en tn/año						458,5
Arrastre total unitario (qt) en tn/km^7/año						5,7

5.6. Resultados

Si se compara entre el valor de sedimentos en suspensión de 4,8 tn/km^2/año = 0.048 tn/ha/año calculado a partir de la estación linnimétrica Santa Rosa en El Vado, con los valores medios estimados de pérdida de suelo de la cuenca bajo diferentes escenarios (Tabla 5.12) que son de 1,140 tn/ha/año y 10,10

tn/ha/año, se debe considerar que la curva de gasto sólido obtenida es para rangos de caudales bajos, obtenidos en época de menor escorrentía, ya que de los 5 registros encontrados para la estación linnimétrica Santa Rosa en El Vado durante el período 1979 a 1993, 3 registros se realizaron durante los meses de octubre y noviembre, cuando los caudales son bajos, otro registro es en mayo a la salida de la estación lluviosa y el último en marzo durante la época húmeda donde se generan elevadas escorrentías; en conclusión los valores de caudal aforado corresponden a la época seca.

CAPITULO 6

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) representan una de las principales herramientas de análisis de sistemas hidrográficos, pues consiste un ambiente de almacenamiento, tratamiento y manipulación de datos, aplicación de modelos y procesamiento de series temporales, donde es posible visualizar escenarios pasados, actuales y simular escenarios futuros.

La caracterización y evaluación de cuencas hidrográficas a partir de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite la gestión integral de la información de una cuenca y la posibilidad de incorporar nuevos procedimientos diseñados a la medida de las necesidades de los usuarios, tal como herramientas de análisis espacial como la Teledetección y Geoestadística que permiten resultados más ajustados a la realidad que los obtenidos por procedimientos clásicos.

Las ventajas del trabajar con un SIG, es la presentación de resultados de forma gráfica (secuencia de mapas) y en tablas, de tal forma que ayudan a la comprensión e interpretación de resultados de una manera rápida y sencilla.

Existe la necesidad de desarrollar más ampliamente las capacidades técnicas en la determinación de las áreas más propensas a sufrir algún tipo de fenómeno natural (deslizamientos, inundaciones, sequías, etc.), desarrollando sistemas de predicción y advertencia, mediante la recopilación y análisis de la información meteorológica y cartográfica existente.

Los SIG ofrecen gran cantidad de beneficios al dar soporte en la toma de decisiones antes, durante y después de un fenómeno natural, además del análisis de un sistema, diagnóstico del medio físico, modelaje, impactos y en

la planificación de cuencas hidrográficas, lo que permitirá comprender los peligros a los que podrá estar sometida una comunidad.

De acuerdo a las características naturales de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa como: pendiente, drenaje superficial, el tipo de cobertura vegetal, los suelos arcillosos y el substrato de rocas metamórficas impermeables de la cuenca, el fenómeno erosivo no se da en niveles peligrosos en condiciones normales. Pero en cambio es necesario controlar la influencia humana a través de la actividad agrícola y minera en la zona, que podría incrementar la erosión.

La cantidad de sedimentos en suspensión calculados a partir de la estación linnimétrica Santa Rosa en El Vado son de 0.048 tn/ha/año y los valores medios estimados de pérdida de suelo con la aplicación de los SIG bajo diferentes escenarios de cobertura vegetal son de 1,140 tn/ha/año y 10,10 tn/ha/año. Se debe considerar que la curva obtenida de gasto sólido de la estación linnimétrica Santa Rosa en El Vado es para rangos de caudales bajos, obtenidos en época de menor escorrentía, ya que de los 5 registros encontrados para la estación linnimétrica, durante el período 1979 a 1993, 3 registros se realizaron durante los meses de octubre y noviembre, cuando los caudales son bajos, otro registro es en mayo a la salida de la estación lluviosa y el último en marzo durante la época húmeda donde se generan

elevadas escurrimientos. En conclusión los valores de caudal aforado corresponden a la época seca.

Finalmente, la obtención de parámetros básicos cómo longitud de cauces, pendientes máximas, etc.; y parámetros avanzados como la erosión potencial y actual de una cuenca hidrográfica, constituyen siempre un aporte de considerable valor para el desarrollo de una región.

6.2. Recomendaciones

Mejorar e incrementar la red de estaciones meteorológicas, de tal manera que se puedan almacenar todos los datos automáticamente y evitar que estos se pierdan o no sean registrados.

Crear una base de datos de toda la información cartográfica y meteorológica del país, con el fin de ayudar a futuros investigadores a realizar trabajos de mayor detalle.

Fomentar la investigación conjunta entre instituciones gubernamentales para optimizar y mejorar los potenciales datos a ser recopilados.

Fomentar la caracterización y evaluación de cuencas hidrográficas en el país.

Realizar un mapeo general de las principales cuencas hidrográficas del país cada cierto tiempo, a partir de imágenes satelitales, con el objetivo de mejorar los coeficientes de uso de suelo, clasificación taxonómica, erosividad y pendiente del suelo; que intervienen en el cálculo de la erosión hídrica.

Los bajos caudales en estiaje constituyen una pauta para la programación en serie en el río Santa Rosa de almacenamiento superficial (represas de baja a media magnitud), con el fin de asegurar el abastecimiento hídrico al área de influencia inmediata.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACOSTA J, Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN), "Erosión de suelos: causas, efectos, impactos y propuestas de solución. estudio de caso, paisaje antropizado del cantón Píllaro", Ecuador, 2004

2. ACSAM-COHIEC. "Estudios de factibilidad y diseños definitivos de los sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario de la ciudad de Santa Rosa, Provincia de El Oro". Ecuador, 1997.

3. AGUIRRE M., TORRES H., RUIZ R., "Manual de procedimientos para la delimitación y codificación de cuencas hidrográficas del Perú", INRENA-IRH-DIRHI-SIG, 2003.

4. BONINI J. y GUZMAN E., "Estimación de Caudales y Sedimentos en la Cuenca Hidrográfica del Río Chaguana, empleando el Modelo Matemático AVSWAT", 2003

5. CEDIG, "La Erosión en el Ecuador", documentos de Investigación. Quito, 1986.

6. CEPAL Ecuador: Evaluación de los efectos socio económicos del fenómeno El Niño en 1997-1998, 1998.

7. CEPAR. "Aspectos demográficos de la Provincia de El Oro". Quito, Ecuador, 1992.

8. Center for Research in Water Resources (CRWR), 2003

9. CHAVARRI E., "Curso de Hidrología Aplicada", Departamento de Recurso de Agua y Tierra, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú, 2004

10. CHOW, V, T, "Hidrología aplicada", Edición Mc Grill Hill, 2000

11. CLIRSEN. "Mapa geomorfológico y riesgos de erosión". Memoria técnica. Quito, Ecuador, 1989.

12. CLIRSEN. Mapa geomorfológico y riesgos de erosión. Memoria técnica. Quito, Ecuador, 1989.

13. CORTEZ A., MALAGON D. Los levantamientos de suelos y sus aplicaciones multidisciplinarias. CIDIAT. Mérida, Venezuela, 1983.

14. Enciclopedia Microsoft Encarta, 2005.

15. ESRI, Environmental Systems Research Institute. "Manuales de usuario de ArcGis Software y de las extensiones Spatial Analyst, 3D Analyst, Geostatistical Analyst, ArcHydro". Redlands, California. USA, 2004.

16. GASPARI F., RICKFELDER R., HAURI B., "Análisis cartográfico del deterioro físico ambiental por erosión hídrica", Primer Congreso de la Ciencia Cartográfica y VII Semana Nacional de Cartografía. Buenos Aires, Argentina, 2003.

17. GALLEGO F., COBO M., NAVARRETE L., VALDERRAMA Z, JIMENEZ R., "Determinación de riesgos de erosión en la Comarca Olivarera de "Sierra Mágina" (Jaén) mediante técnicas SIG y teledetección", XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Santander, España, 2002.

18. FAO. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Pub. FAO y PNUMA. Roma, 1980.

19. FUENTES, PACHECO. "Muestreo, análisis y descripción de perfiles de suelos en la Cuenca del Río Santa Rosa", Santa Rosa, Ecuador, 1998.

20. INEC, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. "Uso del suelo por muestreo de parcelas". Quito, Ecuador, 1990.

21. INAMHI, Anuarios hidrológicos, meteorológicos

22. INEC, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. "III Censo Nacional Agropecuario", Quito, Ecuador, 2000.

23. Investigaciones del Departamento de Ciencias Ecológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, 2005

24. LOPEZ R., "Aspectos económicos de la conservación de suelos". CIDIAT. Mérida, Venezuela, 1991.

25. LOPEZ R. "La degradación y pérdida de los suelos agrícolas". CIDIAT. Mérida, Venezuela, 1995.

26. LOPEZ F., La Gestión Integral de las Cuencas Hidrográficas, documento de trabajo. Quito, 1999

27. PRONAREG. Mapa morfopedológico, hoja Arenillas. Quito, Ecuador, 1985.

28. PRONAREG. Mapa de aptitudes agrícolas, hoja Arenillas. Quito, Ecuador, 1985.

29. PONS B. R. ""Descripción y cuantificación de procesos de regresión, degradación, desertización y desertificación". España.

30. Red Iberoamericana de Recursos Hídricos(HIDRORED)

31. Report GIS Based Spatial Modeling and Analyses of Urban Stormwater Size and Stormwater Management Practice (SMP) Feasibility in the Lower Buffalo River Watershed, 2003

32. ROJAS R. Hidrología de tierras agrícolas. CIDIAT. Mérida, Venezuela, 1980.

33. TARBOTON D, "Terrain Analysis Using Digital Elevation Models in Hydrology", Civil and Environmental Engineering, Utah Water Research Laboratory, Utah State University, 2004

34. VERA V. "Manejo ambiental de la cuenca del río Arenillas". CODELORO. Machala, Ecuador, 1996.

35. VIEIRA J, "El Sistema de Informaciones Geográficas (SIG) en los contextos de planificación del medio físico y de las cuencas hidrográficas", II Curso internacional de aspectos geológicos de protección ambiental. Brasil, 2003

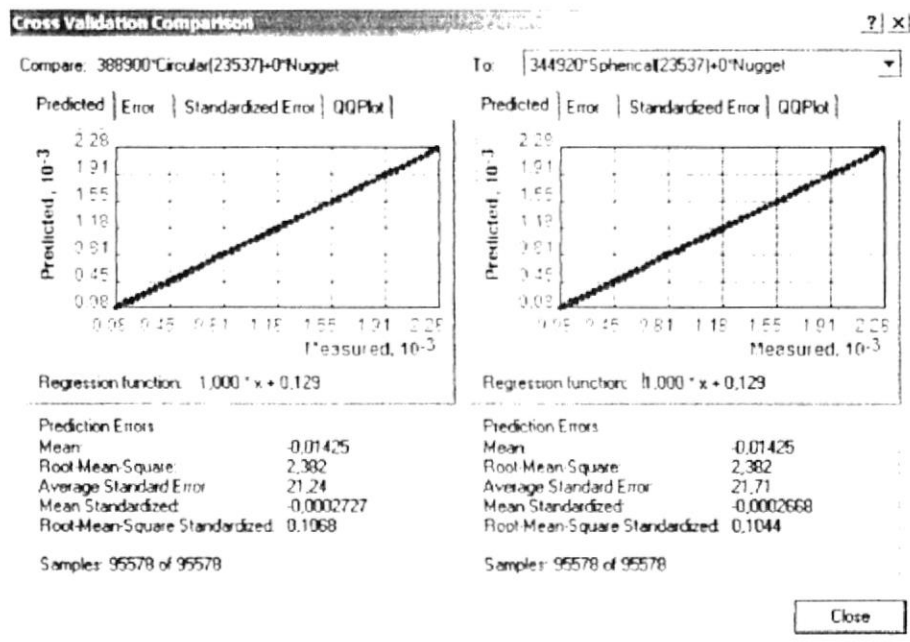
36. VIVAS J., "Análisis del Modelaje Hidráulico del Sistema Hídrico del Río Chaguana, mediante el uso del Modelo Hec-Ras", 2004

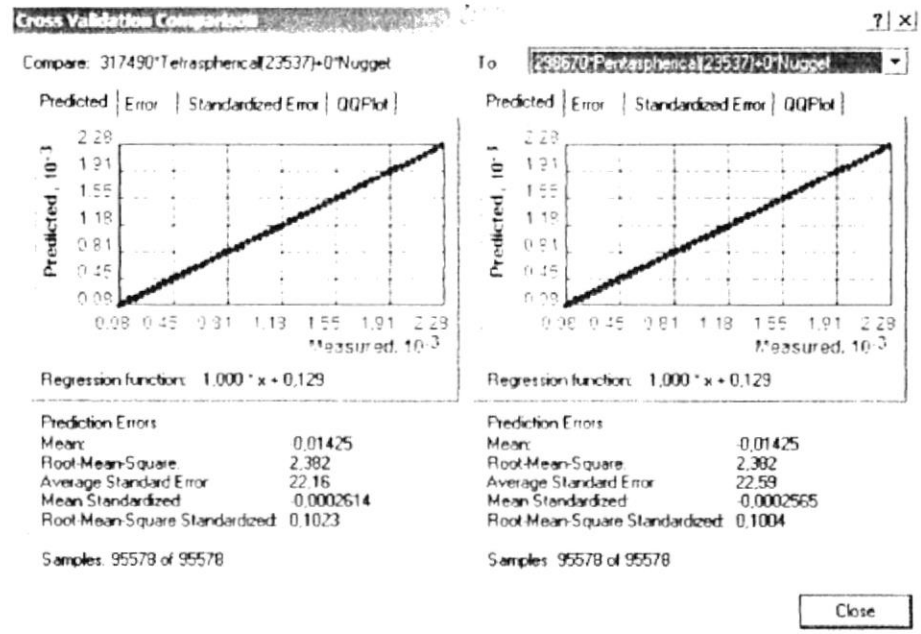
ANEXOS

ANEXO A

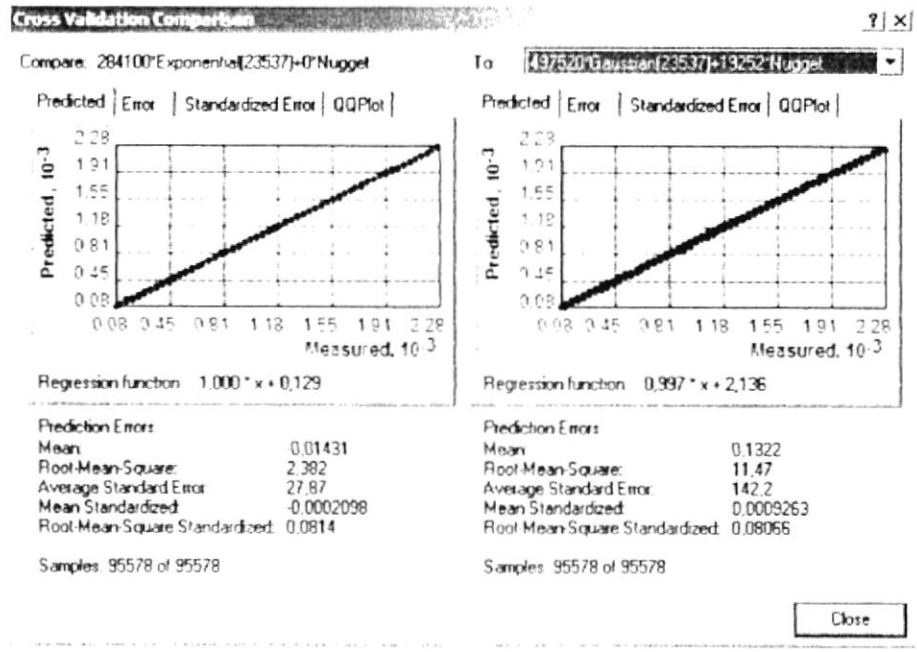
VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT)

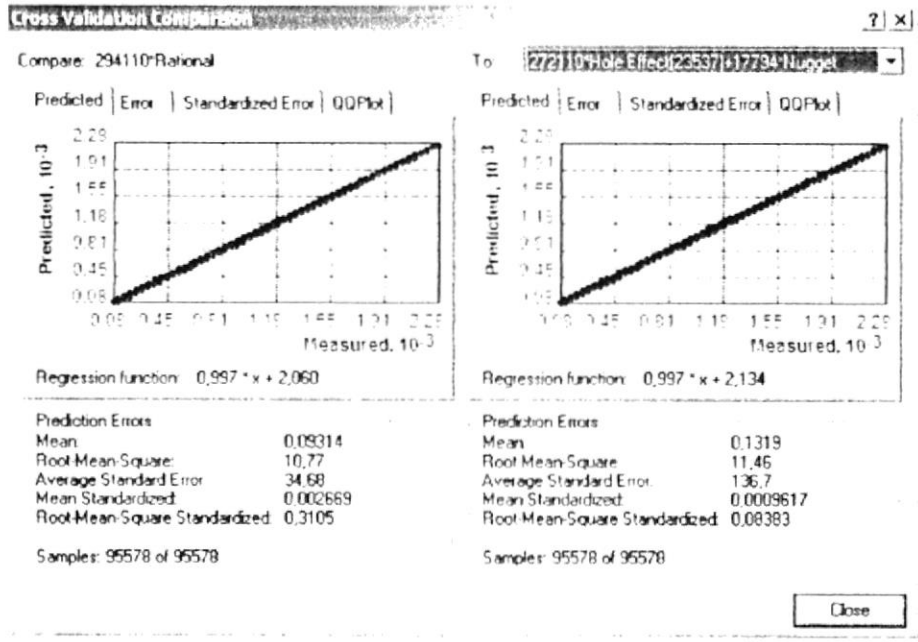
VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), CON UN LAG INTERVAL DE 2000 SIN ANALISIS DE ANISOTROPIA, USANDO EL ESTIMADOR ORDINARY KRIGING DEL SOFTWARE ARGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.



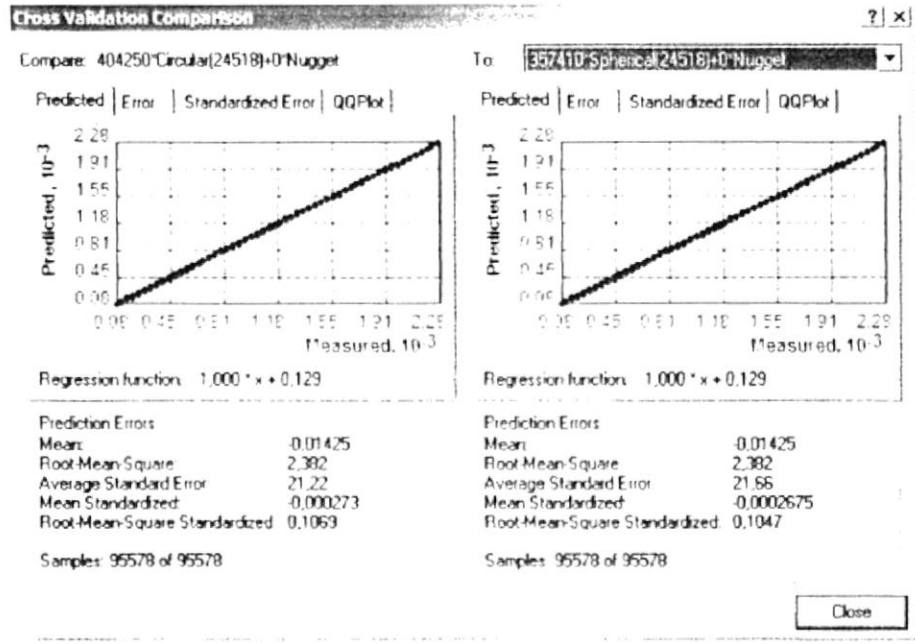


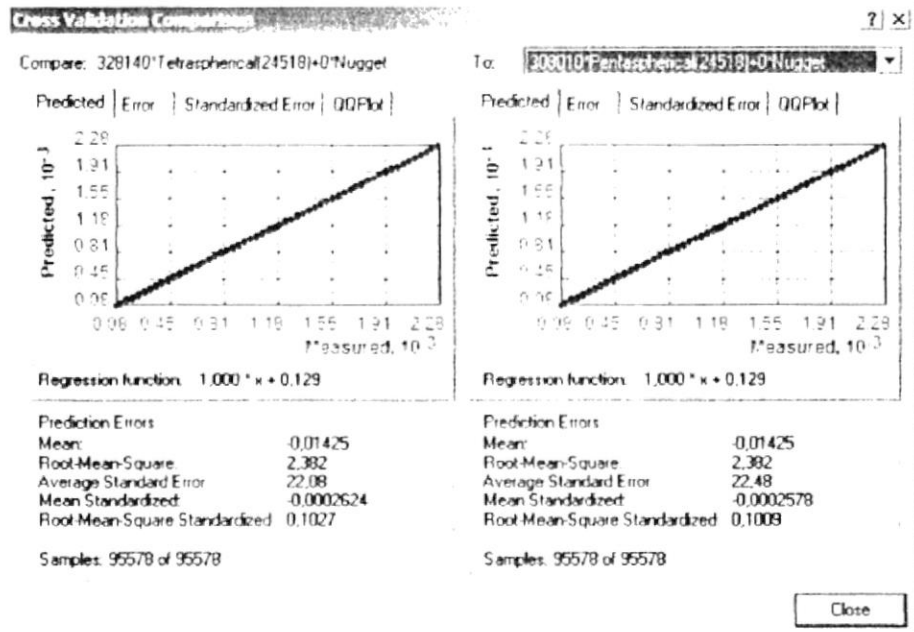
VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), CON UN LAG INTERVAL DE 2000 SIN ANALISIS DE ANISOTROPIA, USANDO EL ESTIMADOR ORDINARY KRIGING DEL SOFTWARE ARGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.



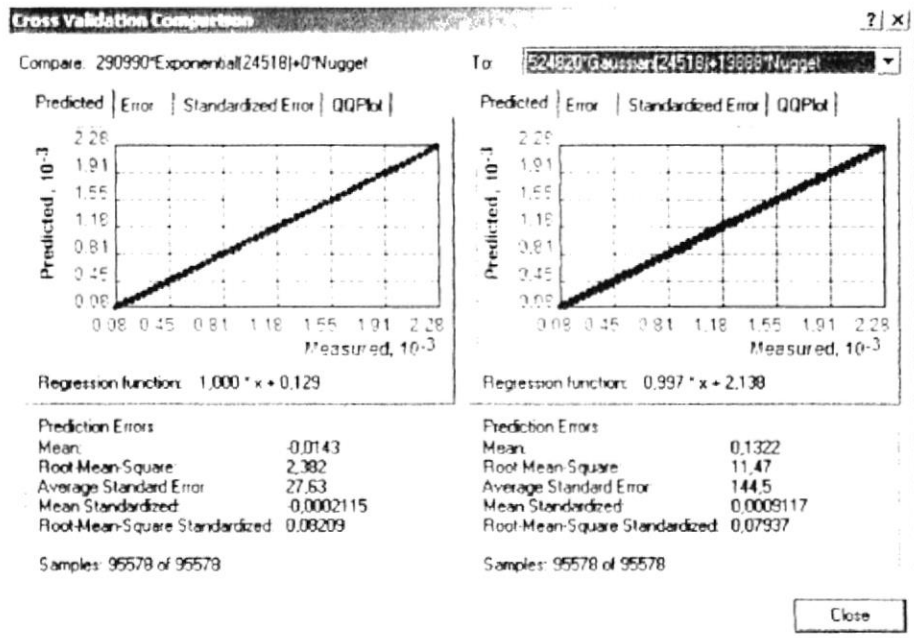


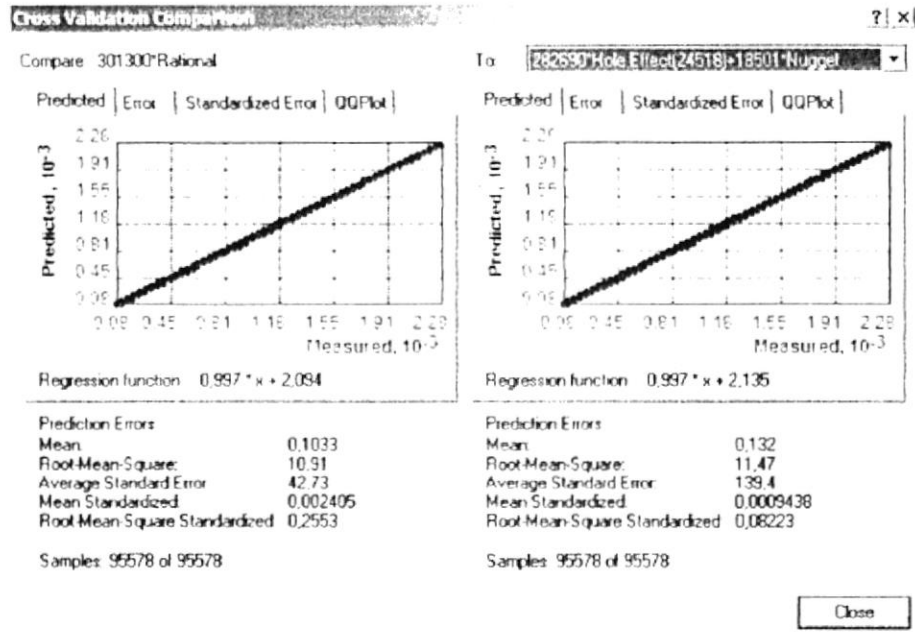
VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), CON UN LAG INTERVAL DE 2083.3 SIN ANALISIS DE ANISOTROPIA, USANDO EL ESTIMADOR ORDINARY KRIGING DEL SOFTWARE ARGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.



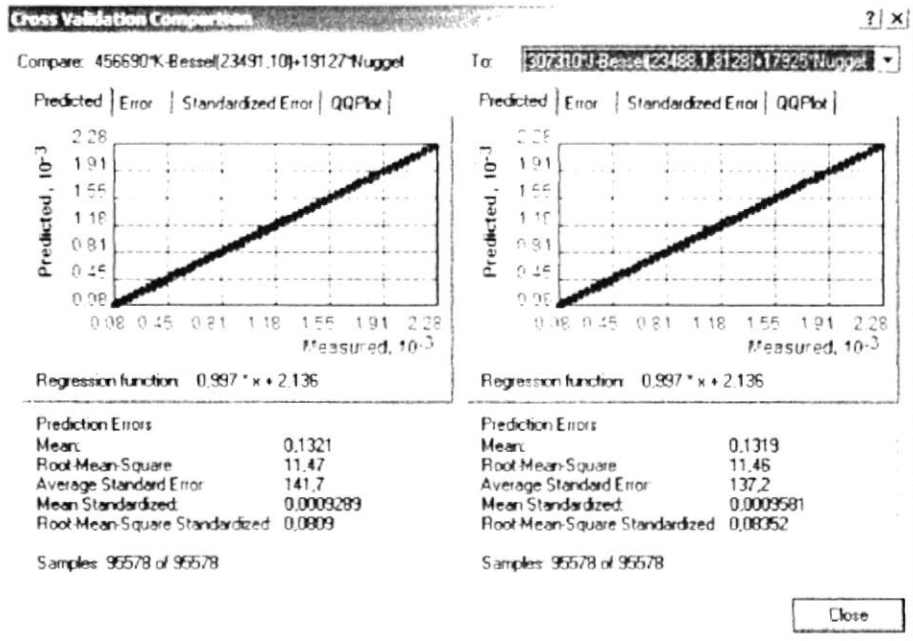


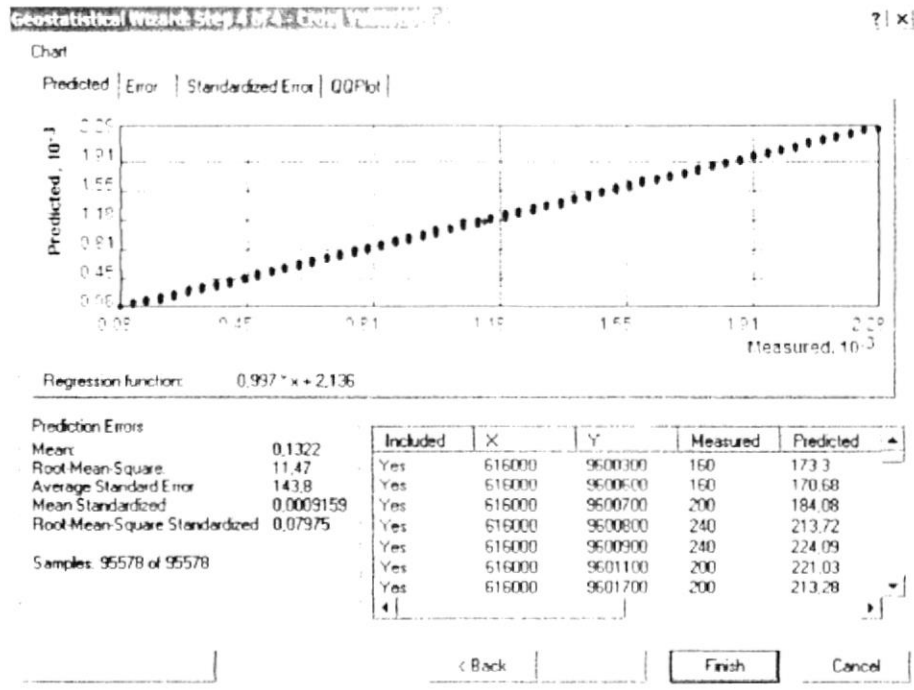
VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), CON UN LAG INTERVAL DE 2083.3 SIN ANALISIS DE ANISOTROPIA, USANDO EL ESTIMADOR ORDINARY KRIGING DEL SOFTWARE ARGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.



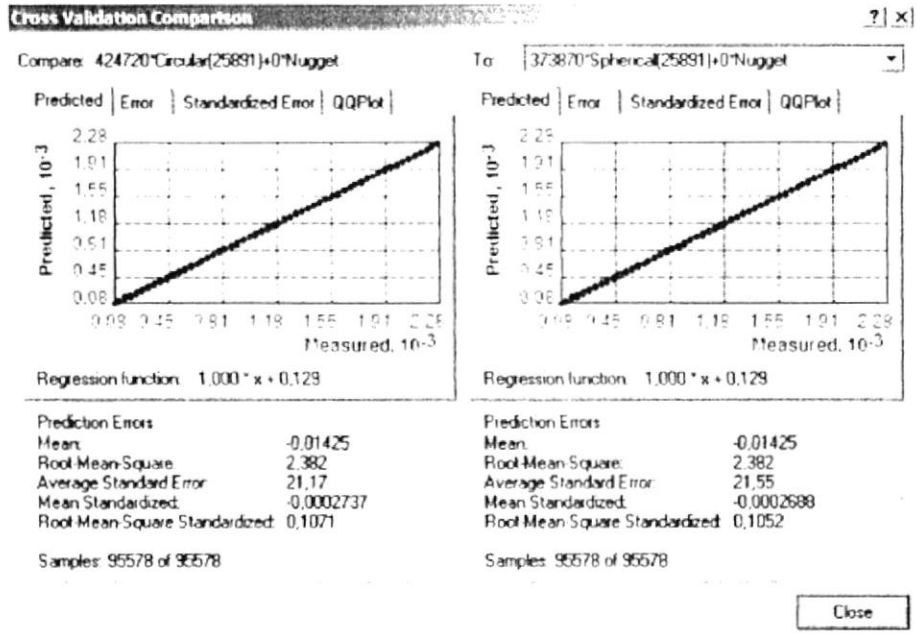


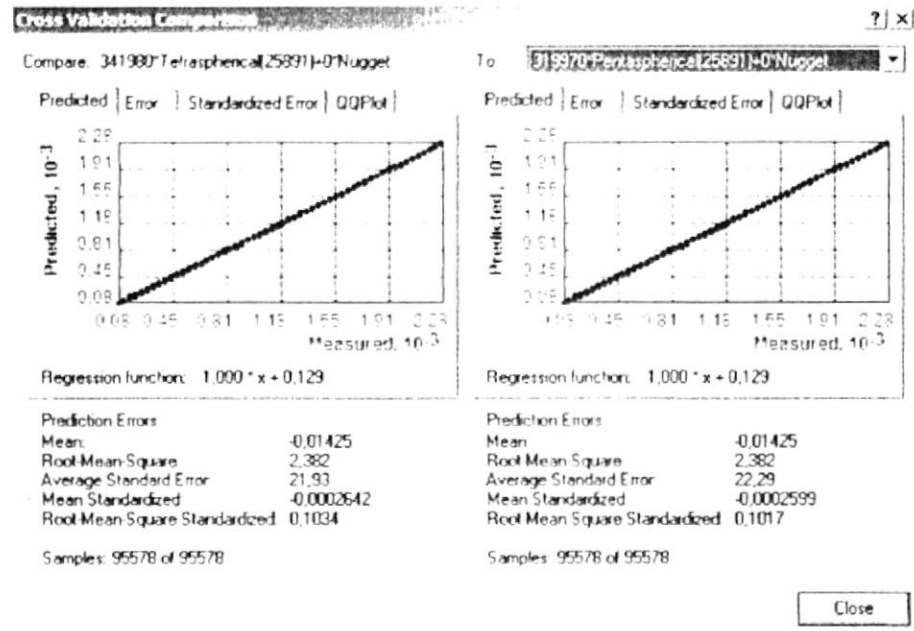
VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), CON UN LAG INTERVAL DE 2083.3 SIN ANALISIS DE ANISOTROPIA, USANDO EL ESTIMADOR ORDINARY KRIGING DEL SOFTWARE ARGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.



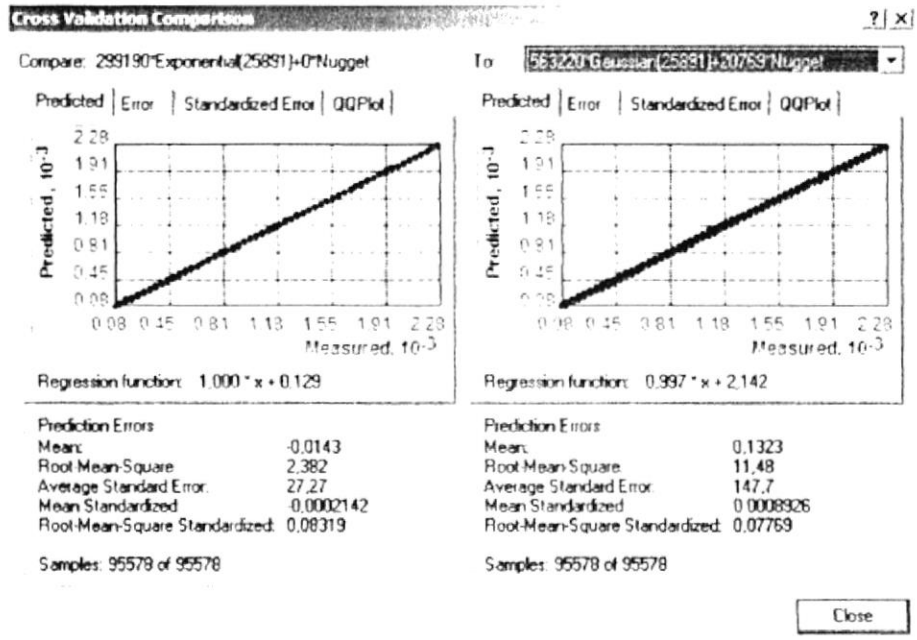


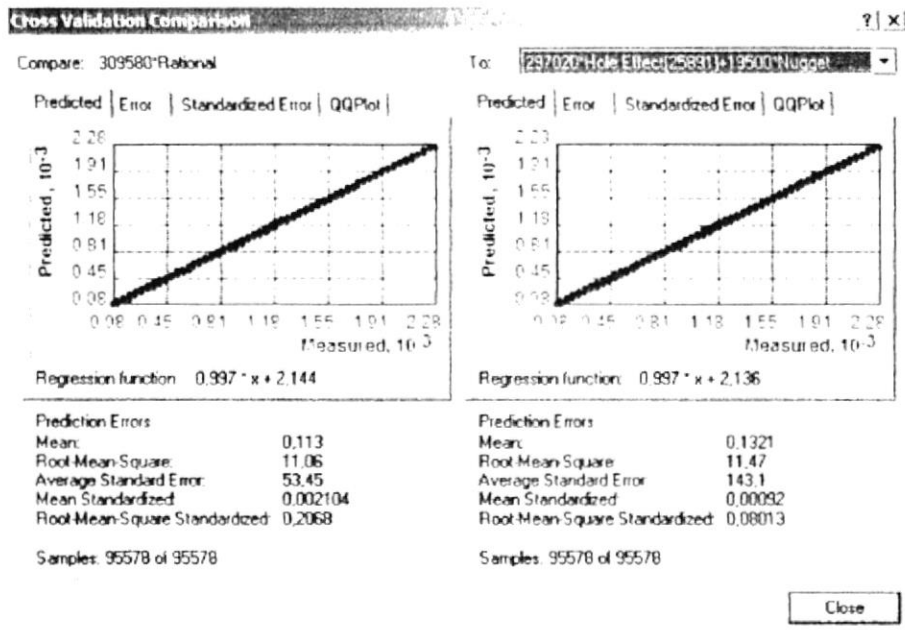
VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), CON UN LAG INTERVAL DE 2200 SIN ANALISIS DE ANISOTROPIA, USANDO EL ESTIMADOR ORDINARY KRIGING DEL SOFTWARE ARGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.



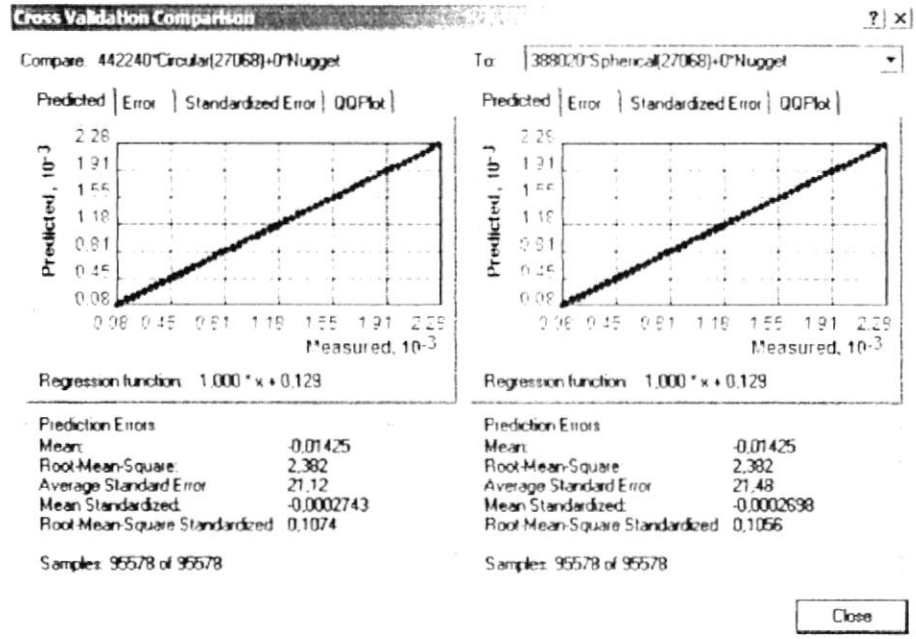


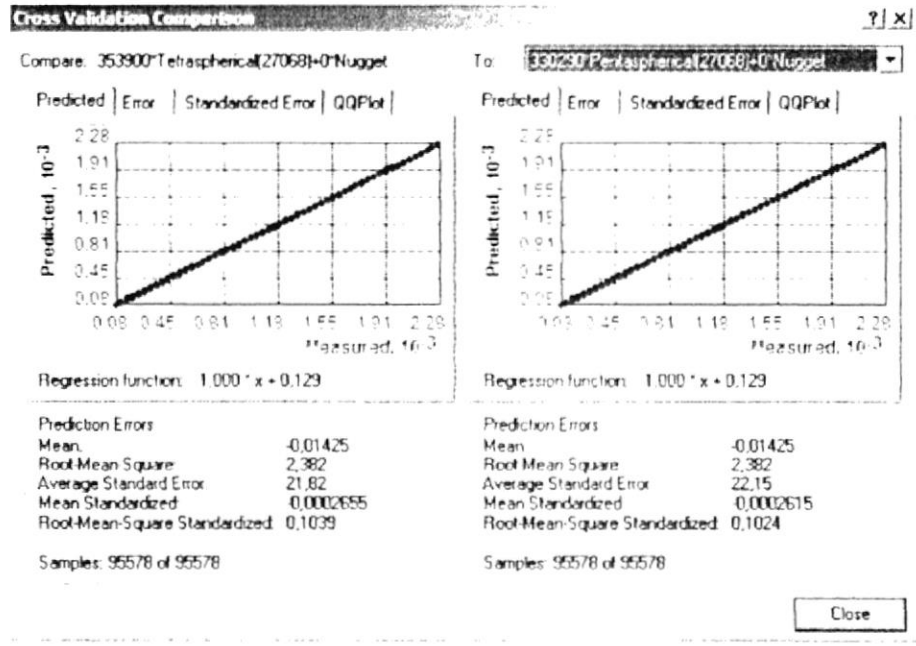
VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), CON UN LAG INTERVAL DE 2200 SIN ANALISIS DE ANISOTROPIA, USANDO EL ESTIMADOR ORDINARY KRIGING DEL SOFTWARE ARGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.



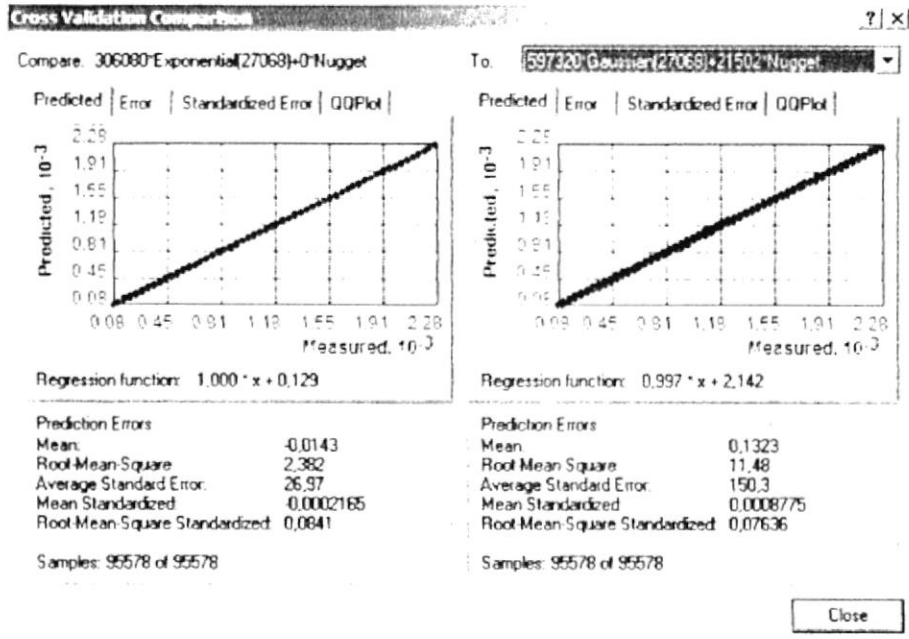


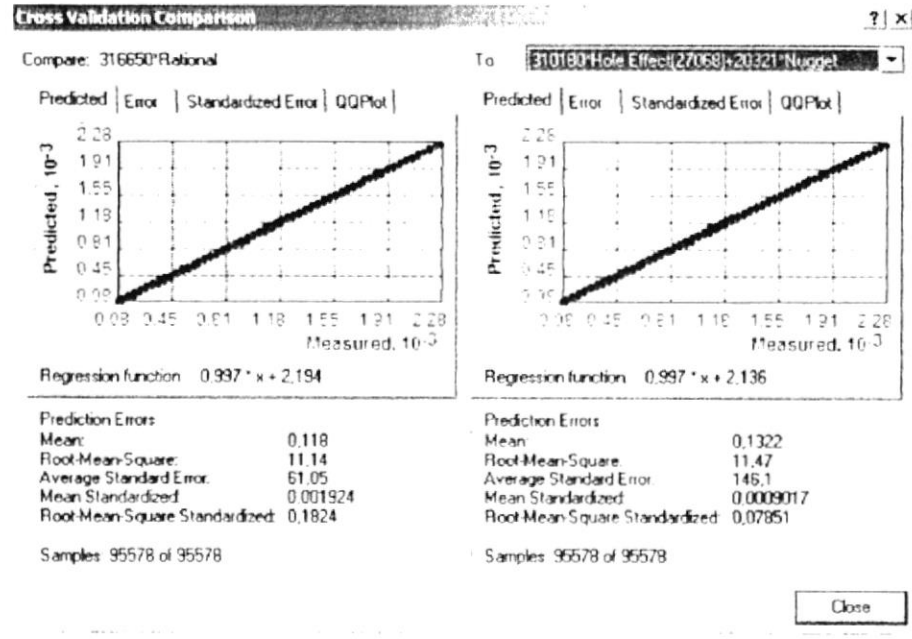
VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), CON UN LAG INTERVAL DE 2300 SIN ANALISIS DE ANISOTROPIA, USANDO EL ESTIMADOR ORDINARY KRIGING DEL SOFTWARE ARGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.



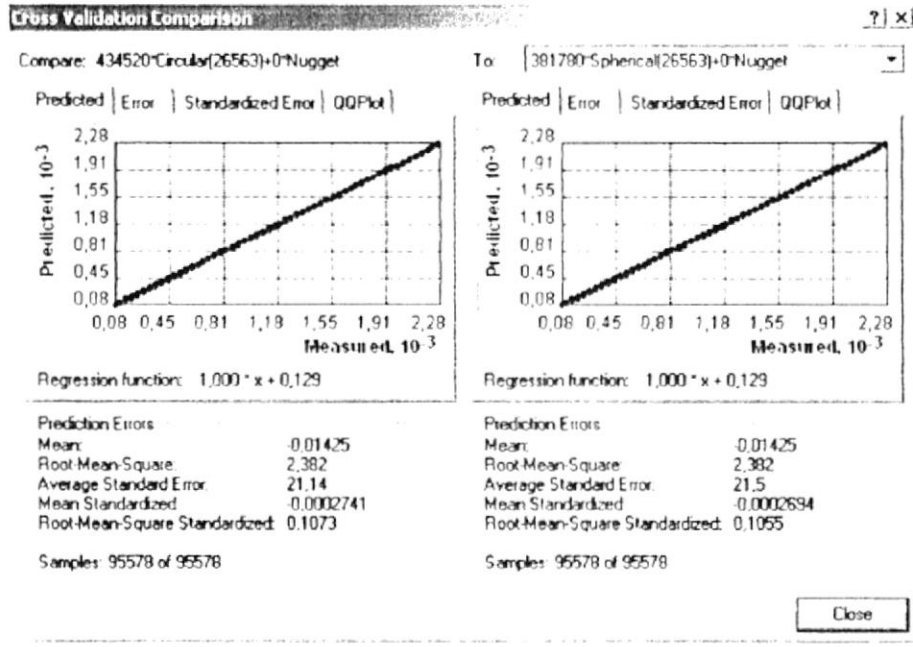


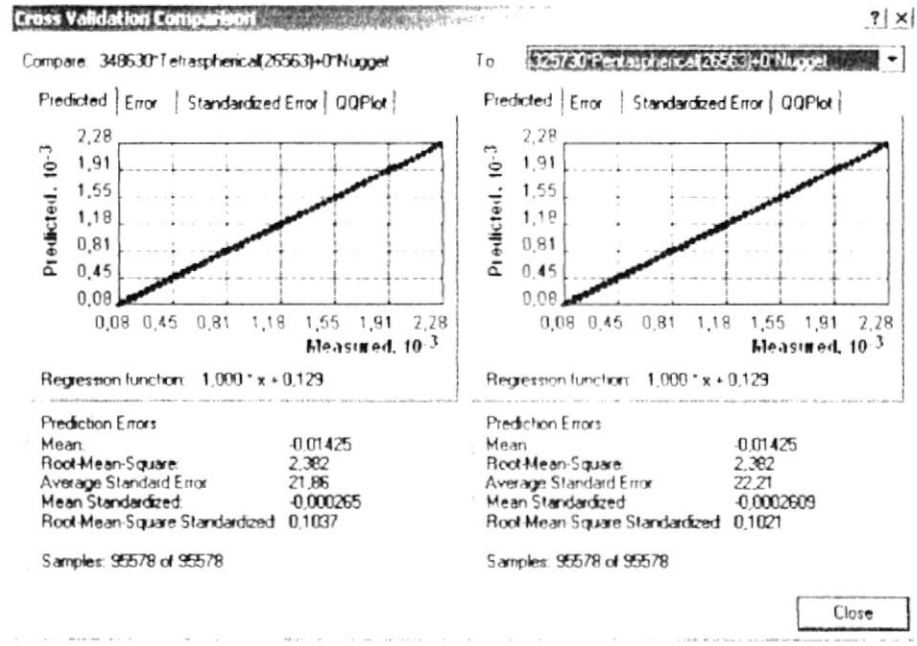
VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), CON UN LAG INTERVAL DE 2300 SIN ANALISIS DE ANISOTROPIA, USANDO EL ESTIMADOR ORDINARY KRIGING DEL SOFTWARE ARGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.



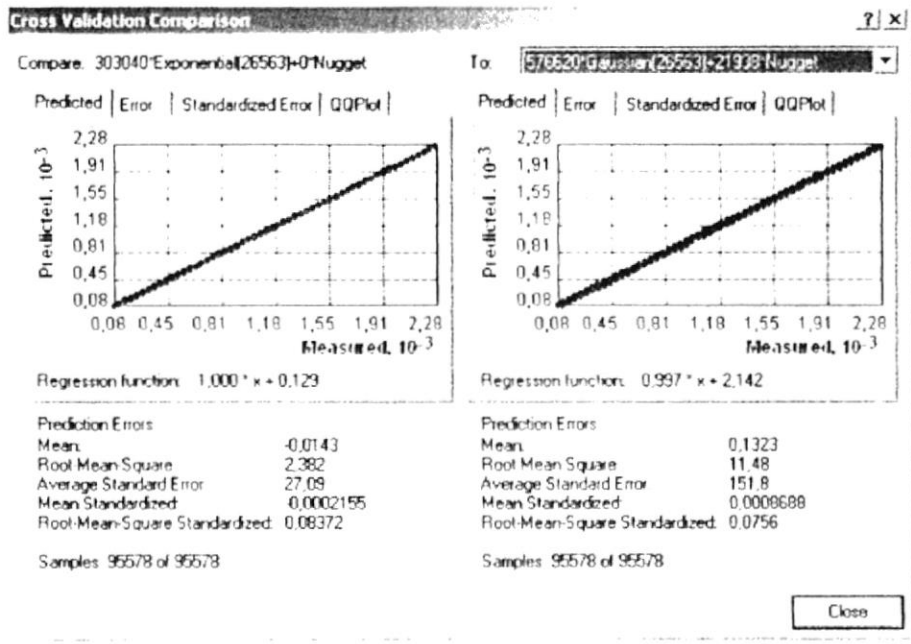


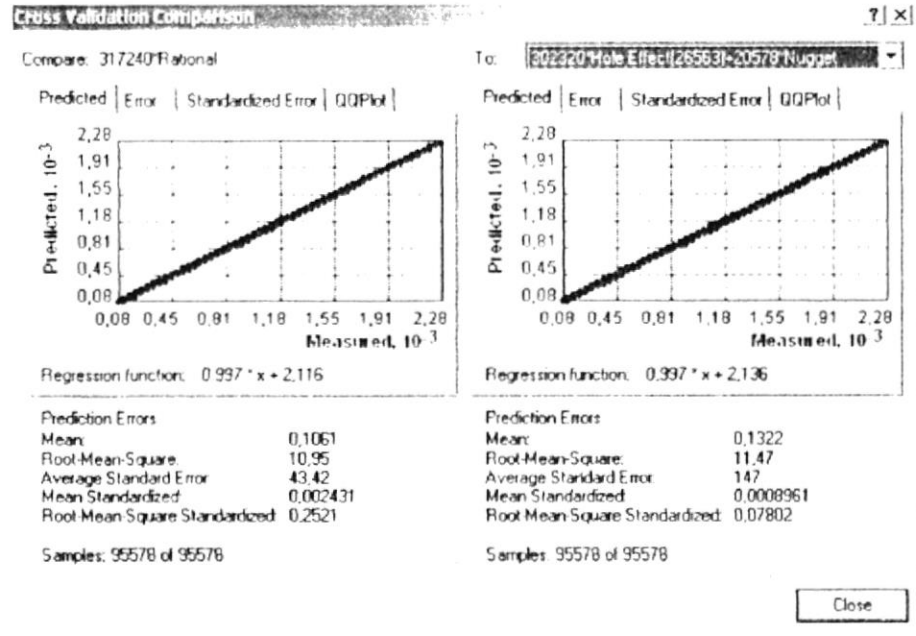
VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), CON UN LAG INTERVAL DE 2400 SIN ANALISIS DE ANISOTROPIA, USANDO EL ESTIMADOR ORDINARY KRIGING DEL SOFTWARE ARGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.



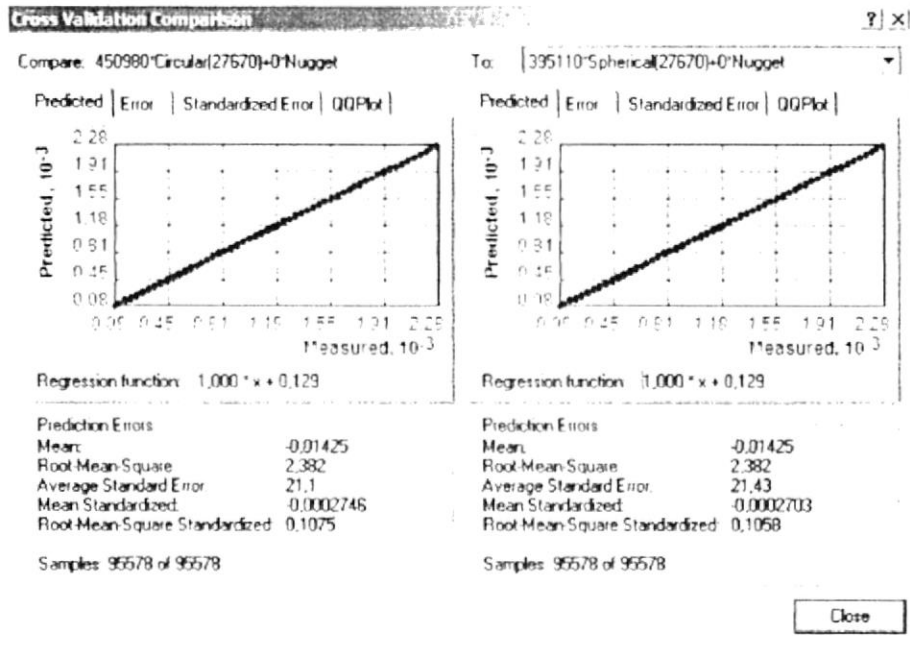


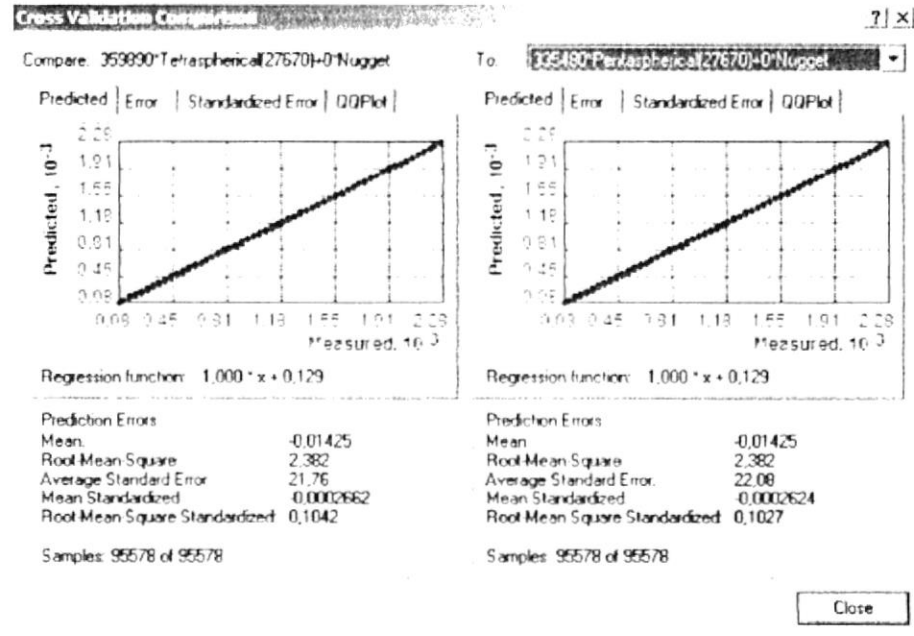
VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), CON UN LAG INTERVAL DE 2400 SIN ANALISIS DE ANISOTROPIA, USANDO EL ESTIMADOR ORDINARY KRIGING DEL SOFTWARE ARGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.



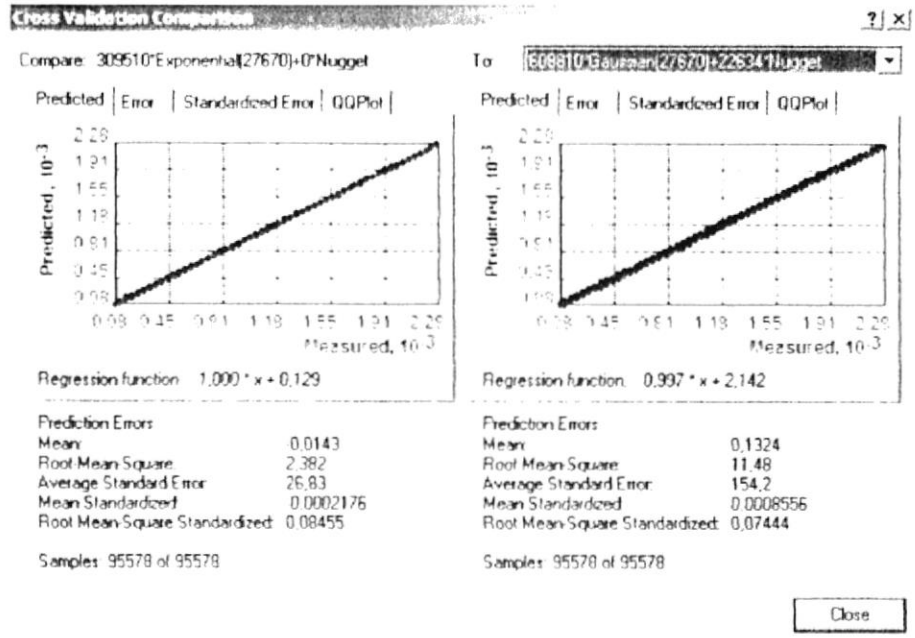


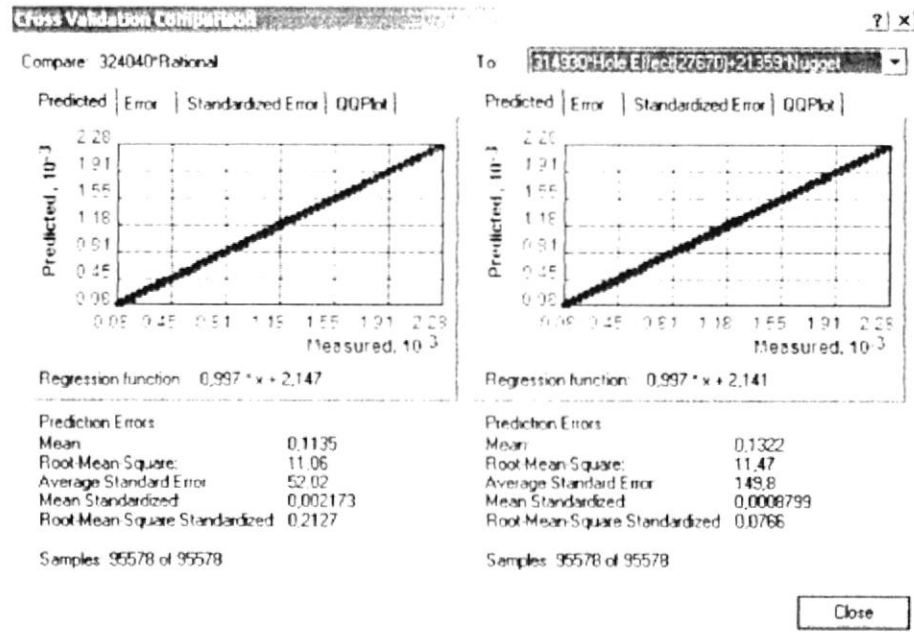
VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), CON UN LAG INTERVAL DE 2500 SIN ANALISIS DE ANISOTROPIA, USANDO EL ESTIMADOR ORDINARY KRIGING DEL SOFTWARE ARGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.



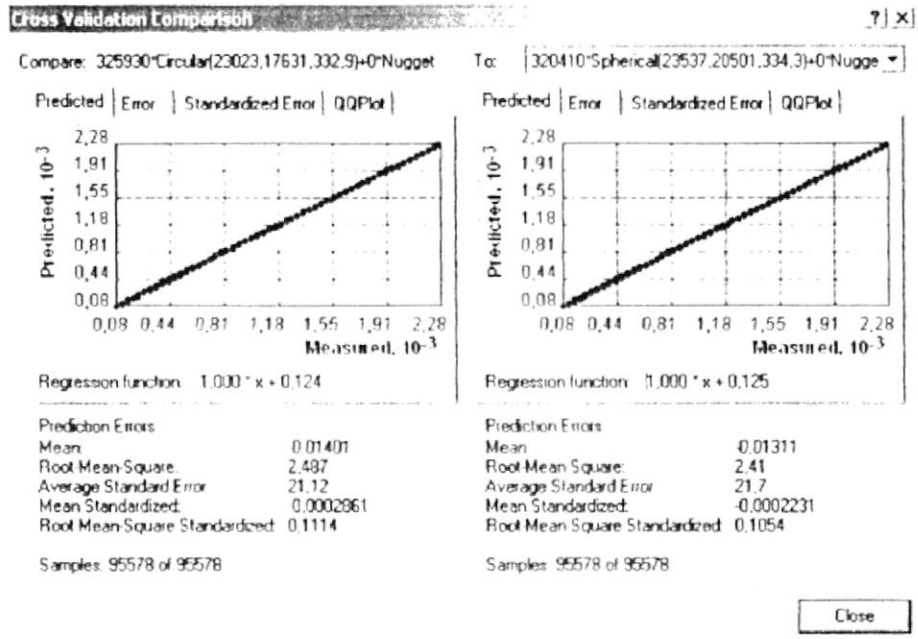


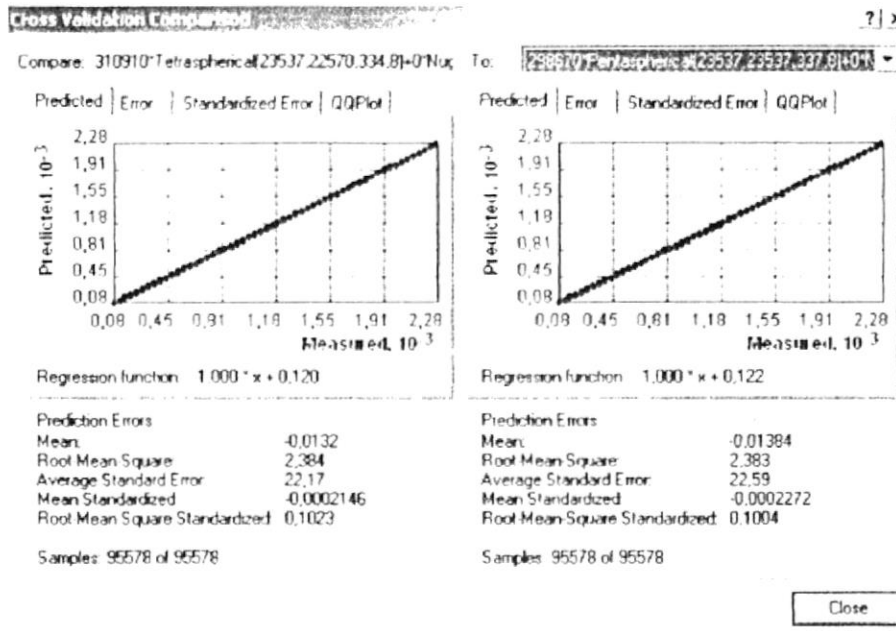
VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), CON UN LAG INTERVAL DE 2500 SIN ANALISIS DE ANISOTROPIA, USANDO EL ESTIMADOR ORDINARY KRIGING DEL SOFTWARE ARGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.



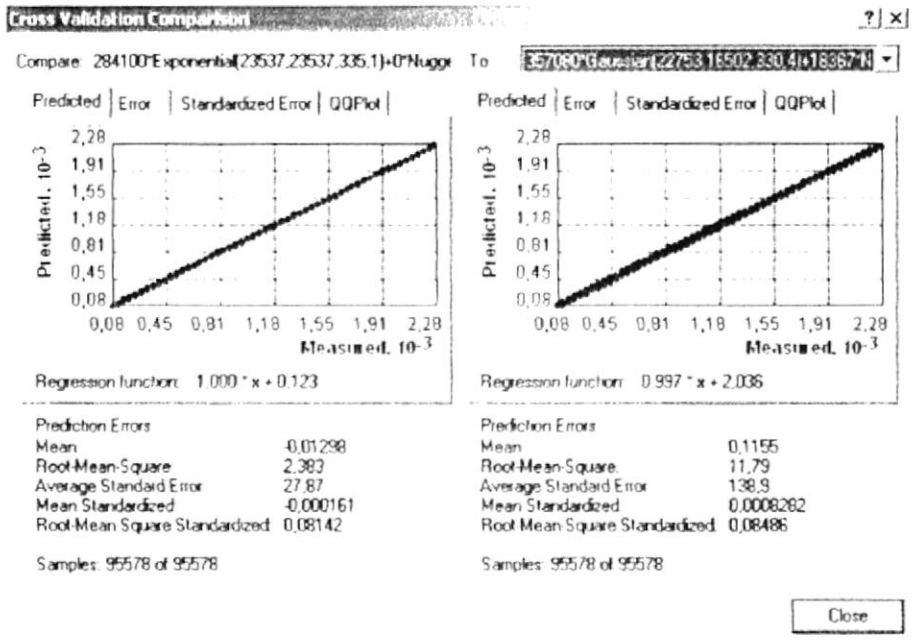


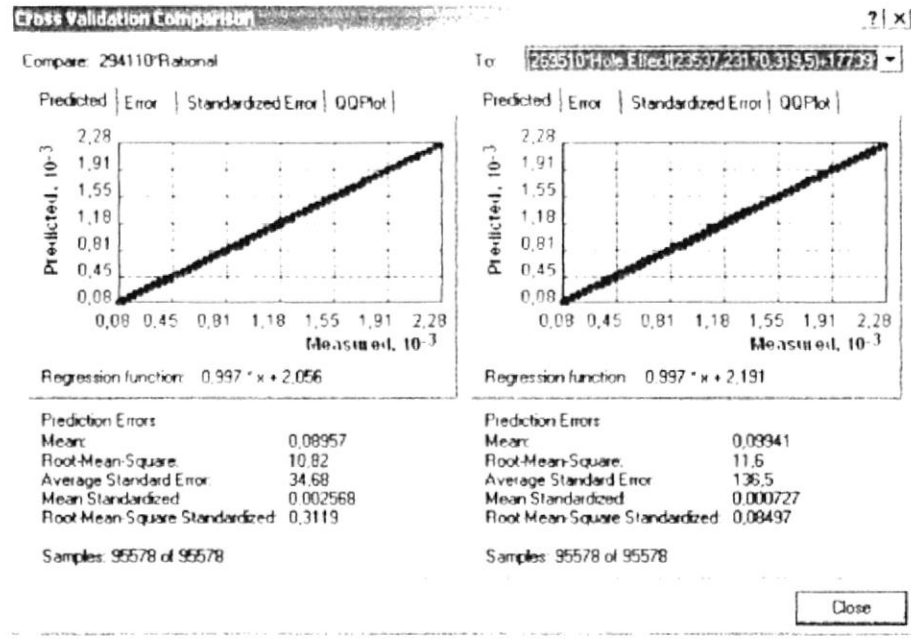
VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), CON UN LAG INTERVAL DE 2000 CON ANALISIS DE ANISOTROPIA, USANDO EL ESTIMADOR ORDINARY KRIGING DEL SOFTWARE ARGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.



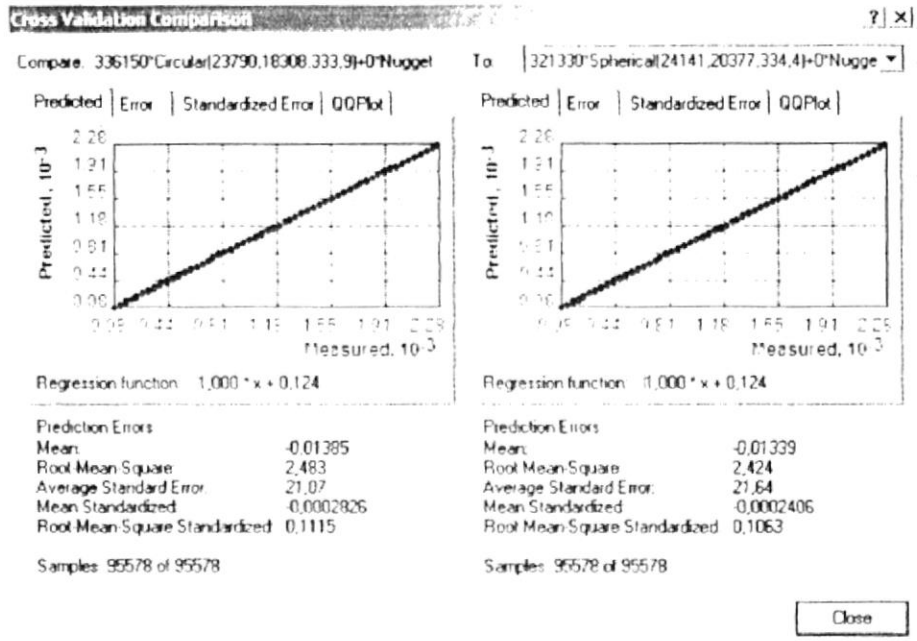


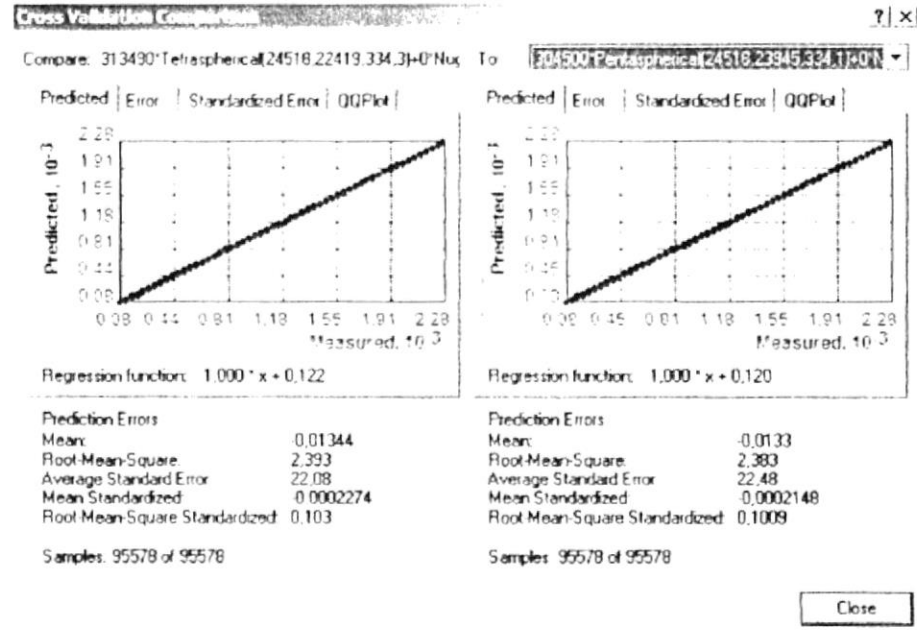
VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), CON UN LAG INTERVAL DE 2000 CON ANALISIS DE ANISOTROPIA, USANDO EL ESTIMADOR ORDINARY KRIGING DEL SOFTWARE ARGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.



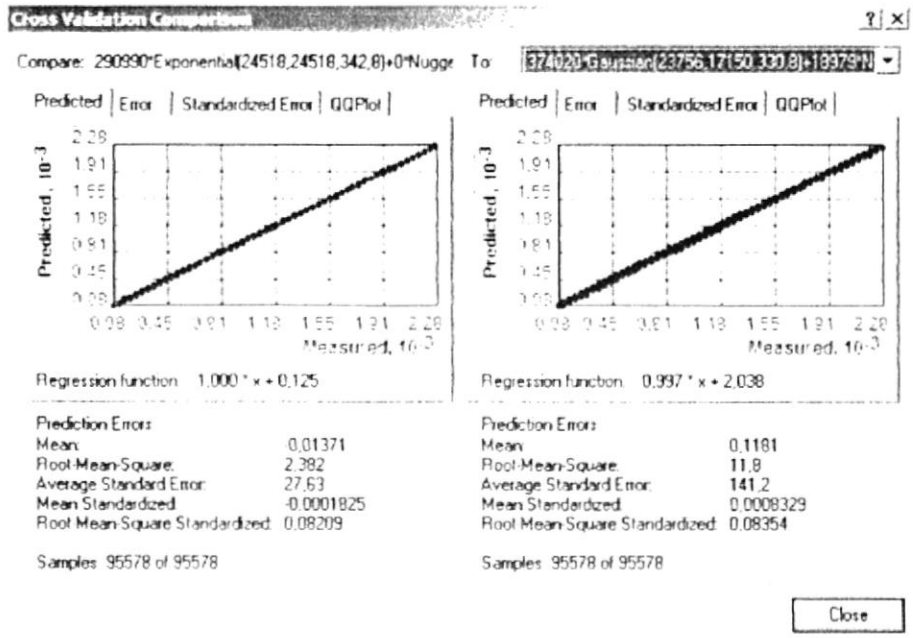


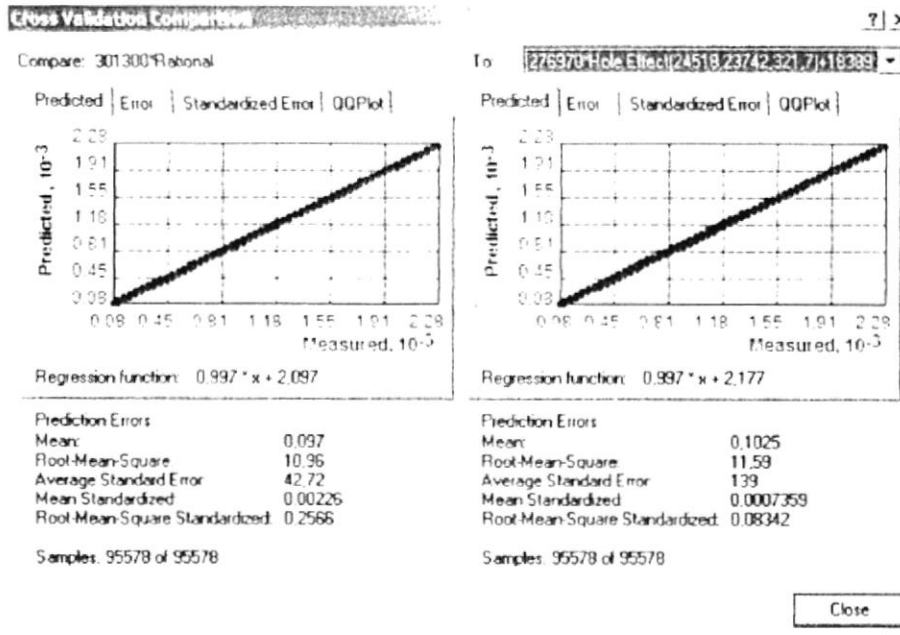
VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), CON UN LAG INTERVAL DE 2083.3 CON ANALISIS DE ANISOTROPIA, USANDO EL ESTIMADOR ORDINARY KRIGING DEL SOFTWARE ARGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.



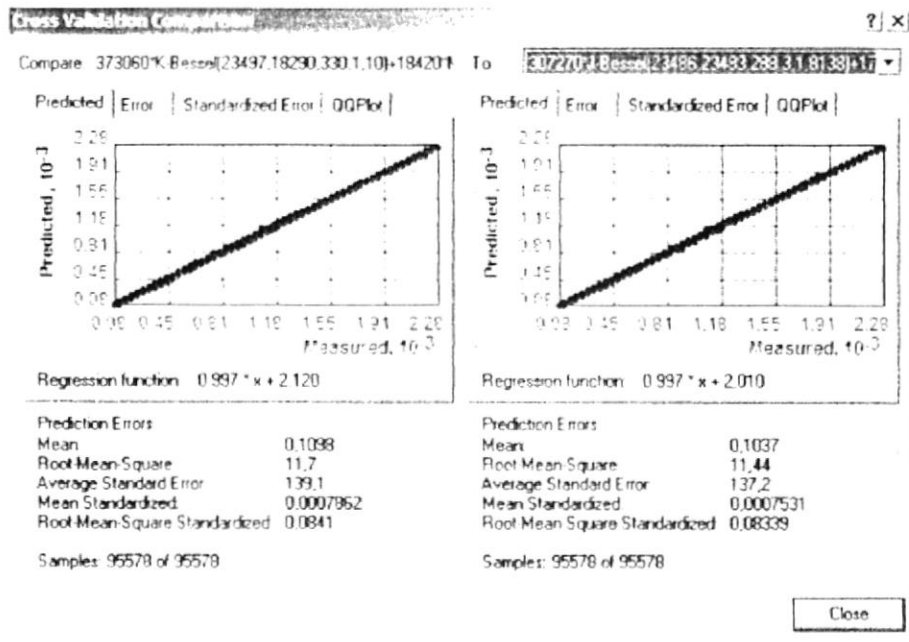


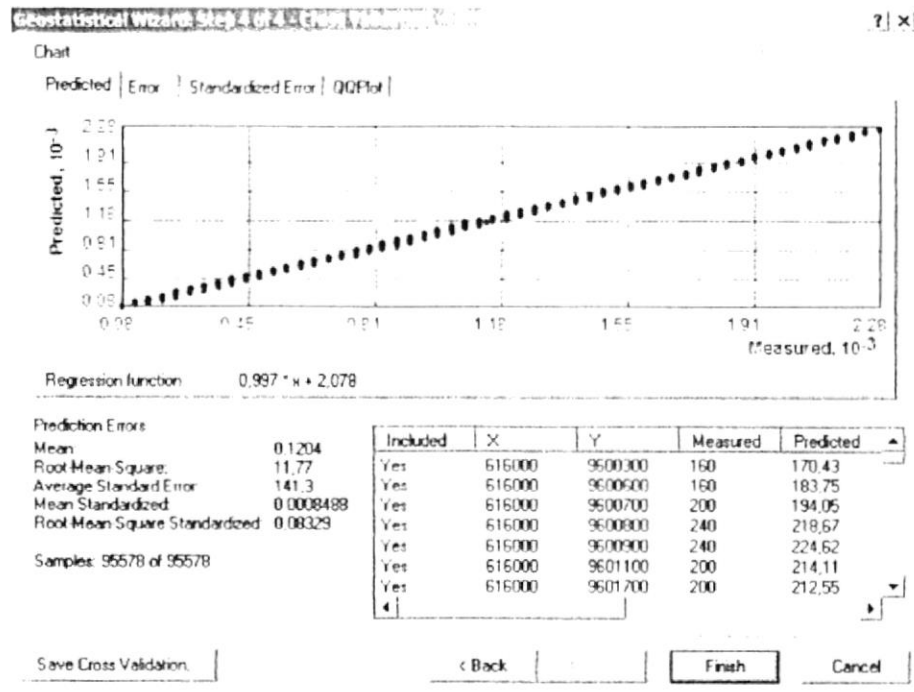
VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), CON UN LAG INTERVAL DE 2083.3 CON ANALISIS DE ANISOTROPIA, USANDO EL ESTIMADOR ORDINARY KRIGING DEL SOFTWARE ARGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.



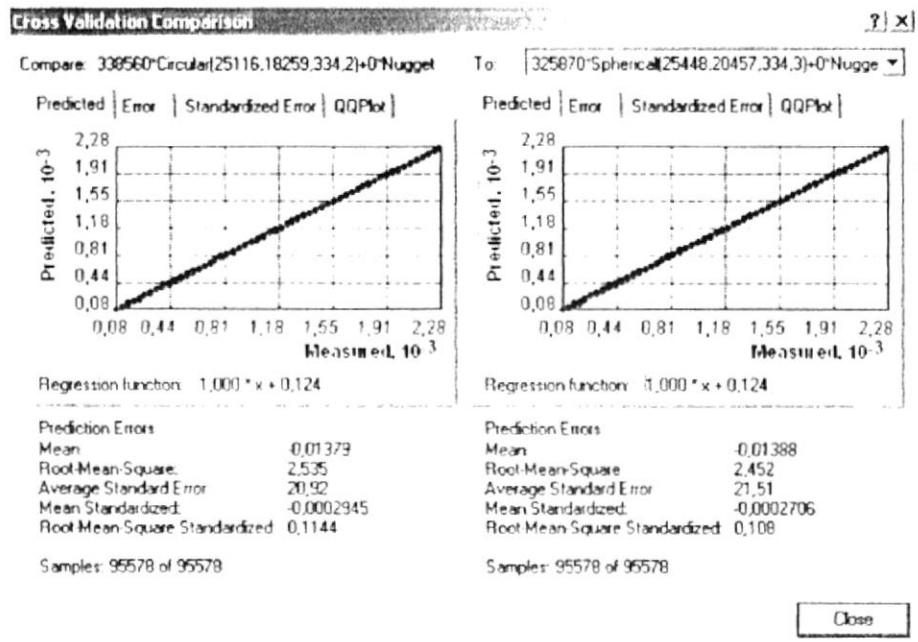


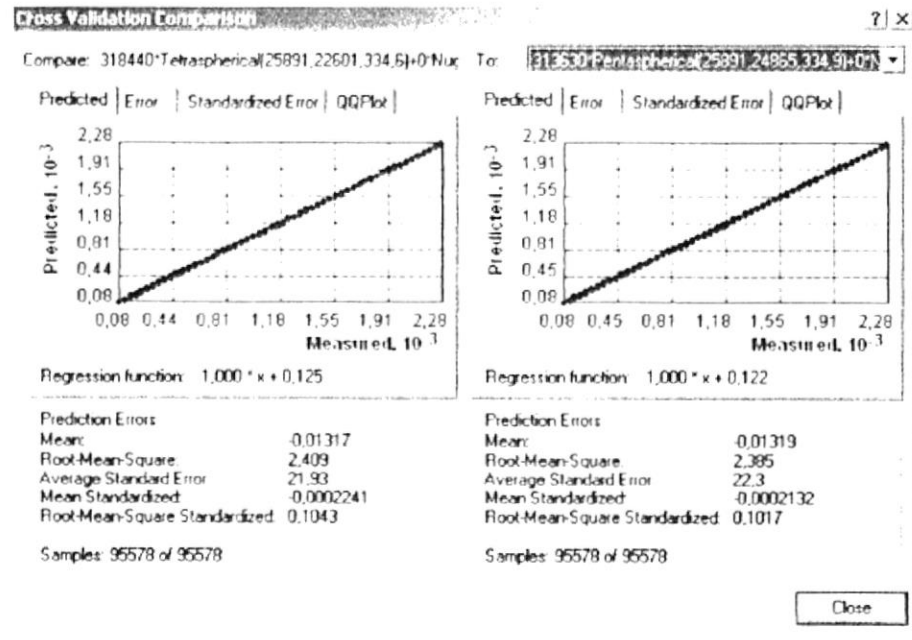
VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), CON UN LAG INTERVAL DE 2083.3 CON ANALISIS DE ANISOTROPIA, USANDO EL ESTIMADOR ORDINARY KRIGING DEL SOFTWARE ARGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.



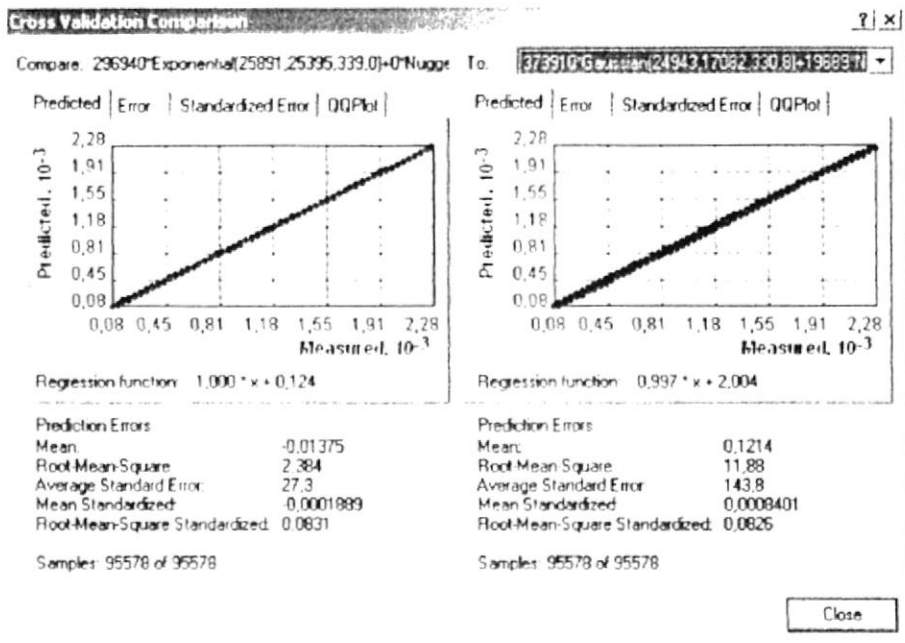


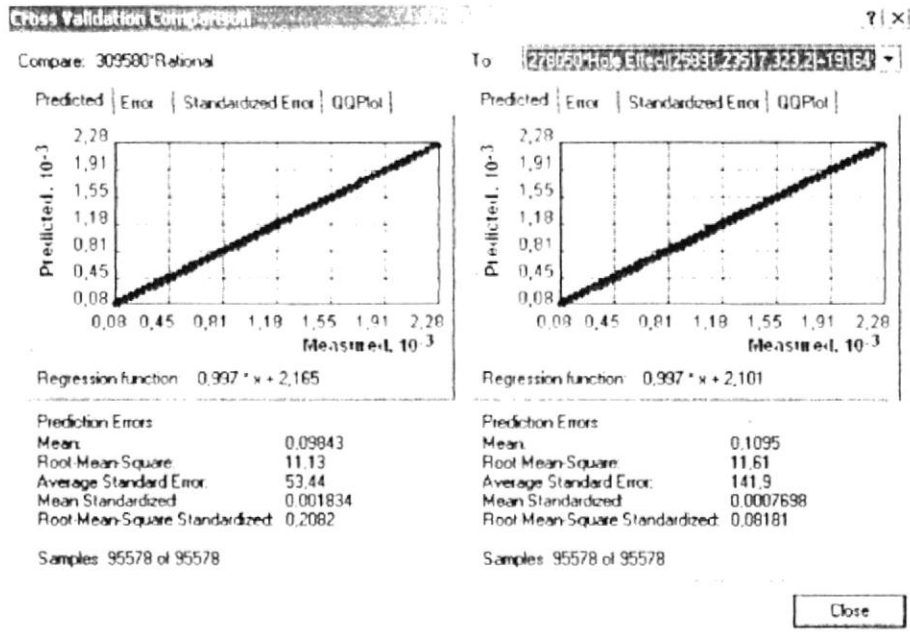
VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), CON UN LAG INTERVAL DE 2200 CON ANALISIS DE ANISOTROPIA, USANDO EL ESTIMADOR ORDINARY KRIGING DEL SOFTWARE ARGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.



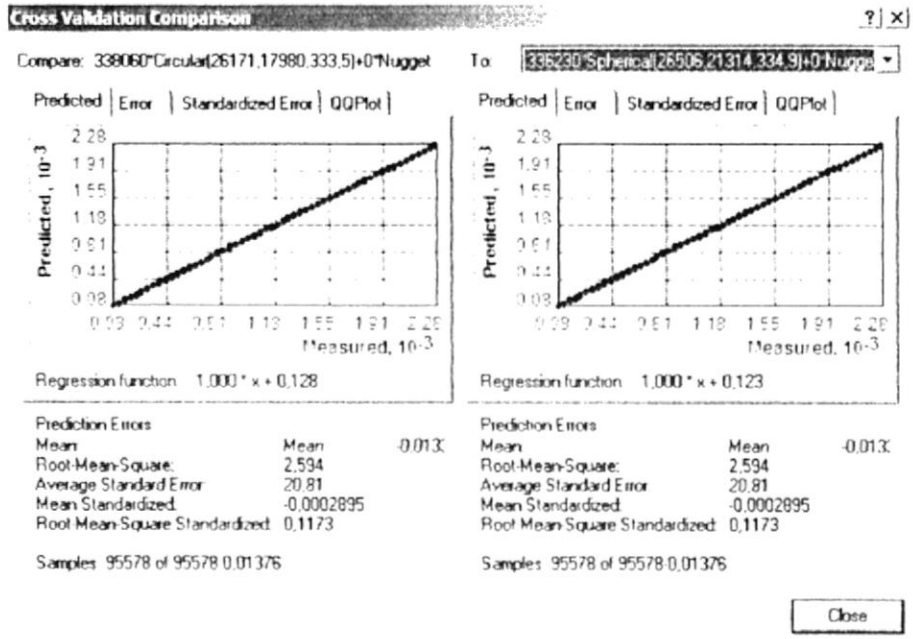


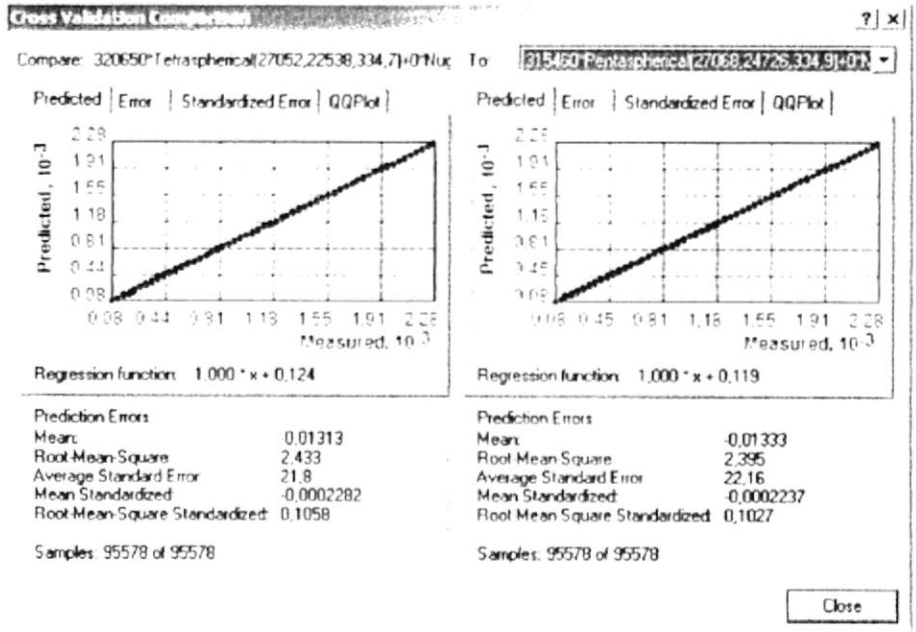
VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), CON UN LAG INTERVAL DE 2200 CON ANALISIS DE ANISOTROPIA, USANDO EL ESTIMADOR ORDINARY KRIGING DEL SOFTWARE ARGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.



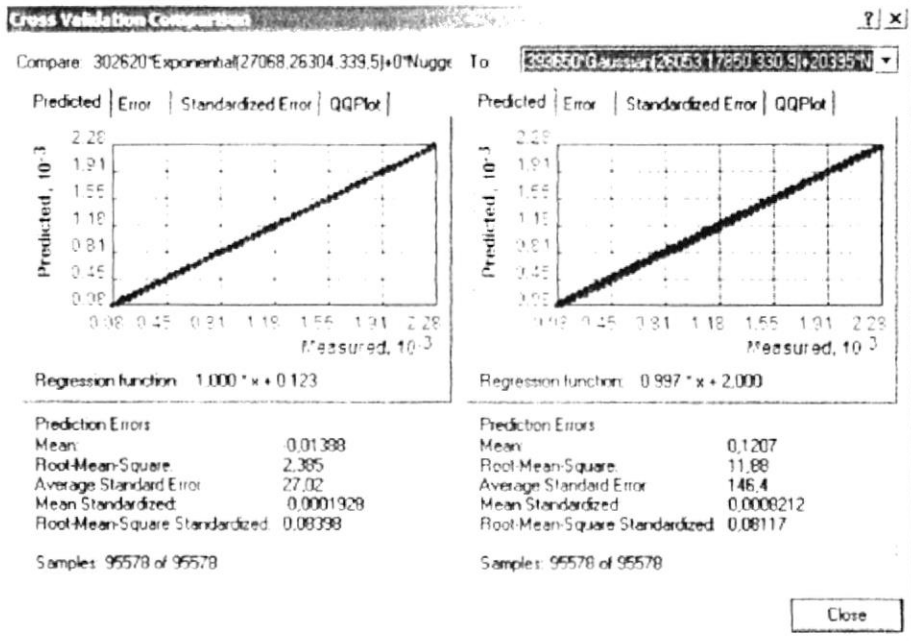


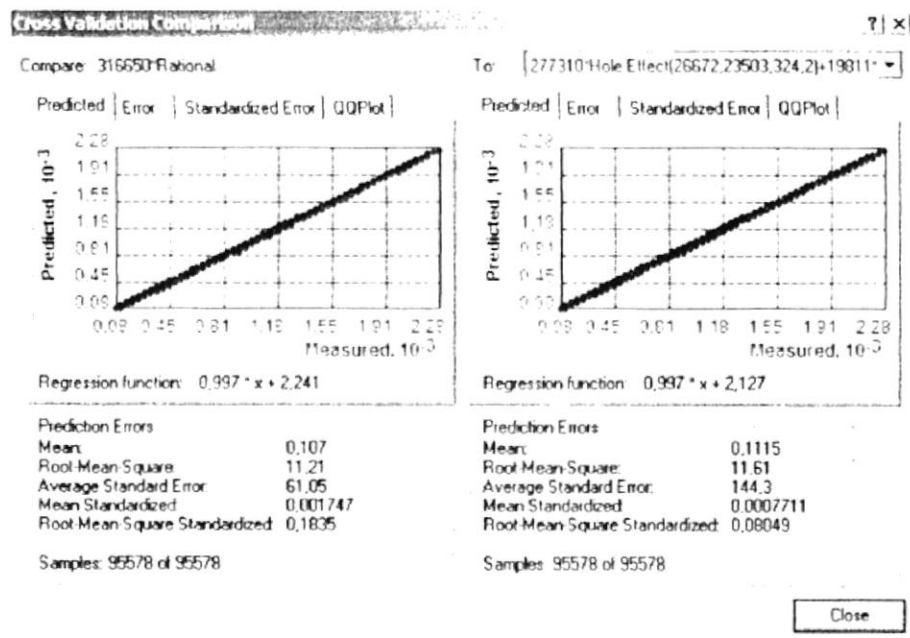
VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), CON UN LAG INTERVAL DE 2300 CON ANALISIS DE ANISOTROPIA, USANDO EL ESTIMADOR ORDINARY KRIGING DEL SOFTWARE ARGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.



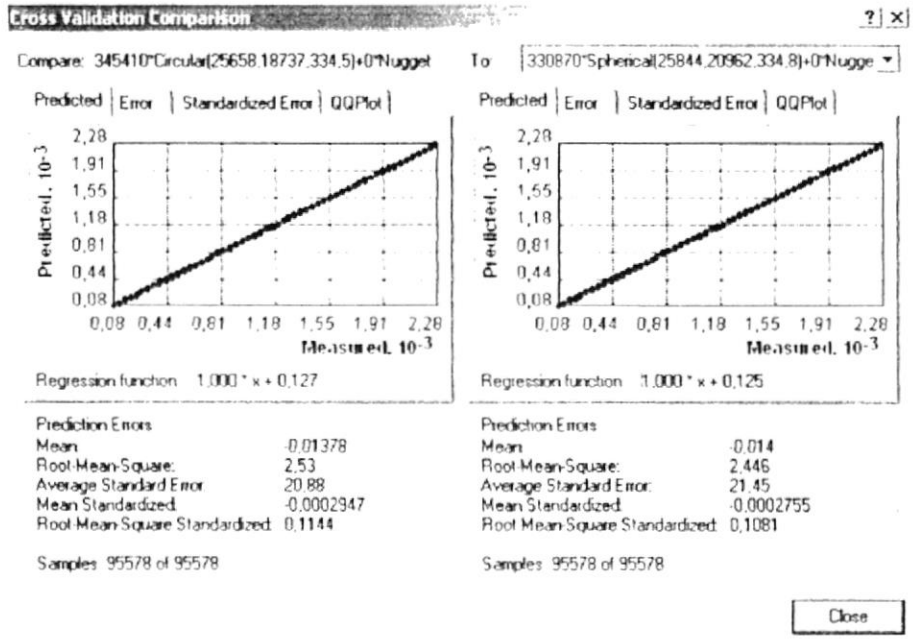


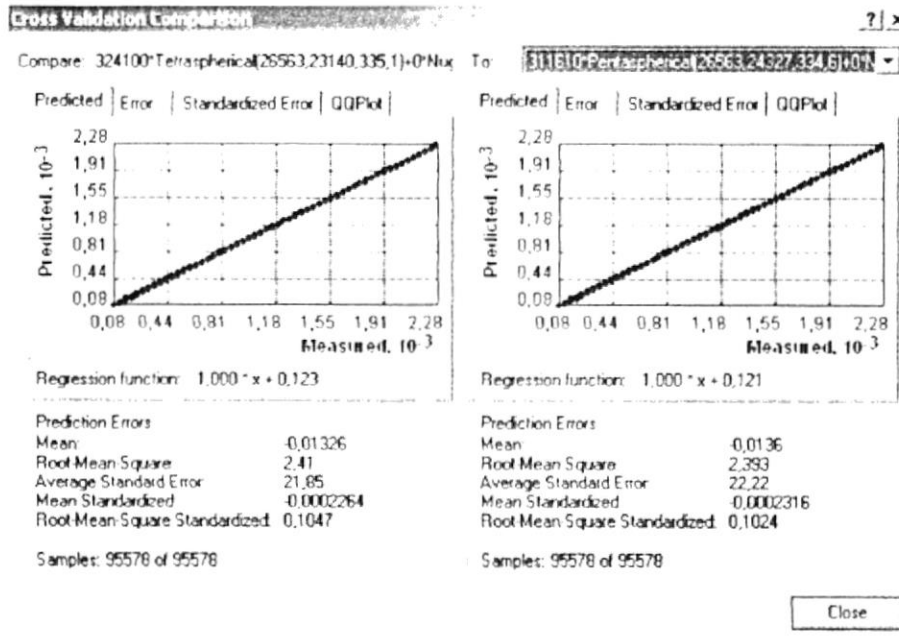
VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), CON UN LAG INTERVAL DE 2300 CON ANALISIS DE ANISOTROPIA, USANDO EL ESTIMADOR ORDINARY KRIGING DEL SOFTWARE ARGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.



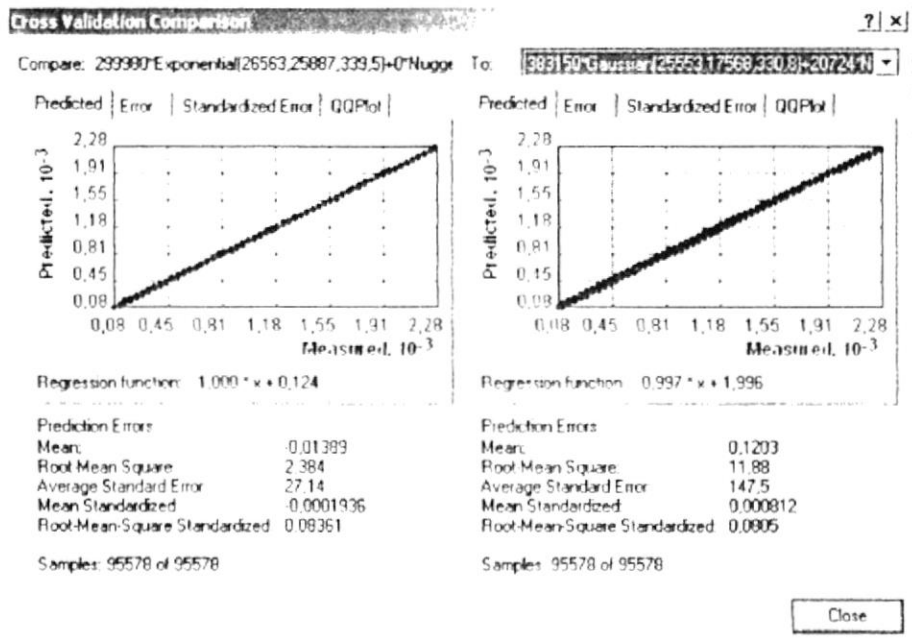


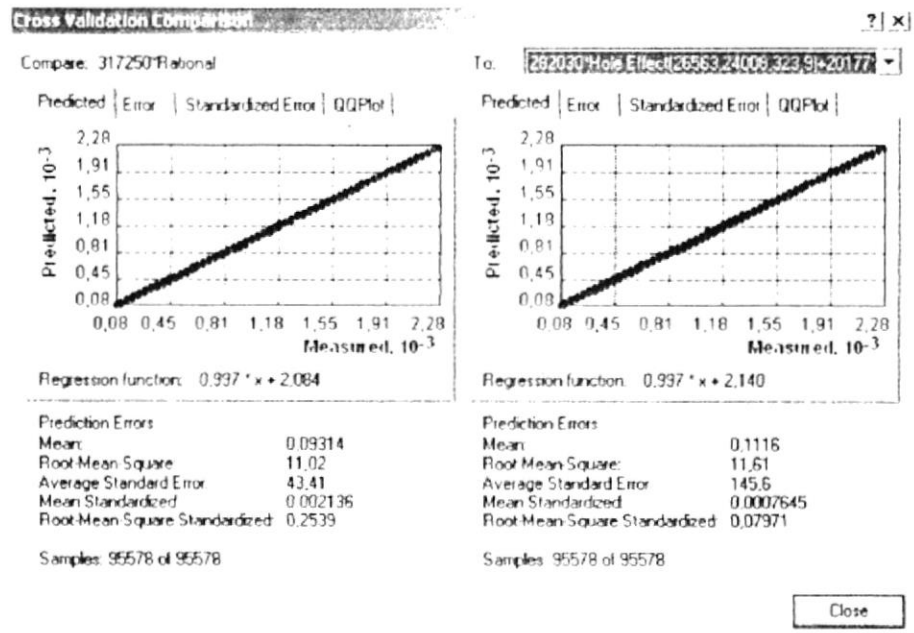
VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), CON UN LAG INTERVAL DE 2400 CON ANALISIS DE ANISOTROPIA, USANDO EL ESTIMADOR ORDINARY KRIGING DEL SOFTWARE ARGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.



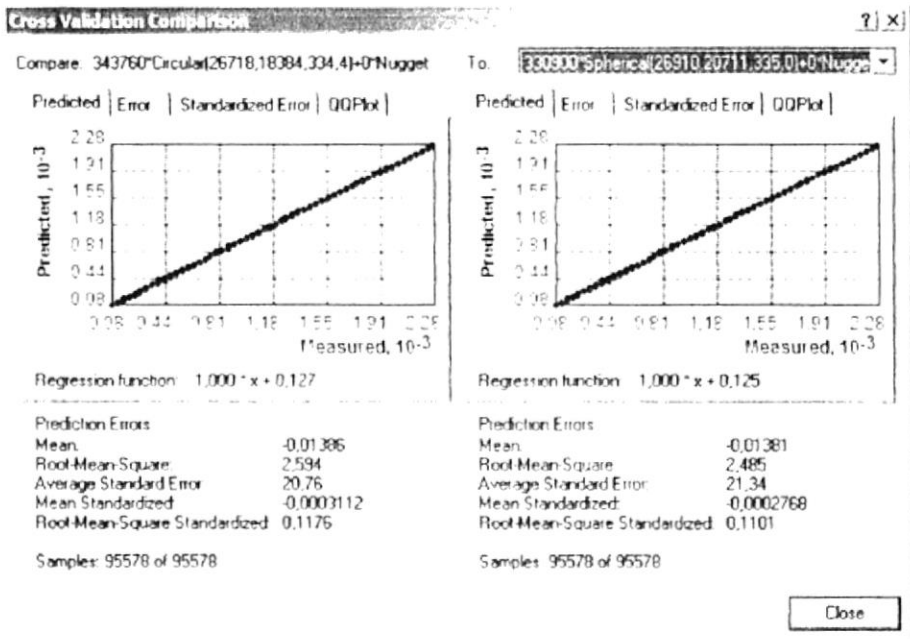


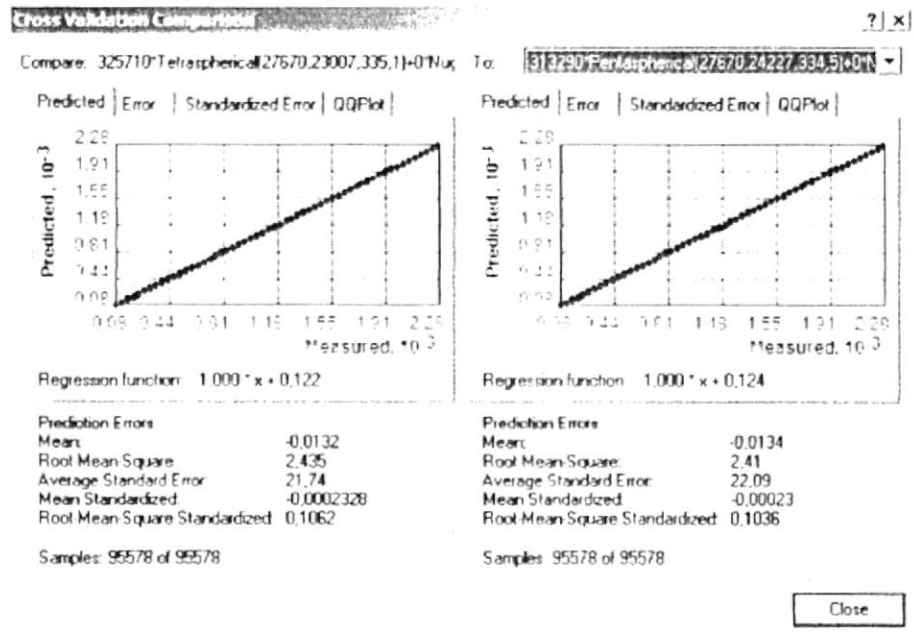
VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), CON UN LAG INTERVAL DE 2400 CON ANALISIS DE ANISOTROPIA, USANDO EL ESTIMADOR ORDINARY KRIGING DEL SOFTWARE ARGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.



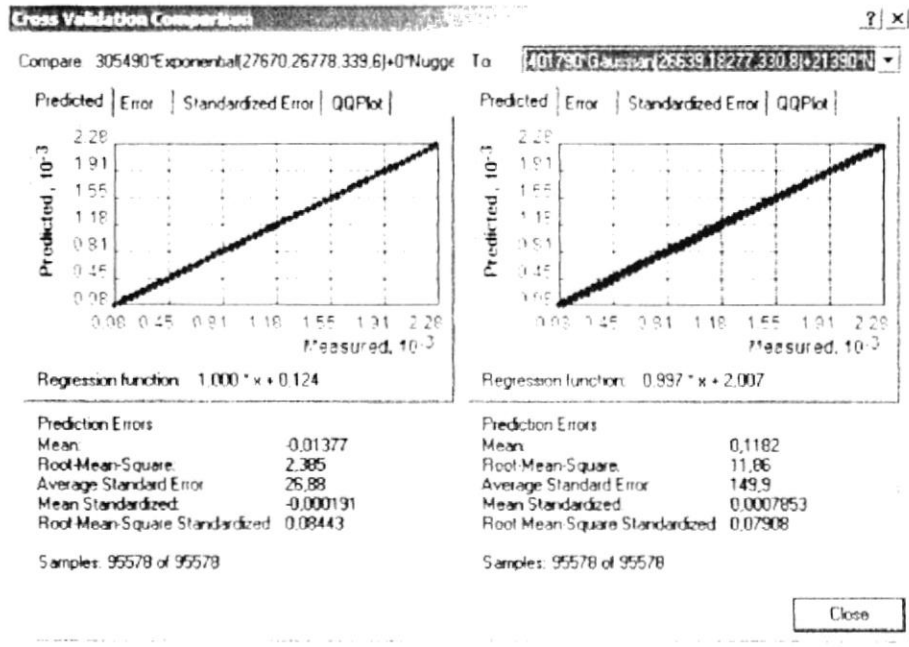


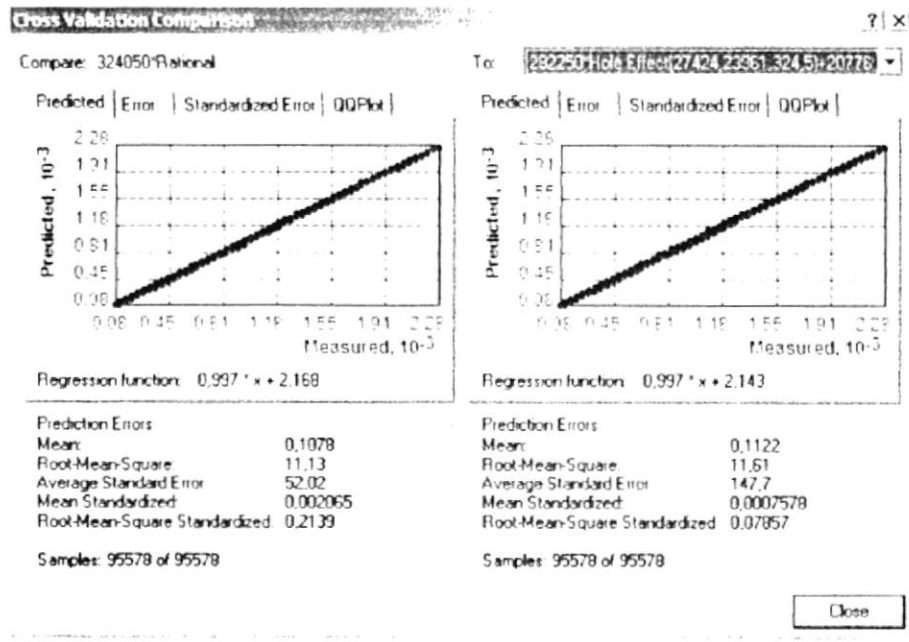
VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), CON UN LAG INTERVAL DE 2500 CON ANALISIS DE ANISOTROPIA, USANDO EL ESTIMADOR ORDINARY KRIGING DEL SOFTWARE ARGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.





VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MODELOS DE SEMIVARIOGRAMAS OBTENIDOS PARA GENERAR EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), CON UN LAG INTERVAL DE 2500 CON ANALISIS DE ANISOTROPIA, USANDO EL ESTIMADOR ORDINARY KRIGING DEL SOFTWARE ARGIS GEOSTATISTICAL ANALYST.



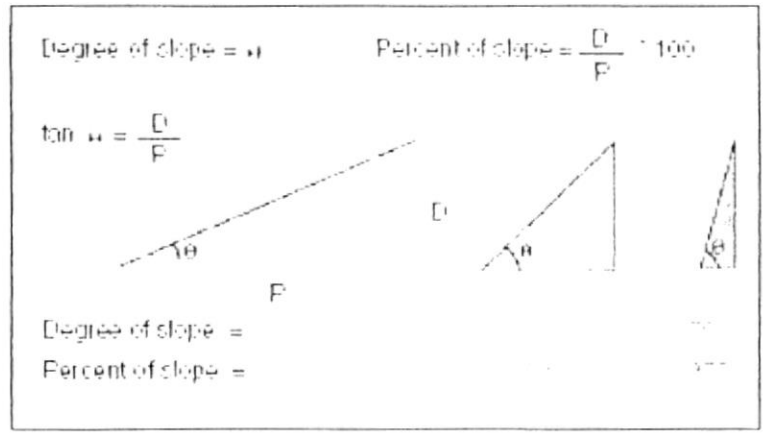


ANEXO B

PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE PENDIENTE CON ARCGIS SPATIAL ANALYST

PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE PENDIENTE (GRADOS O PORCENTAJES) CON ARCGIS SPATIAL ANALYST

El procedimiento para calcular la pendiente en una cuenca a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT), con la ayuda de la extensión Spatial Analyst del Software ArcGis, emplea la función pendiente (Slope function) que calcula la máxima tasa de cambio entre cada celda y sus vecinos (El máximo cambio en elevación se realiza a través de las distancias entre la celda y 8 celdas vecinas). El resultado es un mapa que puede ser calculado en porcentajes de pendiente o en grados.



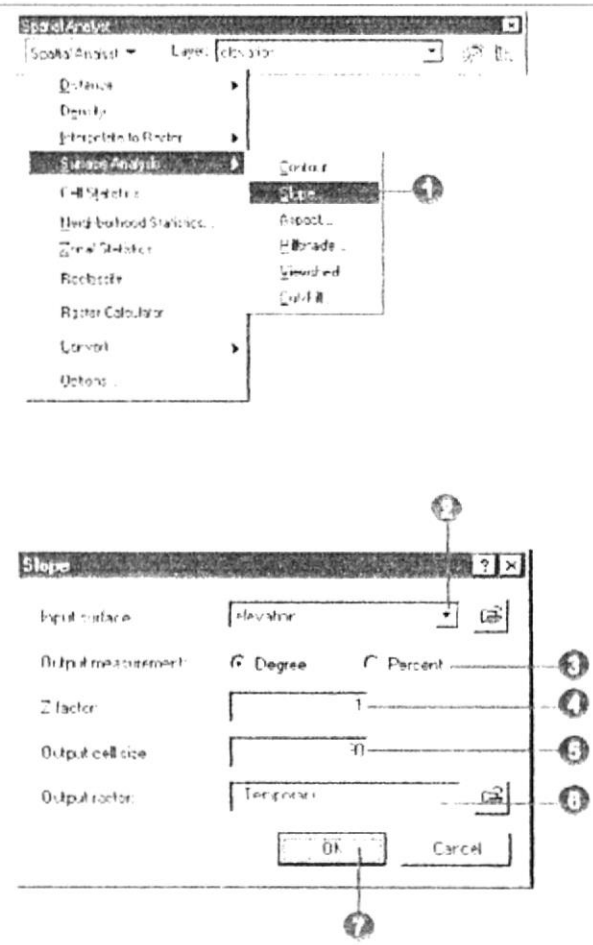
Fuente: ArcGis Spatial Analyst Manual

Cuando el ángulo de la pendiente es igual a 45 grados, los dos catetos (P y D) del triángulo son iguales, esto expresado en porcentaje indica que el ángulo de la pendiente es 100%, y cuando el ángulo de la pendiente se

aproxima a la vertical (90°), el porcentaje de pendiente se aproxima al infinito.

Para calcular la pendiente con ArcGis Spatial Analyst se realiza lo siguiente:

1. Click en el menú Spatial Analyst (Análisis Espacial), luego en la sección Surface Analysis (Análisis de Superficie) y finalmente en Slope (Pendiente).
2. Se selecciona el Modelo Digital del Terreno (MDT) de entrada
3. Se selecciona la unidad del resultado, que puede ser en grados o en porcentaje de pendiente.
4. Si se desea se cambia el valor Z-factor (Z-factor se multiplicará al resultado de la pendiente)
5. Se selecciona el tamaño de celda que tendrá el mapa de pendiente
6. Se especifica el nombre del mapa de pendientes.
7. Click Ok



ANEXO C

REGISTROS DE ESTACIONES METEOROLOGICAS CERCANAS A LA CUENCA ALTA DEL RIO SANTA ROSA

ESTACION PLUVIOMETRICA AYAPAMBA (Lat: 3° 37'00' S; Long: 79°40' 30" W; Altura: 1425 m). PREDESUR. M-735 (según INAMHI).															
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PDMAX 24h	DDLL
1975						60	7	40,8	18	119,9	1,5	32,2			
1976	422,6	389	368,9		211,2	49,3	45	17	10,4	4,8	34,2	83			
1977-1981															
1982	183,7	263,8	249	185,9	128,7	12,5	5,8	0,4	55,1	174,5	149,1	368,5	1777	51,4	212
1983	503,4	221,1	481,3	434,6	425,6	147,4		31,8	100	48,1	99	200,6	2692,9	83,4	224
1984	100,2	550,5	531,4	247,2	42,9	84,2		9	13	76,5	56,6	363,5	2075		
1985	444,9	182	161	103,2	80,3	0,6	1,8	6	35,6	5,4	16,9				
1986	458,4	248,4	72,5	357,8	70,9	1,1	2,5	14,2	5	19,2	33,8	183,7	1467,5	63,9	183
1987															
1988	428,9	514,9	67,5	277,7	170,5	17,5	12,5	0,8	33,4	33,2	52,9	121,1	1730,9	74,8	207
1989															
1990	150,4	182,5		244,6	99,7	44,7	15,5	0,5	2,7	26	31,4	102,4			
MEDIA CON 1982-83	336,6	319,0	275,9	264,4	153,7	46,4	12,9	13,4	30,4	56,4	52,8	181,9	**1743,8**		
MEDIA SIN 1982-83	312,7	333,0	241,7	236,1	114,9	33,7	12,9	11,1	21,7	41,6	40,8	155,2	**1555,4**		

DDLL, días de lluvia

ESTACION PLUVIOMETRICA BALSAS (Lat: 3° 46' 00" S; Long: 79° 49' 30" W; Altura: 700 m). PREDESUR. M-736 (según INAMHI).															
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PMAX 24 h	DDLL
1982	116,2	127,1	62,8	95,6	77,4	3	1,7	0	29	104,6	117	458,1	1192,5	71,4	172
1983	483,9	259,2	384,5	297,5	372,6	96	58,5	17,3	39,7	44,3	36,4	197	2286,9	124,7	254
1984	35,3	494,4	342,5	292,5	26,5	37,7	9,7	10,8	2,7	38,2	11,2	59,8	1361,3	104,2	183
1985	154,1	76,4	98,6	26,7	45,4	3,6	2,2	1,8	2	6,5	2,3				
1986	262,8	155,5	38	236,3	42,4	3,2	1,9	0	0	7,3	18,4	65,2	831	34	142
1987															
1988	325,7	320,6	26	104,9	14,5	43,7	15,7	1,8	0	37,9	34	177,5	1102,3	56,5	150
1989															
1990	82,3	231,1	155,6	303,3	74,4	19,7	4,2	0,5	0,9	14,1	25	60,2	971,3	64,8	157
MEDIA CON 1982-83	208,6	237,8	158,3	193,8	93,3	29,6	13,4	4,6	10,6	36,1	34,9	169,6	**1190,6**		
MEDIA SIN 1982-83	208,6	237,8	158,3	193,8	46,8	18,5	4,3	3,7	1,9	24,7	21,2	111,9	**1031,5**		

DDLL, días de lluvia

ESTACION PLUVIOMETRICA LAS CHILCAS (Lat: 3° 37' 26" S; Long: 79° 52' 05" W; Altura: 320 m). INAMHI.															
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PMAX 24 h	DDLL
1973									24,3	20,8	24,1	36,4			
1974		166,5		123	114,1	89	146,4	51,8	36,4	31		104,1			
1975	147,7	528,8	360,9	258,2	114	42,3	32,2	31,3	23,2	77,2	21	9,4	1646,2	97,6	206
1976		507	496	94,1	238,7		1,5	40,5	24,1	17,1	36,8	13			
1977	232,8	260	1,1	93,6		30,4	15,8	7,2	8,8	26	11,6	4,5			
1978	25,4	110,7	67,7	31,3	17,3	42,9									
MEDIA	135,3	314,6	231,4	120,0	121,0	51,2	49,0	32,7	23,4	34,4	23,4	33,5	**1169,9**		

DDLL, días de lluvia

ESTACION PLUVIOMETRICA GUAYACAN (Lat: 3° 46' 29" S; Long: 79° 43' 15" W; Altura: 1160 m). PREDESUR. M-739 (según INAMHI).															
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PMAX 24 h	DDLL
1982	247,1	224,1	89,2	130,2	160,2				37	92,2	89,7	400,8	1470,5	55,6	130
1983	360,7	150,7	300,3	268,3	273,8	50,7	26,6	3,4	30,3	34,7	67,7	70,1	1637,3	79,1	152
1984	75,3	455,3	268	233,3	34,6	15,4	0,8	3,2	2,2	52,9	15	54	1210	61,9	130
1985	210,8	46,8	134	34,5	54,2				7,8	6,2	6,1				
1986	203,9	180,2	42,6	309,1	19,8				4	3,8	40,8	62,4	866,6	62,3	99
1987															
1988	299,7	292,3	59,6	161,2	39,2	2,1	11,7		10,2	3	32,5	151,9	1063,4	50,8	93
1989															
1990	91,2	194,4		190,3	84,9	6,9				36	22,2	86,4			
MEDIA CON 1982-83	212,7	220,5	149,0	189,6	95,2	18,8	13,0	3,3	15,3	32,7	39,1	137,6	**1126,8**		
MEDIA SIN 1982-83	188,0	220,5	118,7	176,4	65,5	8,1	6,25	3,3	6,1	22,8	30,7	85,0	**931,3**		

DDLL, días de lluvia

ESTACION PLUVIOMETRICA HUERTAS (Lat: 3° 36' 06" S; Long: 79° 37' 47" W; Altura: 1350 m). PREDESUR. M-479 (según INAMHI).															
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PMAX 24 H	DDLL
1971				512,5	294,2	70,6	85,4	11,5	17,9	118,4	37,7	70			
1972	337,5	368,7	498,2	270,5	363	124,6	30	35,1	48,7	40,9	44,8	241,7	2403,7	78	226
1973	319,1	449,9	626	405,7	380,8	82,3	1,6	17,5	**149,4**	1,7	40,7	164,1	2638,8	93,9	228
1974	215,4	334,7			17,1	150,1	5	19,3	72,8	54,4	56,9	144,8			
1975	213,5	428	606,6	613,7	246,2	76,1	58,6		26,8	73,6	22,4	54,5			
1976	413		453,5	252,9	274,9	89,6	11,2	7,5	26,8	0,9	27,6	90,8			
1977		353	167,8	177,6											
1978															
1979															
1980	34	107	95,4	339,6	172,9	96,2	18,1								
1981															
1982			318,5	243,2	458	16,9	59,8		101	1055,8	744,2	747			
1983	817,7	701,2	1031	1004,6	805,6	159,1	196,9	29,4	106,6	101,6	147	368,5	5469,2	121	251
1984	226,7	**998,7**	454	450,2	143,9	220	62,2		27,1	178,2	114,5	379,6	3255,1		
1985	421,3	439,2	287,1	175,4	154	23,5	1		41,8	14,2	18				
1986	368,3	69,3	5,2	565,6	180,3			21,5	1			178,6	1389,8		
1987															
1988	552,3	677,8	172,8	330,9	205,1	30,2	18,6	1,5	98,6	34,8	104,7	223,2	2450,5	75,1	233
1989															
1990	207,7	190,2	317,9	287,2	193,9	86,3									
1991	195,2	329,1	416,5	306,5	167,6	60,4	11,1			50,3	103,6	262,7	1903	43,3	206
MEDIA CON 1982-83	332,4	419,0	389,3	395,7	270,5	91,9	43,0	17,9	59,9	143,7	121,8	243,8	**2529,0**		
MEDIA SIN 1982-83	292,0	340,6	340,0	352,3	232,3	86,7	30,2	16,3	51,1	56,7	57,1	158,9	**2014,1**		

DDLL, días de lluvia

ESTACION PLUVIOMETRICA MOROMORO (Lat: 3° 40' 48" S; Long: 79° 44' 28" W; Altura: 980 m). PREDESUR. M-743 (según INAMHI).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PMAX 24 h	DDLL
1971			258,5	180,4	74,7	20,5	2,1	48,9	36,5	16	11,7	52,1			
1972	315,6	186,2	558,8	357,7	132,1	32,1	17,7	34,7	19,3	6,4	37,7	171,1	1869,4	78,7	191
1973															
1974	57,9	280,8	240,9	117,9	44,8	45,5	1,1	6,8	9,7	24	26,1				
1975	150	348,4	343,1	253	97,1		0,5		1,2	53,4	19,6	18,9			
1976	553,6	527	481,5	97,2	96,9	21,9	5,9	34,1	8,2	2,9	41,5	40,5	1911,2	164	211
1977-81															
1982	140,9	152,1	108,1	80,6	55,1	2,2	6,4		44,2	92,6	163,9	534,9	1381	65,6	158
1983	328,9	225,6	503,5	323,5	231,5	48,2	31,1	9,4	33,3	31,5	28,3	259,5	2054,3	78	199
1984	68,9	444,3	353,8	264,4	17,3	45,3	7,1	11,2	0,7	45,4	9,4	92,6	1360,4	70,4	164
1985	193,1	60,4	216,8	45,8	51,2	3,5	2	2,9	8,8	5,1	3,8				
1986	276,9	180,7	51,8	254,1	27,3	0	1,2	7,3	1,1	7,3	20,8	106	934,5	56,5	163
1987															
1988	332	431,5	29,5	168,9	54,3	1,9	7		5,8	11,4	27,2	106,2	1175,7	51,5	135
1989															
1990	84,9	223,5	100,8	250,3	93,7	30,3	5,2		2,7		13,5	45,2			
1991	58,3	205,2	281,3	88,8	66,7	14,8	1,8	1,2	3	11,8	15,1	260,6	1008,6	82,8	154
MEDIA CON 1928-83	213,4	272,1	271,4	191,0	80,2	22,2	6,9	17,4	13,4	25,7	32,2	153,4	**1299,3**		
MEDIA SIN 1928-83	202,9	272,1	252,1	179,9	67,6	19,8	4,8	17,4	8,8	19,6	21,2	115,3	**1181,6**		

DDLL, días de lluvia

ESTACION PLUVIOMETRICA PACCHA (Lat: 3° 35' 08" S; Long: 79° 39' 45" W; Altura: 1540 m). PREDESUR. M-744 (según INAMHI).															
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PMAX 24 h	DDLL
1982	300,8	302,1	264	287,3	218,4	11,6	9,5		130,6	215,6	207,1	490,1	2437,1	93,3	197
1983	722	268,3	581	555,8	314,7	114,5	62,5	20,7	68,5	100,3	93,5	268,7	3170,5	79,9	182
1984	48,7	603,6	491,9	450,6	89,4	78,1	20,6	10,5	29,3	115	43,4	198,4	2179,5	84	175
1985	277,9	193,1	296,3	142,8	98	18,8	0,2		62,2	21,9	17,5				
1986	555,3	295,7	108,1	512,3	97,8	1,1		21,1	1,8	36,9	44,1	230,9	1905,1	84,3	145
1987	497,5	311,9	253,2	299,7	119	16,9	19,1	43,4	19,1	40,7	48,9	115,7	1785,1	65,1	162
1988	566,1	619,3	109,3	412,6	184,8	20,1	13,9		39,9	68,9	76,8	136,1			
1989															
1990	179	443		312,1	139,7	62,6				47,8	36,6				
1991		428,5	368,2						7,9	42,5	68,3				
MEDIA CON 1982-83	393,4	385,1	309,0	371,7	157,7	40,5	21,0	23,9	44,9	76,6	70,7	240,0	**2134,4**		
MEDIA SIN 1982-1983	346,5	399,7	270,1	345,3	135,3	29,9	12,7	25,0	26,7	53,4	53,6	190,0	**1888,1**		

DDLL, días de lluvia

ESTACION PLUVIOGRAFICA PIÑAS (Lat: 3° 40' 00" S; Long: 79° 39' 00" W) INAMHI. M-773.															
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PMAX 24 h	DDLL
1985	242	72	163,3		22	7						114			
1986	166	53	18	101,4						26	84				
1987	234,6	88,8	171	221,6	144,4	48,1	8	20				37,5	974	80	81
1988															
1989	280,9	454,7	222	57		8	53	1	130	79,9	8,5	162,4	1457,4	100,2	122
1990	*905*	*1830*	*1110*	*1817*	*512*	*326*	*165*	1		7,1	2,7	52	6727,8	450	132
1991	39,9	252,6	404,8		224,5	116	16,6	6	14	46,4		310,4	1431,2		
1992	177	239,1	319,7	215,4	132,4	72,7	10,9	7	33,7	5,3	10,2	70	1293,4	60,2	208
1993	164,6	490,9	398,2	2,3	132,8	18,2	23,2	14,4	23,7	38	17	159,2	1482,5	79	228
1994	356,2	255,2	162,6		75	12,9		1		4,4	22,8	122,2			
MEDIA	207,7	238,3	232,5	119,5	121,9	40,4	22,3	7,2	50,4	29,6	24,2	128,5	**1222,3**		

DDLL, días de lluvia

ESTACION PLUVIOMETRICA PORTOVELO (Lat: 3° 42' 45" S; Long: 79° 36' 46" W; Altura: 900 m). INAMHI. M-479.															
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PMAX 24 h	DDLL
1965	156	249,1	459,3	312,8	179,9	5	7	10,5	39	46,2	59,4	150,1	1674,3	82,4	135
1966	272,9	105,5	169,8	155,5	73,3	4,6			21,5	60,6	31,3	46,4	941,4	54,5	98
1967	242,6	465,9	145,6	66,8	17,8	4,8	8,5	4	4	13,3	4,2	21,5	999	80,4	96
1968	131,2	157,6	344,8	149,8	15,2	6,7	0,1	T	10,4	48,6	5,1	64,3	933,8	52	86
1969	128	310,8	362,2	403,1	19,5	95,8		0,8	17,5	16,8	32,8	145	1532,3	104,9	126
1970	218,8	194,6	146,5	249	169,8	6			18,4	42,9	24,1	100,8	1170,9	56,1	119
1971	266,4	282,7	316,4	127,3	81,6	49,5	5,4	5,1	39,8	28,2	50,9	94,1	1347,4	44	148
1972	255,2	215,4	345,4	176,5	220,6	151,9	14,6	28,4	8,1	11,3	60,9	129,8	1618,1	91,4	151
1973	217,4	196,7	220	327,2	206,5	48,5	1,9	8,7	37,5	1,5	14,8	121,3	1402	83,3	161
1974	161,8	267,6	231,1	146,1	61,7	16,7	9,5	12,7	30,1	71,8	59,8	67,1	1136	67,5	169
1975	171,2	412,3	448,1	376,1	144,6	57,5	1,9	35,8	9,6	132,8	12,1	41,4	1843,4	68	177
1976	322,1	410,9	307,6	216,5	117,1	5,7	7,6	2,3	4,6		9,1	35,2	1438,7	46,2	143
1977	245,7	259,2	162	126,7	8,7	18,5				7,8	14	73,5			
1978	62,9	125,1	34,6	112,9	68,6	7,8			5,7		17,9	48,6	484,1	23,8	84
1979	137,6	222,2	354,1	148,6	85,1			13,3	75,2	2,8		18,4	1057	62,6	95
1980	175,3	223,3	134,7	286,7	44,4	6,4			4,8	40,2	39,3	140,5	1095,6	85,8	105
1981	193,6	298,6	338,3	154,3	11,3	7,2									
1982															
1983	322,5	104,9	301,7	381		94,2	17,2	5,6	34,4	56,4	22,4	250,5			
1984	75	483	331,5	283,5	136,3	25,1	28	4	3,5	86	9,8	83	1548,7	72	138
1985	242	83,5	195	98	67	9	2	8	30	13,5	13	179	940	54	105
1986	269	246	55	358	47			6	9	5,5	19,8	73,7	1089	47	129
1987	258	113	143	109	100		48	9	6	19	62	39	906	53	116
1988															
1989	377	315,9	229,5	116,2	2,4	6,2			0,7	5,7	1,2	5,7	1060,5	75	129
1990	18,6	22,6	20,9	31,7	16,4	2,8	0,8		2,4	5,9	4,5	10,9	137,5	4,5	128
1991	81,7	134,6	502,2	96,5	72,2	2,2				0,9	80,4	118	1088,7	126	115
1992	98,7	28,8	38,6	37,2	16,2	5		0,4	19,7			49,8			
1993	195,7	347		99,5	66,2	3,2	7,1	0,3	4,9	38,6	17,5	204,9			
1994	22	345,8	204,2	268,5	126,5	6,7		1,1	2,1	6	33	133,5	1149,4	84,5	139
MEDIA CON 1982-83	190,0	236,5	242,3	193,4	80,6	25,9	10,6	8,7	17,6	31,8	28,0	90,6	**1155,8**		
MEDIA SIN 1982-83	185,1	241,4	240,0	186,4	80,6	23,0	10,2	8,8	16,9	30,7	28,0	90,6	**1141,7**		

DDLL, días de lluvia

ESTACION PLUVIOMETRICA RIO PINDO A.J. AMARILLO. (Lat: 3° 45' 46" S; Long: 79° 38' 05" W; Altura: 610 m.) INAMHI. M-480.															
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PMAX 24h	ND LL
1968	56	48,7	89,6	73,6		4,8		0,6	0,6	52,6	8	0	334,5		
1969	141,2	220,4	273,3	279,4	29,9	90,1			6,9	17,7	23,1	118,9	1200,9	51,2	100
1970	201,2	207,4	89,5	107,7	245,1	1,5	1,4			21,1	19,9	116,1			
1971	246,5	292,2	330,8	105,7	71	49,8	3	9,8	38,2	27,8	33,1	76,5	1284,4	50	132
1972	269,3	119,2	405,3		149,4	50,4	24,1	43,7	11,1	3	62,7	109,9			
1973	147,4	265,3	268,3	188,4	183,1	25,2	3,2	2,3	39,5	8,6	13,2	91,4	1235,9	75,5	108
1974	183,1	224,6	274,5	141,3	25,1	47,7		18,7	11,6	57,7	46,7	104,2	1135,2	97	95
1975	105,9	419,7	342,9	276,4	87,9	60,8	1,6	16,5	11,9	115,6	11,7	48,7	1499,6	55,1	138
1976	245,2	397	284,1	176,5	70,1	7	1,5		0,9		7,4	35,4	1225,1	38	110
1977	235,5	192	173,5	166,4	21,3	11,7			53,7	14	4				
1978	102,6	140,7	172,9	111,5	68,9	4,5	0,9		19,4		13,3	68,1	702,8	73,8	85
1979	115,4	170,7	299,4	401	108,3			3,2	48,4			20,7	1167,1	82,3	85
1980	152,2	217,4	68	227,2	109,2					32	54,3	87,7	948	62,6	78
1981	138,1	356,1	358,8	146,3	2,1	1,8	3			3,3	7,3	134,2	1151	61,9	98
1982	318,5	210,6	124,2	129,3	124	1,2			68	*143,9*	*144*	*275,4*	1539,1	81,5	132
1983	*1748,9*	*503,8*	*2210,4*	*668,3*	*870,6*	*307,6*	*12,1*	*20*	*28,7*	*161,5*	53,7	301,3	6886,9	346	152
1984	63,2	468,3	219,6	273,3	34,2	105	11,3	3,9		67,6	34,2	443,1	1723,7	175	133
1985	198,5	65,8	125,5	59,8	51,2			1,5	26,9	8,5	39,4	165	742,1	72	95
1986	253,1	172,8	39,6	295,5	30,7					2,7	28,5	32,4	855,3	47,8	96
MEDIA CON 1982-83	259,0	247,0	323,7	212,6	126,8	51,3	6,2	12,0	26,1	46,1	33,6	123,8	**1468,3**		
MEDIA SIN 1982-83	176,3	232,7	218,9	185,8	83,0	33,0	5,6	11,1	25,9	30,9	27,1	114,9	**1145,2**		

DDLL, días de lluvia

ESTACION PLUVIOMETRICA SARACAY. (Lat: 3° 38' 37" S; Long: 79° 52' 00" W; Altura: 180 m.) INAMHI. M-569.															
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PMAX 24 h	DDLL
1965	144,2	158,7	363,1	226,6		5,1	10,1	15,3	4,3	12,2	15,3	124			
1966	180,4	143,2	72,6	22,5	95					31,2		31,3	576,2	57,5	38
1967	375,8	249,1	4,7	23,8				15		25,3		11,8	705,5	70,7	37
1968	37	39,5	41,3	39,9				1,2		12,7		21	192,6	22,2	23
1969	104,1	109,9	349,8	293,7	176,3	12,2					33,1	51,6	1130,7	55,3	64
1970	120,1	153,8	132,3	125,1	245,1	16,4				8,5		104,7	906	50,5	53
1971	250,3	306	203,3	127,9	36,8	32,3	8,5	13,5	11	4	54,1	59,1	1106,8	40,3	67
1972	98,6	147,7	381,6	317,5	244,3	129,4	1,2		30,5	10,5	31,8				
1973	444,2	579,6	498,5	419	145	41,4	36	9,3	42,4		9,3	49,2			
1974	113	25,7	23,5	152	115,5	53			2		10,5	126,4			
1975	321				162	10,4			8,5			24,5			
1976	368,1	784,6	578,3	389,8	114,3	45,3	15	17,9				13,9	2327,2	135	76
1977	207,4	147,8	213,9	118,7					55,9		29,5				
1978	27	177,4	125,4	135,2	25,5				3,4						
1979-1983															
1984							9,5	6,9	4,4						
1985		64,7	141,8	44,5	1,4										
MEDIA	199,4	220,6	223,6	174,0	123,7	38,4	13,4	11,3	18,0	14,9	26,2	56,1	**1119,7**		

DDLL, días de lluvia

ESTACION PLUVIOMETRICA GUANAZAN. (Lat: 3° 27' 00" S; Long: 79° 30' 00" W; Altura: 2580 m.) PREDESUR. M-738 (según INAMHI).															
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PMAX 24 h	DDLL
1982	65,1	68,5	76,8	161,5	89,4				13,1	*90,7*	*140,5*	*215,1*	920,7	90,8	101
1983	*212,5*	*60*	*146,4*	*207,5*	*113,4*	*19,7*	*14*		*11,4*	*66,6*	26,5	96,1	974,1	50,1	96
1984	26,2	322,5	281,1	127,7	15,7	30,5	32,3		6,3	75,6	25,4	37	980,3	64,4	95
1985	101,5	33	84,9	62,5	65,3			15,5	3,1	11,4	38,1				
1986	157,2	150,3	93,3	223,5	56,1		8,6	31,8	21,2	18,7	22,9	125	908,6	45,8	130
1987	180,2	68,2	128	129,3	136,1		12,4	7,6		21,4	31,4	7,6	722,2	42	96
1988	149,9	112,5	56,8	268	32,9	26,1	12,1						658,3		
1989															
1990	31,1			212,9	141,7	34,2				79,7	68,3	89,4			
1991											28	148,2			
MEDIA CON 1982-83	115,5	116,4	123,9	174,1	81,3	27,6	15,9	18,3	11,0	52,0	47,6	102,6	**886,3**		
MEDIA SIN 1982-83	101,6	125,8	120,2	169,3	76,7	30,3	16,4	18,3	10,9	41,4	34,4	83,9	**829,1**		

DDLL, días de lluvia

ESTACION PLUVIOMETRICA USCHURRUMI. (Lat: 3° 19' 16" S; Long: 79° 35' 00" W; Altura: 290 m.) INAMHI. M-481.															
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PMAX 24h	ND LL
1975				79,6	61,6	33,4	32,8	18,5	15,8	38,2	26,2	27,1			
1976	143	248	144,1	64,1	80	42	21	52,5	13,8	14,3	32,8	37,9	893,5		
1977	112,7	107,6	154,3	89,9	4,2	14,4	8,9	14,6	26,5	16,2	7,5				
1978	39	96,7	159,4	89,6	33,9	14,1	12,6	14,4	15	7,3	10,7	39,4	532,1		
1979	105,8	38,1	96,9	55,1	33,3	17,8	6,7	3,6	14,2	14,6	4	10,2	400,3		
1980	55,4	101	180,6	299,9	19,8	24,1	6,8	4	5,5	32,6	19,2	50,1	799		
1981	68,8	107,4	126,7	40	19,2	16,4	16,5	6,7	11,2	19,4	23,1	53,8	509,2		
1982	68,1	40,9	30,5	35,9	52,7	11,5	15,4	6,7	15,3	*44,8*	*175,7*	*292,5*	790	70	193
1983	*222,1*	*90,2*	*237,9*	*122*	*99,5*	*43,6*	*19,7*	*23,1*	*28,7*	*46,4*	41	164	1138,2	80,8	209
1984	27,4	300,1	186,1	113,1	27,2	55,9	15	13,1	17,5	34,5	22,3	32,6	844,8	70,3	155
1985	55,7	18,7	143,4	7,7	19,5	14,1		8,8	11,7	12,5	10,9	103,1			
1986	143,9	63,8	45,7	97,9	28,9	8,7	16,4	12,9	9,6	19,4	19,5	72,4	539,1	44	190
1987	138	68,1	183,1	107	94,2	24,7	53,4	23,4	22,7	29,2	8,3	20,2	772,3	55,2	197
1988	158,4		12,9	149	15,1	33,2	13,9	7,6	9,7	24,8	31,5	70,6			
1989	208,2	432,9	611	174	97,8	167,6	22,2	7	11,8	25,2		5,6			
1990	17,2	74,6	83,3	44,6	104,6	32,1	8,2	6,7	1,3	33,1	23,6	39,7	469	16,5	241
1991	21,4	149,9	77,1	27,2	30,7	12,5	11,7	14,3	10,4	21,7	11,2	57,6	445,7	45	217
1992	85,1	119,9	213,7	152,1	90,9	24,5	37	17	22,9	18,8	21,4	36,1	839,4	45,2	274
1993	110	295,5	219,9	143,6	107,7	26,4	16,3	10,8	13,4	18,8	35,7	68,8	1066,9	90,5	231
1994	162,6	115,6	64,9	122,1	30,9	13,3	12,4	9,1	6	15,5	28,7	122,9	704	57,3	215
MEDIA CON 1982-83	102,3	137,2	156,4	100,7	52,6	31,5	18,3	13,7	14,2	24,4	29,1	68,7	**748,9**		
MEDIA SIN 1982-83	95,6	139,9	151,9	99,6	50,1	30,9	18,2	13,2	13,4	22,0	21,0	56,2	**712,0**		

DDLL, días de lluvia

ESTACION CLIMATOLOGICA EL SALADO. PRECIPITACION. (Lat: 3° 44' 53" S; Long: 79° 38' 20" W; Altura: 580 m). PREDESUR. M-239 (según INAMHI).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PMAX 24 h	DDLL
1983		114	193,5	212,1	268,1	39	4,6	0,8	34,7	32,2	11,8	126,5	1037,3		
1984	53	399,2	283,1	214,7	30,4	6,6	7,7	0,7	1,9	64,7		76,2	1138,2	55,2	126
1985	171,3	43	117,6	71,4	43,9			3,2	8,3	5	5,1				
1986	188,3	150,1	32,5	246,5	11,6			1,1	24,8	7,9		88,9			
1987	255,8	77,9	125,4	124,8	39,4	0,1	37,6	3,9	2,4	6,1	27	20,2	720,6	67,8	97
1988	323,2	283,7	57,5	193,5	47,4	1,4	4,4	0,3	13,7	9,4	37,4	137,1	1109	80,3	136
1989	305,1	223,5	157,5	148,8	16,1			3,4		23,7	1,3	6,1			
1990	100	164,2		313	127,8	5,3	1,5		1,7	31,3	16,4	77,7			
1991	70	105,6	319	88,7	96,6	6,4			0,2	12,7	29,2	99,7	828,1	69,7	98
MEDIA	183,3	173,5	160,8	179,3	75,7	4,0	4,6	1,9	11,0	21,4	18,3	79,1	**912,7**		

DDLL, días de lluvia

ESTACION CLIMATOLOGICA EL SALADO. TEMPERATURA. (Lat: 3° 44' 53" S; Long: 79° 38' 20" W; Altura: 580 m). PREDESUR. M-239 (según INAMHI).													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1983		25,9	25,8	25,5	25,5	25,6	25,7	25,7	24,9	25	25,4	24,6	
1984	24,8	24,2	24,5	24,5	24,4	24,4	24,2	24,7	24,7	24,8	24,6	24,8	24,6
1985	23,4	24,6	24,9	24,9	24,9	25	24,5	25,2	25,7	26	26,1		
1986	24,5	24,5	25,6	25	25,4	25,1	24,9						
1987	25,3					25,8	25,8		26,4	26,4	26,5	26,5	
1988	24,9	24,9	25,3	25,3	25,1	25,1	25	25,4	25,5	25,5	25,4	24,8	25,2
1989	24,5	24,5	25,1	25	25,5			26,1	26,3	25,8	26,4	25,9	
1990	25,5	25,3		25,2	25,6	25,2	25,5	26,2	26,2	25,9	26,2	25,8	
1991	25,8	25,6	25,9	25,6	25,3	25,7	25,8	26,2	26,3	26,4	26,8	25,8	25,9
MEDIA	24,8	24,9	25,3	25,1	25,2	25,2	25,2	25,6	25,8	25,7	25,9	25,5	**25,4**

ESTACION CLIMATOLOGICA MARCABELI. PRECIPITACION. (Lat: 3° 46' 58" S; Long: 79° 54' 32" W; Altura: 520 m). INAMHI. M-181.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PMAX 24 h	DDLL
1965	110,4	168	358,3	682,9	286,7	12,9	8,5	16,5	26	19,5	31,6	160,5	1881,8	104	98
1966	201	169,8	294,5	164,5	76,2	5,5			5	40	40	29	1025,5	76	44
1967	240,1	439,5	114,6	40		15				6		28	883,2	56	45
1968	95,4	73,6	159	53,8				8		15			404,8	45,8	18
1969	182,5	178,8	373,4	469	34,8	208,4				5,5	21,8	67,6	1541,8	95	60
1970	167	246	80,2	134	268	16	14		16,5	12,5	20,6	92,8	1067,6	96	52
1971	187,9	369,5	455,7	144	58,4	33,9	3,5	3,5	16,7	26,1	26,1	8	1333,3	80,4	81
1972	191	228,6	641,6	324,5	108,5	105,6	46,9	31,1	33,2	22,7	52,7	169,6	1956	91	87
1973	366,4	523,9	485,1	463,7	95,1	61,6	18	19,6	39,6			161,6	2234,6	120,6	66
1974	207,8	388,3	303,7	240	104,5			5,9	12,8	28	22,3	75,5	1388,8	106,2	80
1975	137,5	555,3	674,4	417,1	218,4	6,2									
1976															
1977										0,6	2,7	15,3			
1978-80															
1981			231,3	99,9	5,8	3,9	0,7			3,1	6,4	33,8			
1982	63,6	152,9	41	136,3	60,1	8,1	1,5	0,1	14,9	91	187,4	742,9	1499,8	122,2	151
1983	540,4	274,5	363,5	419,2	303,6	129,7	16,3	26,9	51,1	34,1	20,4	156,2	2335,9	94,3	176
1984	31,8							26,9							
MEDIA	167,9	291,2	324,1	259,2	119,7	43,4	13,3	14,0	20,6	16,3	24,5	83,2	**1377,1**		

DDLL, días de lluvia

ESTACION CLIMATOLOGICA MARCABELI. TEMP. MEDIA. (Lat: 3° 46' 58" S; Long: 79° 54' 32" W; Altura: 520 m). INAMHI. M-181.													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1965	23	23,6	23,9	24	23,7	23,5	23,1	23	23,1	22,8	22,8	23	23,3
1966	23,4	23,4	23,4	23,4	23,1	23,3	23,4	23,2	22,8	22,6	22,8	23,5	23,2
1967	23,2	22,9	23,3	24	23,9	23,7	23,6	23,7	23,8	23,3	23,4	23,3	23,5
1968	23,5	23,3	23,5	23,5	23,4	23,2	23,4	23,3	23,3	23,2	23,2	23,3	23,3
1969	23,2	22,8	23,1	23	22,9	22,6	22,9	22,9		22,9	23,2	23,1	
1970	23	23,1	23,1	23,2	22,7	23	22,9	22,9	22,1	22,3	23,1	23,1	22,9
1971	21,9	21,9	21,9	21,7	22,1	22	22,5	22,3	22,2	21,8	22	22,6	22,1
1972	22,2	22,1	22,2	22,2	21,5	21,7	21,5	21,4	21,8	22,2	21,4	22,2	21,9
1973	21,4	21,4	22,1		22,1	21,3	21,7	21,6	21,3	21,9	21,7	21,9	
1974	21,9	22,6	22,3	21,9	22	21,9	22,1	21,7	20,9	21,4	22	21,8	21,9
1975	21,9	21,3	22	21,6	21,6	21,3							
1976													
1977										21,3	21,2	23,3	
1978													
1979													
1980													
1981			24,2	23,5	22,9		21,6	21,9		21,6	22,1	23,1	
MEDIA	22,6	22,6	22,9	22,9	22,7	22,5	22,6	22,5	22,4	22,3	22,4	22,9	**22,6**

ESTACION CLIMATOLOGICA MARCABELI. HUMEDAD RELATIVA. (Lat: 3° 46' 58" S; Long: 79° 54' 32" W; Altura: 520 m). INAMHI. M-181.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1965	88	87	88	87	88	87	86	86	86	86	86	85	87
1966	84	84	84	85	86	85	85	85	79	84	82	78	83
1967	84	84	82	78	79	80	80	79	78	81	80	81	81
1968	80	81	81	81	81	82	81	81	81	81	81	81	81
1969	81	84	82	82	82	83	82	82		81		82	
1970	82	81	81	81	82		82	82	80	82	82	76	
1971	79	79	80	80	79	79	80	80	81	81	79	77	80
1972	78	79	78	79	80	79	79	80	79	79	80	78	79
1973	79	81	79		84	81	79	81	81	79	80	80	
1974	80		78	79	79	76	78	82	84	85	83	84	
1975	81	81	79	81	80	80							
1976													
1977										87	89	85	
1978													
1979													
1980													
1981			94	94	95	98	96	94		92	91	91	
MEDIA	81,5	82,1	82,2	82,5	82,9	82,7	82,5	82,9	81,0	83,2	83,0	81,5	**82,3**

ESTACION CLIMATOLOGICA MARCABELI. NUBOSIDAD. (Lat: 3° 46' 58" S; Long: 79° 54' 32" W; Altura: 520 m). INAMHI. M-181.													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1965	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	5
1966	4	5	5	4	6	4	4	4	4	5	4	4	4
1967	5	6	4	4	3	4	3	3	3	5	5	4	4
1968	4	6	4	3	4	4	4	4	4	5	4	4	4
1969	5	6	4	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4
1970	5	5	4	4	5	4	4	4	4	5	5	4	4,0
1971	5	6	6	5	5	6	4	4	5	5	5	5	5
1972	5	4	4	4	5	5	5	4	4	4	6	5	5
1973	6	6	4		6	5	4	3	4	4	5	5	
1974	4	5	4	5	5	5	4	5	6	5	5	6	5,0
1975	5	6	4	5	5	5							
1976													
1977										7	7	6	
1978													
1979													
1980													
1981			7	7	7	6	6	6		6	7	7	
MEDIA	4,8	5,5	4,6	4,6	5,1	4,8	4,3	4,2	4,3	5,0	5,1	4,8	**4,7**

ESTACION CLIMATOLOGICA MARCABELI. EVAPORACION. (Lat: 3° 46' 58" S; Long: 79° 54' 32" W; Altura: 520 m). INAMHI. M-181.													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1965	95,1	67,3	57,8	55,2	50,3	49,5	62,5	80,6	91,3	86,6	86,5	88,1	870,8
1966	55,2	44,3	50,7	49,8	39,1	53,9	62,9	41,9	84,4	68,4	67,6	95	713,2
1967	42,7	27,1	42,6	62,7	48,6	44,6	52,8	44,1	57,1	38,3	39,6	40,3	540,5
1968	58,6	44	59,5	56	58,4	47,4	54,4	46,6	49,5	41,7	50,1	56,3	622,5
1969	50,9	34,8	56,7	48,4	46,9	42,7	58,2	54,5	57,7	74,8	83,3	88,9	697,8
1970	67,4	65,1	68,7	59,8	55,2	65,8	60,3	64,9	55,3	53,8	52,5	78,3	747,1
1971	55,1	55	48,2	42,9	52	42,4	74,3	62,7	62,5	66,5	71,2	76,8	709,6
1972	73,2	74	76,8	70,3	63,1	62	61,4	66,5	65,9	72,1	53,4	66,3	805,0
1973	50,5	54,8	75,5		50,8	54,1	69,9	72	61,8	65,4	61,9	68,7	
1974	72,7	59,5	80,9	66,9	70,9	66,8	78		80,7	77,6	109	87,6	
1975	90,5	56,4	89,1	75,9	71,6	65,6							
MEDIA	64,7	52,9	64,2	58,8	55,2	54,1	63,5	59,3	66,6	64,5	67,5	74,6	**746,0**

ESTACION CLIMATOLOGICA MARCABELI. VELOCIDAD VIENTO. (Lat: 3° 46' 58" S; Long: 79° 54' 32" W; Altura: 520 m). INAMHI. M-181.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1965	0,73	1,13	1,00	1,30	1,00	0,97	1,33	1,37	1,5	1,77	1,53	1,53	1,26
1966	1,8	1,6	1,3	1,27	1,23	1,00	1,23	1,33	1,57	2,07	1,87	1,73	1,50
1967	1,53	1,80	1,40	1,30	1,40	1,23	1,37	1,63	1,60	1,57	1,20	1,27	1,44
1968	0,97	1,27	0,97	1,03	1,00	0,70	1,03	1,63	0,97	0,77	0,83	0,77	0,99
1969	0,93	0,57	1,13	1,03	0,70	0,97	1,07	1,53	1,27	1,73	1,47	1,67	1,17
1970	1,43	1,27	1,00	1,00	1,10	0,93	0,83	2,00	0,63	0,90	0,87	1,07	1,09
1971	1,37	1,10	1,37	0,83	1,13	1,03	1,67	1,40	1,63	1,73	1,47	0,87	1,30
1972	1,07	0,87	0,90	0,63	0,53	0,50	0,63	0,70	0,87	0,63	0,63	0,63	0,72
1973	0,63	0,63	0,63		0,57	0,63	0,87	0,97	0,73	0,70	0,77	0,80	
1974	0,90	0,73	0,80	0,80	0,93	1,20	1,07	1,20	1,77	1,67	1,80	1,30	1,18
1975	1,37	1,33	1,13	1,03	1,00	1,07							
1976													
1977													
1978													
1979													
1980													
1981			1,47	1,57	2,70	2,63	2,90	3,07		3,03	2,97	2,27	
MEDIA	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,5	1,3	1,5	1,4	1,3	**1,2**

ESTACION CLIMATOLOGICA PTE. PUYANGO. PRECIPITACION. (Lat: 3° 52' 42" S; Long: 80° 04' 53" W; Altura: 290 m). PREDESUR. M-232 (según INAMHI).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PMAX 24 h	DDLL
1981		159	450,5	103,2	3	1									
1982															
1983	479	395	607	488,8	215,6	132,4	30,1			93	27	137	2604,9	113	145
1984	42	562,7	347	439	30	6	2	1	2	12		41	1484,7	140	103
1985	61,6	39,1	158,9	29,8	24,7	1,5		1		3					
1986	356,7	112,3	17,4	384,6	18,6					32,1	2	52,2	975,9	70,3	80
1987	403,9	295,7	390,9	293	85,7	5,1		2,3		5,7	7,9	5,4	1495,6	89	83
1988	181,4	207,6	3,6	62,7	18,6	3	7,7		1,7	1,3	5,4	100	593	36,3	86
1989	452,4	517,3	388,9	212,6	10	24,1					6,5	11,5			
1990	117,6	202,6	163	187,4	8,4	14,2					12,5	13,1	718,8		
1991	31,3	168,5	421,4	50,7	58,3						3,7	60,2	794,1		
MEDIA	236,2	266,0	260,2	195,9	28,6	7,8	4,9	1,4	1,9	10,8	6,3	40,5	**1060,5**		

DDLL, días de lluvia

ESTACION CLIMATOLOGICA PTE. PUYANGO. TEMPERATURA MEDIA. (Lat: 3° 52' 42" S; Long: 80° 04' 53" W; Altura: 290 m). PREDESUR. M-232 (según INAMHI).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1983	26,3	26,5	26,8	26,9		26,4	25,1	25,7	24,5	24,9	24,5	24,4	
1984	25,3	24,7	25,2	25,1	25,3	24,9	24,7	25,1	25,3	25	25,4	25,1	25,1
1985	25,2	25,1	25,2	25,4	25,6	25,3	25,1	25,1	25,2	25,4	25,5		
1986	25	25,1	25,7	25,5	25,6	25,8	25,5	25,6	25,2	24,8	25	25,6	25,4
1987		26							25,1				
1988							24,3	24,3	24,9	25,2			
1989	25,1	25,2	25,8	25,4	25,1								
1990	26,6			25,5	25,4	24,9	24,3	24,2	24,4	24,7	25,2	25,4	
1991	26,5	25,6	25,6	25,4	25,2		23,9	23,9	24,2	24,7	25,6	25,4	
MEDIA	25,7	25,5	25,7	25,6	25,4	25,5	24,7	24,8	24,9	25,0	25,2	25,2	**25,3**

ESTACION CLIMATOLOGICA SANTA ROSA. PRECIPITACION. (Lat: 3° 27' 32" S; Long: 79° 57' 39" W; Altura: 10 m). INAMHI. M-183.															
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PMAX 24	DDLL
1965	27,2	69,6	335,4	191,3	115,4	3,2	8,5								
1966-1972															
1973									112	98	61				
1974	51,3	118,3		99,8	37,6	17,7	9,5	9	24,6	19,8	300,5	16			
1975	80	377,5	252,5	149	46	24		17	10	57,1	23,7	13,2			
1976	192,3	295,9	236,5	92,6	64,3	33,3	1,5	21	7,6	7,3	5,1	18,2	975,6	72,2	174
1977	84,6	124,3		43,7		3,9	13	24,8		16,6	5,7	0,3			
1978	13,9	79,6	76,5	41,5	7	10,1	5,6	5,6	18,5		10,2	19,6			
1979	45,4	33,9	98,1	76,7	9,4	4,3	9,2								
1980	25,6	2,6		68,6		3	6,8	6,7	9,9			20,9			
1981	2,1	86,8	227,5	61,9		16,5	17,1	13,2	13,8	11,2	16,4	16,2			
1982	49,1			17,9	11	12,3	3,6	6,8			52,9	113,9			
1983	466,5						107			10,5	9,7				
1984		222	142	77	3,2		5	11	21,4			16,2	503,8	60	32
1985-1993															
1994		12,2	4,2	12,2	5,1	1,8	6,5	5,8	33,4						
MEDIA	47,1	156,4	195,5	83,6	36,7	19,0	8,0	12,8	27,2	31,5	18,8	17,2	**653,9**		

DDLL, días de lluvia

ESTACION CLIMATOLOGICA SANTA ROSA. TEMPERATURA MEDIA. (Lat: 3° 27' 32" S; Long: 79° 57' 39" W; Altura: 10 m). INAMHI. M-183.													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1965		27,3	26,6	26,3		26,2	24,8						
1966-1977													
1978											24,2	25,8	
1979	26,3	26,8	26,8	27,3	26,6	25,1							
1980	25,5	25,7		27,3		25,9	25,3	24,7	24,3			24,7	
1981	25,2	25,3	25,8	25,8		24	24,2		24,1			25,2	
1982	25,7			26,2	25,8	24,6	24,4				25,2	24,9	
1983							26,2	26,1		26,3	25,5	26,3	
1984	26,3	25,6		25,7	25,7	25,7		25,9					
MEDIA	25,8	26,1	26,4	26,4	26,0	25,3	25,0	25,6	24,2	26,3	25,0	25,4	**25,6**

ESTACION CLIMATOLOGICA SANTA ROSA. HUMEDAD RELATIVA. (Lat: 3° 27' 32" S; Long: 79° 57' 39" W; Altura: 10 m). INAMHI. M-183.													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1965		80	85	87		86	88						
1966-1977													
1979	89	91	92	89	92	92	92						
1980	92	91		89		91	92	90	92			91	
1981	91	92	91	92		91	92		92			89	
MEDIA	91	89	89	89	92	90	91	90	92			90	90

ESTACION CLIMATOLOGICA SANTA ROSA. NUBOSIDAD. (Lat: 3° 27' 32" S; Long: 79° 57' 39" W; Altura: 10 m). INAMHI. M-183.													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1965		7	8	8		7	7						
1966-1977													
1978											7	7	
1979	7	7	7	7	7	7	7						
1980	8	7		7		7	7	7	7			7	
1981	7	7	7	7		7	7		7			7	
MEDIA	7	7	7	7	7	7	7	7	7		7	7	7

ESTACION CLIMATOLOGICA TAHUIN EN LA PRESA. PRECIPITACION. (Lat: 3°37'40" S; Long: 80°00'10" W; Altura: 129 m.) PREDESUR. M-749.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PMAX24	DDLL
1985	20,7	43,7	142	10,9	17,7	2,3	7,1	2,5	1,1	7,4	1			4,3	12
1986	267	134,4	6,5	181,5	17,2	6,8	2,7	4,1	4,5	5,9	12,5	79	722,1	58,3	158
1987	264,7	477,8	277,1	223,8	11,2	9,8	3,8	7,4	6,6	4,6	0,5	14,5	1301,8	84	140
1988	180,2	183,6	20,5	65,8	67	4,8	8,8	2,2	0	1,7	16	16,8	567,4	50,3	103
1989	277	450,8	213,1	50,2	8,9	18,6	0,5	0	1,1	6,5	0,5	2,6	1029,8	95	
1990															
1991			173,7	32,3	23,8	0,8	3,4	2,4	3,8	6,6	1,7	26		63,8	
MEDIA	201,9	258,1	138,8	94,1	24,3	7,2	4,4	3,1	2,9	5,5	5,4	27,8	773,3		

DDLL, días de lluvia

ESTACION CLIMATOLOGICA. TAHUIN EN LA PRESA. TEMPERATURA. (Lat: 3°37'40" S; Long: 80°00'10" W; Altura: 129 m.) PREDESUR. M-749.

AÑ0	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1985	24,9	26	25,7	25,5	25,3	24,4	22,6	22,4	23,2	23,4	24,2		
1986	25,2	25,4	26,3	25,8	24,8	23,8	23,5		23,8	23,6	24,2	24,8	
1987	25,5	26,1	26		25,9	25	24,4	24,3	23,7	23,6			
1988			26,2			24,6	24,3	24,9	23,9	23,7	23,6	24,9	
1989	25,1	25	26	25,8	25,6	23,7	24,1	22,8	22,7	23,1	24,8	25,3	24,5
1990													
1991			27,1	26,6	26,3	26	24,4	23,8	22,7	23,2	24	25	
MEDIA	25,2	25,6	26,2	25,9	25,6	24,6	23,9	23,6	23,3	23,4	24,2	25,0	**24,7**

ESTACION CLIMATOLOGICA TAHUIN EN LA PRESA. HUMEDAD RELATIVA. (Lat: 3°37'40" S; Long: 80°00'10" W; Altura: 129 m.) PREDESUR. M-749.

AÑ0	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1985	85	83	85	86	85	86	88	88	88	84	80		
1986	87	87	83	87	88	88	88		85	85	87	86	
1987	88	87	88		88	88	90	89	89	86			
1988			84			84	84	82	83	86	85	83	
1989	83	85	87	87	87	90	86	88	87	89			
1990													
1991			88	89	88		87	87	88	89	85	86	
MEDIA	86	86	86	87	87	87	87	87	87	87	84	85	**86**

ESTACION CLIMATOLOGICA TAHUIN EN LA PRESA.VELOCIDAD DEL VIENTO. LOCALIZACION GEOGRAFICA: Lat: 3°37'40" S; Long: 80°00'10" W; Altura: 129 m. PREDESUR. M-749.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1985	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	3	0,4	0,4	0,4	0,4		
1986	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
1987	0,3	0,2	0,9	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
1988	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
1989	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3
MEDIA	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,9	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	**0,4**

ESTACION CLIMATOLOGICA TAHUIN EN LA PRESA. NUBOSIDAD. (Lat: 3°37'40" S; Long: 80°00'10" W; Altura: 129 m.) PREDESUR. M-749.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1985	6	6	6	6	6	6	7	6	6	7	6		
1986	6	6	5	6	7	6	6	7	6	7	7	7	6
1987	7	7	6	6	6	6	7	6	6	6	6	6	6
1988	6	6	6	6	6	6	7	6	6	7	7	7	6
1989	7	7	6	6	6	7	6	7	7	7	6	5	6
MEDIA	6	6	6	6	6	6	7	6	6	7	6	6	6

ESTACION CLIMATOLOGICA TAHUIN EN LA PRESA. EVAPORACION. (Lat: 3°37'40" S; Long: 80°00'10" W; Altura: 129 m.) PREDESUR. M-749.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1985	126,8	137,9	128,0	138,2	153,9	122,7	122,0	114,4	125,0	131,8	176,7		
1986	91,1	113,9	189,4	129,8	99,3	104,7	120,7	118,8	137,2	129,6	120,3	145,3	125
1987	84,3	83,4	105,1	97,2	115,2	127,8	94,5	103,6	103,5	114,3	126,5	100,3	105
1988	71,5	133,7	143,3	144,3	131,7	135,4	121,5	121,1		105,8	82,3		
1989	65,7	56,6	106,9	114,5	152,9	107,2	110,5		85,1	93,7	106,8		
MEDIA	87,9	105,1	134,5	124,8	130,6	119,6	113,8	114,5	112,7	115,0	122,5	122,8	1403,9

ESTACION CLIMATOLOGICA ZARUMA. PRECIPITACION. (Lat: 3° 41' 37" S; Long: 79° 36' 41" W; Altura: 1150 m). INAMHI. M-180.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PMAX 24h	DDLL
1965	161,4	326,8	405,8	332,3	216,4	6,6	10,1	13	50,8	48,1	61,2	215,6	1848,1	73,7	161
1966	330,6	149,8	196,4	205,8	130,2	6,6				104,5	37,7	45,5	1207,1	69,2	109
1967	221,4	441	246,2	50,9			10,6	0,2	13,5	18,9		5,4	1008,1	49,4	94
1968	72,2	152,3	336,3	118,8	30,9				20,4	28,4	3,8	74,5	837,6	63,7	110
1969	129,9	158,9	443	425,4	30	99,1	0,2		17,7	11,8	43,9	139,8	1499,7	53,4	178
1970	230,3	161,3	106,3	202,5	161,9	13,9	3	0,2	6,2	46,9	26,6	160,7	1119,8	45,8	173
1971			552,3	81											
1972							20,4	35,6	6,6	8,3	66,7	117			
1973	269,8	172,3	460,1	252,6	281,9	65,6	1,5	8,8	44,8	4,5	23,6	155	1740,5	92,9	172
1974	218,9	196,8	286,4	126,8	63,2	24	1,6		10,2	53,4	46,3	74,8	1102,4	69,8	145
1975	138,4	284,2	391,9	407,3	177	73,4	5,9			143,3	17,2	53,4			
1976	361,1	385,7	319,5	206,6	190,7	11	10	9,6	4,8	1,9	17,1	56,7	1574,7	50	195
1977	277,9	313,5	200,7	172,2	22,1	16,5	0,9	1,8	45,8	12,3	16,2	99,4	1179,3	56,3	171
1978	125,4	153,6	114,2	158,3	73,7	6,2	2,3	1,6	13,8	1,9	25,2	93,1	769,3	49,7	177
1979	226,6	271,8	464,7	120,9	99,1	2,1	0,4	12,9	69	11,3	1,5	24,3	1304,6	65,3	175
1980	203,6	229,9	151,3									148,1			
1981				197,7	7,6	7	4,1	3,9		4,6	13,9	130,2			
1982	306,6	250,8	240,4	172,5	81,5	5,5	8,2		108	95,9	156,1	347,2	1772,7	73	180
1983	287,9	143,5	351,1	349	336,8	97,4	24 ,4	11,6	25,7	62,7	41,5	236,8	1944	80	215
1984	48,5		353	333,1	98	34,8	27,5	9	10,7	106,2	67,4	191,7			
1985	205,4	88,8	158,6	37,8	48,9	3,4	0,1	6,2	36,9	14,8	6,9	165	772,8	53,7	200
1986	213,1	228,1			50	0,6	0,6	14,2	14	10,5	58,7				
1987	264,2	85,4	70,9	129	34,4	2	16,4	12,8	6,6	17,3	61,1	39,8	739,9	58,7	173
1988	363,4	498	53,3			11,2	8,5	2,1	35,7	14,4	58,8	124			
1989	446,8	404,3	186,2	174,4	26	26,8	0,6	0,9	5,6	45,6	10,9	26,8	1354,9	63	171
1990	184,7	224,2	172	258,7	132,9	13,6	8,5		8,2	36,1	38,5	103,4	1180,8	56,2	172
1991	136,5	193,7	376,3	136,4	86,4	31,8	9,8		1,3	23,9	33,3	189,9	1219,3	91,2	179
1992	237	315,7	237	338,1	166,5	58	1,5	3,5	37,9	2,8	16,8	67,4	1482,2		
1993	253,2	543,5	435	501,4	124,1	3,3	11,7	0,5	4	28,7	18,8	218,2	2142,4	90,6	186
1994	411,2	411,3	249,6	268,8	120,3	8,3	1,2		11,4	5,1	25	133	1645,2	95	178
MEDIA CON 82/83	234,3	261,0	279,9	221,5	111,6	25,1	6,6	7,8	24,4	34,4	36,8	122,7	**1366,3**		
MEDIA SIN 82/83	232,2	265,7	277,2	216,4	102,2	22,1	6,6	7,6	24,3	31,0	32,3	114,4	**1332,1**		

Anexo C.31

ESTACION CLIMATOLOGICA ZARUMA. TEMPERATURA MEDIA. (Lat: 3° 41' 37" S; Long: 79° 36' 41" W; Altura: 1150 m). INAMHI. M-180.													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1965	21,5	21,7	21,6	22,1	21,9	22,2	22,6	22,8	22,8	22,4	22,4	21,9	22,2
1966	21,8	22,4	21,8	21,3	21,2	21,1	22,9	23,2	23,7	22,1	22,2	21,8	22,1
1967	21,1	20,6	20,6	21,7	21,7	21,6	21,6	22,3	22,6	22,1	22,7	22,8	21,8
1968	21,6	20,7	20,3	20,7	21,7	21,7	22	22,6	22,9	22,4	23,4	22,3	21,96
1969	21,9	21,5	22	21,8	21,7	21,3	21,5	22,2	22,5	22,7	22,2	22	21,94
1970	21,1	21,5	21,3	21,6	21,1	21,3	22,1	22,2	21,9	22,7	22,9	21,8	21,79
1971													
1972							21,4	21,6	21,8	22	21,7	21,6	
1973	21,6	21,9	21,3	21,6	21,8	21,3	22,2	22	22	21,7	22,1	21,4	21,74
1974	20,5	20,8	21,2	21,5	20,7	20,4	21,6	22,1	22,2	21,7	22,2	22,1	21,42
1975	20,7	20,4	21,1	20,8	20,5	20	20,2			20,4	20,6	20,6	
1976	19,6	19,9	20,8	21	21,1	20,7	21	21,3	22,2	22,1	22,7	22,1	21,21
1977	20,9	21,3	21,6	21,6	21,3	21,5	21,7	22,5	23,2	23,2	22,7	22,6	22,01
1978	21,9	21,7	21,7	21,8	21,8	21,7	22,2	22,1	22,2	22,2	21,9	20,8	21,83
1979	19,7	20,4	20,5	20,8	20,7	20,9	22	22,1	22,1	22,9	22,4	23,1	21,47
1980		21,2									21,9	21,6	
1981	21,2	21	21,8	21,5	21,5	21,5	21,4	22,2	22,7	22,5	22,8	22,4	21,9
1982	21,7	21,9	21,7	21,7	21,7	21,5	21,5	22,3	22,2	21,6	21,9	21,8	21,8
1983	23,2	22,6	22,1	22,3	22	22,2	22,2	22,3	21,8	22,2	21,5		
1984	21,1	20,5	21,4	21,6	21,3	21,0	21,2	22,1	21,9	22,1	21,5		
1985	19,9	20,6	21,1	20,9	21	21,4	21,1	21,7	22,4	22,6	22,8		
1986		21	21,5	20,8	21,5	21,3	21,4			22,6	22,7	21,8	
1987	21,9	22,5	22,3	22,2	22,1	21,8	21,7	22	22,9	23,1			
1988				22,4		21,6		21,9	21,9	22,3			
1989													
1990	21,6	21,5	21,8	21,3	21,4	21,4	21,1	21,8	22,4	22	22,5	22,1	21,7
1991	21,7	21,6	21,9	21,2	21,1	21,2	21,5	22,3	22,5	22,1	22,8	22	21,8
1992	21,8	21,8	22,4	22,1	21,9	21,5	21	21,8	21,9	22,5	22,7	21,7	21,9
1993	21,3	20,6	21,5	21,7	21,7	21,5	21,6	21,8	21,8	22,6	22,5	21,6	21,7
1994	20,9	20,9	21,1	21,1	21,4	21	20,9	21,3	22,7	22,5	22,3	22,1	21,5
MEDIA	21,1	21,2	21,3	21,4	21,3	21,2	21,8	22,2	22,5	22,2	22,3	21,9	**21,7**

ESTACION CLIMATOLOGICA ZARUMA. HUMEDAD RELATIVA. (Lat: 3° 41' 37" S; Long: 79° 36' 41" W; Altura: 1150 m). INAMHI. M-180.													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1965	86	85	87	85	86	84	82	81	81	81	82	82	84
1966	84	82	88	85	86	86	78	78	74	80	79	80	82
1967	85	86	86	83	83	83	81	78	79	79	77	77	81
1968	82	86	87	85	83	81	80	78	76	80	75	79	81
1969	82	83	82	82	83	83	84	79	78		78	79	
1970	80	85	85	83	83	80	79	79	81	78	78	82	81
1971													
1972							83	84	81	80	83	84	
1973	84	92	88	83	84	86	82	82	83	84	82	84	84
1974	89	86	86	84	86	89	82	81	81	83	80	81	84
1975	87	89	90	92	92	92	85			89	88	89	
1976	93	91	89	88	88	86	75	78	74	70	75	82	82
1977	90	90	89	88	88	85	81	78	78	79	79	81	84
1978	85	87	88	87	88	88	87	76	77	80	81	84	84
1979	90	88	86	89	89	89	83	81	84	85	81	82	85
1980		90									84	87	
1981	91	92	93	93	92	91	89	84	83	82	84	85	88
1982	90	89	90	90	89	89	88	81	84	89	87	89	
1983		88	90	90	91	90	89	87	86	88	88	89	
1984	89	92	92	91	92	90	87	90	93	94	96		
1985	89	87	84	92	89	84	81	82	85	84	87		
1986		91	89	91	91	89	86			84	83	86	
1987	93	92	92	92	93	90	88	87	82	83			
1988				92		90		88	85	86			
1989													
1990			91	93	90	90	85	79	80	83	82	83	
1991	88	89	89	91	91	88	84	78	80	82	83	89	88
1992	92	92	92	92	91	90	86	84	89	83	85	90	88
1993	90	92	91	92	92	89	86	83	82	84	86	89	88
1994	94	96	97	97	93	89	83	81	77	78	85	90	88
MEDIA	87	88	88	88	88	87	84	81	81	83	82	84	**85**

ESTACION CLIMATOLOGICA ZARUMA. NUBOSIDAD. (Lat: 3° 41' 37" S; Long: 79° 36' 41" W; Altura: 1150 m). INAMHI. M-180.													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1965	7	7	7	7	7	6	6	5	7	7	7	7	7
1966	7	4	7	7	7	6	6	6	6	7	7	7	6
1967	8	8	8	7	7	8	8	6	7	8	7	8	8
1968	8	7	8	8	8	8	7	6	7	7	7	7	7
1969	6	6	6	7	6	7	6	5	6	6	6	7	6
1970	8	7	6	7	7	6	5	5	7	7	7	7	6
1971													
1972							6	7	7	7	7	7	
1973	8	6	7	8	7	7	5	6	6	7	7	7	7
1974	7	7	7	5	7	7	5	6	6	6	6	5	6
1975	7	8	6	7	7	6	6			7	6	7	
1976	8	7	7	7	6	6	4	5	6	6	7	7	6
1977	8	8	8	7	7	6	6	6	5	6	7	7	7
1978	7	8	7	7	7	6	5	4	6	5	6	7	6
1979	7	7	7	6	6	5	4	4	6	5	5	6	5
1980	6	6	6								7		
1981	8	8	7	7	7	6	4	5	5	6	6	4	6
1982	7	7	6	6	6	5	4	4	6	6	6	7	6
1983	7	6	6	6	6	6	5	5	6	6	6	6	6
1984	5	7	6	6	5	5	4	4	4	6	5		
1985	6	7	7	6	5	3	2	3	3	3	4	5	6
1986													
1987	6	6	6	6	6	4	5	4	5	5	5	6	6
1988	6	6	6	6		5	4	4	5	6	6	6	6
1989	7	7	6	7	6	6	4	4	5	6	5	5	6
1990	7	7	6	7	6	5	5	4	5	6	6	6	6
1991	6	7	6	5	6	5	4	3	4	5	5	6	6
1992	6	7	6	6	6	5	4	3	5	5	5	6	6
1993	7	7	6	6	5	5	5	4	6	6	5	6	6
1994	7	7	7	6	7	6	4	4	5	5	6	7	6
MEDIA	7	7	7	7	6	6	5	5	6	6	6	6	**6**

ESTACION CLIMATOLOGICA ZARUMA. VELOCIDAD DEL VIENTO. (Lat: 3° 41' 37" S; Long: 79° 36' 41" W; Altura: 1150 m). INAMHI. M-180.													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1965	1,8	1,2	1,1	1,7	0,9	1,1	1,4	3,4	2,1	2,0	1,1	1,2	1,6
1966	1,4	2,3	2,6	1,1	0,7	0,9	0,9	1,2	1,9	0,9	1,0	0,9	1,3
1967	0,8	1,1	0,9	1,4	0,8	0,7	1,1	2,7	1,1	0,8	0,8	0,5	1,1
1968	1,0	1,3	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,6	1,0	0,8	0,8	0,8	1,0
1969	0,7	0,5	0,8	0,7	1,2	0,6	1,2	1,2	0,8	0,9	1,0	1,1	0,9
1970	0,8	0,6	0,6	0,7	0,6	0,8	1,1	1,3	0,7	1,1	1,4	0,7	0,9
1971													
1972							0,9	0,7	1,1	0,6	0,5	0,4	
1973	0,5	0,3	0,3	0,7	0,8	1,0	1,7	1,3	1,4	1,1	1,4	1,2	1,0
1974	1,6	1,3	1,3	1,4	1,1	1,0	1,4	1,5	1,2	1,5	1,4	1,4	1,0
1975	0,7	0,7	1,1	1,6	2,0	2,1	1,8			2,3	1,8	1,9	
1976	1,8	1,9	2,0	1,5	1,5	1,7	2,5	2,0	2,1	2,2	2,1	2,7	2,0
1977	2,1	2,0	2,1	1,9	1,9	2,0	1,8	2,2	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0
1978	2,2	2,1	2,2	1,2	2,4	2,8	2,6	2,6	1,8	2,3	2,2	2,5	2,0
1979	2,1	2,1	2,4	2,3	2,2	2,2	2,6	2,7	2,5	2,5	2,4	2,1	2,0
1980	1,8	1,4	1,5										
1981	1,5	0,6	0,7	0,7		1,3	1,4	1,4	1,9	1,5	1,7	1,3	
1982	2,2	2,1	2,0	2,1	2,1	2,0	2,2	2,7	2,0	2,0	1,3	2,1	2,0
1983	2,2	2,7	2,2	1,3	2,2	2,0		2,0	1,6	2,1	2,0	2,1	
1984	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,2	2,5	2,5	2,5	2,2	2,4		
1985	2,3	2,0	2,4	2,4	2,0	2,5							
1986													
1987	2,2	2,5	2,2	2,3	2,4	2,4	2,1	2,8	2,7	2,7	3,0	2,9	2,0
1988	2,7	2,2	2,6	2,2		2,4	2,8	2,4	2,4	2,5	2,3	2,4	
1989	2,0	2,1	2,0	2,1	2,1	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,4	2,0
1990	2,0	2,0	2,1	2,0	2,0	2,0	2,2	2,1	2,1	2,0	2,1	2,2	2,0
1991	2,1	2,0	2,1	2,0	2,1	2,1	2,0	2,5	2,2	2,0	2,0	2,0	2,0
1992	2,1	2,0		2,1				2,2			2,1	2,1	
1993	2,0	2,0	2,2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
MEDIA	1,4	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	1,6	1,8	1,6	1,5	1,4	1,4	**1,4**

ESTACION CLIMATOLOGICA ZARUMA. EVAPORACION. (Lat: 3° 41' 37" S; Long: 79° 36' 41" W; Altura: 1150 m). INAMHI. M-180.													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1965	50,8	50,5	59,3	69,5	49,8	70,3	91,7	109,4	99,8	108,4	92,5	92,5	944,5
1966	59,5	108,9	97,3	58	55,2	69,8	82,1	93,2	103,6	83,6	70	72,7	953,9
1967	47,1	43	50,1	61,6	58,1	55,2	51,1	68,1	73	67,9	68,8	72,4	716,4
1968	78,3	71,6	75,2	81,4	83,4	75	84,4	112,1	84,4	82,9		84,8	
1969	78,1	65,4	75,6	71	73,6	66,5	65,5	86,3	90,1	87,8	83,1	65	896,40
1970	61,6	64,5	69,5	62	60	55	90,8	89,5	67,7	88,9	82,3	64,3	849,50
1971													
1972							56,6	64,1	53,1	88	63,5	55,6	
1973	52,6	34,9	35,5	39,6	31,8	27,2	46,9	58,6	53,9	57,7	63,5	55,9	531
1974	22,3	34,7	35,7	58,7	45,7	39,8	74,9	66,1	82,4	58,4	55,4	66,5	640,6
1975	47,6	20,6	37,3	25,3	29,1	33,7	53			53	61,6	65	
1976	22,3	27	29,3	28,3	32,5	36,8	85,4	70,8	77,2	86,7	76,6	66	638,9
1977	30,1	29,1	34,5	31,2	37,2	36,9	29,4	79,7	35,5	22,3	48,1	36,2	450,2
1978	15,2	30,7	27,7	17,7	21,7	25,7	32,1	69,5	116,2	174,3	126,7	79,2	736,7
1979	43,2	39,2	32,1	33,6	33,9	38,3	59,1	66,3	69,5		64,2		
1980		49,8											
MEDIA	46,8	47,9	50,7	49,1	47,1	48,5	64,5	79,5	77,4	81,5	73,6	67,4	**733,9**

ANEXO D

CAUDALES MAXIMOS DEL RIO SANTA ROSA, CONSIDERANDO LOS REGISTROS DE LA ESTACION PLUVIOMETRICA PACCHA

CÁLCULOS DE CAUDALES MÁXIMOS DEL RÍO SANTA ROSA ESTIMADOS POR DUQUE (CIDIAT), CONSIDERANDO LOS REGISTROS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS DE LA ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA PACCHA, REALIZANDO UN AJUSTE A UNA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD TIPO GUMBEL

5 24
ESTACION: PACCHA: LLUVIAS EXTREMAS ANUALES. 24 HORAS
93 80 84 84 65

DISTRIBUCION: G U M B E L

ESTACION: PACCHA: 4059. LLUVIAS EXTREMAS ANUALES. 24 HORAS

NUMERO DE DATOS= 5
DATOS= 93.000 80.000 84.000 84.000 65.000

ESTADISTICOS DE LA SERIE
PROMEDIO= 81.200 DESV. EST. = 10.232 ASIMETRIA = -.998

PARAMETROS DE LA DISTRIBUCION GUMBEL
F(x) = exp(-exp(-y))
y = (x-u)/alf
alf = 7.9781 u = 76.5950

PRUEBA DE AJUSTE PARA DATOS NO AGRUPADOS
SEGUN EL TEST DE SMIRNOV KOLMOGOROV.

		Probabilidades Empirica	Teorica	
m	x	[m/(N+1)]	Fx(X)	|DIF|
1	65.0	.166667	.013878	.152789
2	80.0	.333333	.520689	.187356
3	84.0	.500000	.673492	.173492
4	84.0	.666667	.673492	.006825
5	93.0	.833333	.879913	.046579

DELTA MAXIMO OBSERVADO .187356
DELTA CRITICO DE SMIRNOV KOLMOGOROV PARA (N;ns) = (5,0.05) .... .560

***** CONCLUSION DEL TEST ***** Se acepta el ajuste

PERIODO DE RETORNO	X GUMBEL
2.00	79.5
2.33	81.2
5.00	88.6
10.00	94.5
20.00	100.3
25.00	102.1
50.00	107.7
100.00	113.3
200.00	118.8
500.00	126.2

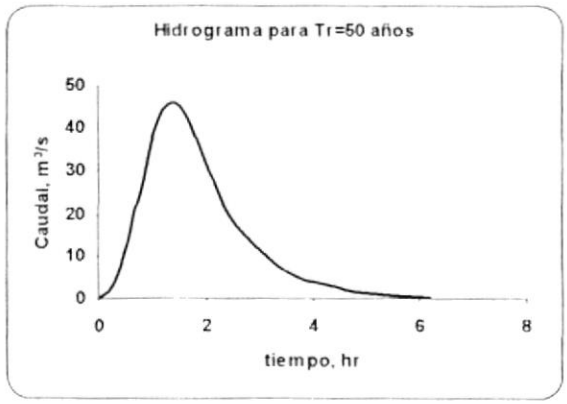
ANEXO E

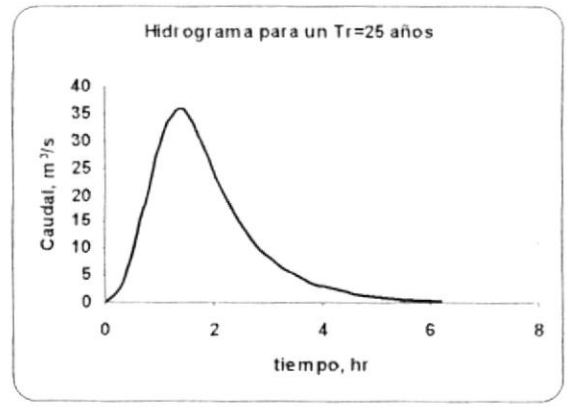
CAUDALES MAXIMOS CALCULADOS DEL RIO SANTA ROSA, PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

CAUDALES MAXIMOS CALCULADOS PARA DIFRENTES PERIODOS DE RETORNO (Tr) DE 2, 5, 10, 25 Y 50 AÑOS, CONSIDERANDO LA ESCORRENTÍA, LA COBERTURA VEGETAL, LA INFILTRACIÓN, LA PRECIPITACIÓN PARA UN TIEMPO DE CONCENTRACIÓN, EL ÁREA DE DRENAJE Y EL TIEMPO AL PICO.

L	H	tc		Tr	P_{max} 24 hr	$P_{max\ 24}$ hr/24 hr	i	I*tc	i*tc/P24h
m	m	minutos	horas	años			mm/hr	mm	
23930	2100	117,1	2,0	2,0	79	3,3	27,8	54	69%
				5	89	3,7	31,3	61	69%
				10	95	4,0	33,4	65	69%
				25	102	4,3	35,9	70	69%
				50	108	4,5	38,0	74	69%

Tr	2	5	10	25	50
P_{MAX}	79	89	95	102	108
Itc/P24	54	61	65	70	74
FC	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Pajust	46	52	55	60	63
CN	59	59	59	59	59
S	177	177	177	177	177
0,2S	35	35	35	35	35
0,8S	141	141	141	141	141
Q	0,62	1,43	2,06	2,92	3,76
A	8018	8018	8018	8018	8018
tc	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
D	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
tp	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
qp	7,6	17,6	25,3	35,8	46,1





Anexo E.2

t/tp	q/qp	Tr=25		Tr=50	
		tp	qp	tp	qp
0	0	0	0	0	0
0,2	0,075	0,3	2,7	0,3	3,5
0,4	0,28	0,5	10,0	0,5	12,9
0,6	0,6	0,8	21,5	0,8	27,7
0,8	0,89	1,1	31,9	1,1	41,1
1	1	1,4	35,8	1,4	46,1
1,2	0,92	1,6	33,0	1,6	42,4
1,4	0,75	1,9	26,9	1,9	34,6
1,6	0,56	2,2	20,1	2,2	25,8
1,8	0,42	2,5	15,0	2,5	19,4
2	0,32	2,7	11,5	2,7	14,8
2,2	0,24	3,0	8,6	3,0	11,1
2,4	0,18	3,3	6,4	3,3	8,3
2,6	0,13	3,6	4,7	3,6	6,0
2,8	0,098	3,8	3,5	3,8	4,5
3	0,075	4,1	2,7	4,1	3,5
3,5	0,036	4,8	1,3	4,8	1,7
4	0,018	5,5	0,6	5,5	0,8
4,5	0,009	6,2	0,3	6,2	0,4

L	H	TC
225	100	1,73
200	100	1,51
225	100	1,73
250	100	1,95
250	100	1,95
325	100	2,64
475	100	4,09
363	100	3,00
550	100	4,84
475	100	4,09
1050	100	10,22
750	100	6,93
650	100	5,87
1050	100	10,22
1600	100	16,63
1750	100	18,44
2250	100	24,65
4800	100	59,14
4350	100	52,78
21588	TOTAL	

ANEXO F

CAUDALES MAXIMOS DEL RIO SANTA ROSA PARA EL PERIODO 1982-1989, CALCULADOS REALIZANDO UN AJUSTE A UNA DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD TIPO GUMBEL

CAUDALES MAXIMOS DEL RIO SANTA ROSA PARA EL PERIODO 1982-1989, REALIZANDO UN AJUSTE A UNA DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD TIPO GUMBEL, PREPARADOS POR ACSAM-COHIEC (1997) y Pacheco (1998)

Caudales máximos, mínimos y medios de la Estación Santa Rosa en El Vado.													
AÑO	DATO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1982	**QMAX**	**3,04**	2,54	1,25	1,17		0,9	0,29			1,64	3,04	8,93
	QMIN		0,43	0,29	0,71		0,25				0,05	0,77	0,83
	QMED	0,34	0,76	0,58	0,9	0,68	0,52	0,13			0,29	1,53	3,07
1983	**QMAX**		103,1	**28,03**	7,81	10,03	4,71	3,34	2,62	2,51	2,08	4	
	QMIN		7,81	3,49	3,24	4,71	3,34	2,51	2,08	2,18	1,79	1,69	
	QMED	29,85	46,86	10,39	5,15	6,22	4,23	3,14	2,39	2,32	1,96	1,94	
1984	**QMAX**	3,21	**10,03**	6,28	4,71	5,47	2,97	2,18				0,88	1,25
	QMIN	2,51	2,51	4,14	3,21	2,97	2,29	1,98				0,56	0,56
	QMED	2,87	6,89	4,91	4,1	3,16	2,72	2,08			1,09	0,65	0,64
1985	**QMAX**	1,69	1,1	**3,34**	1,42	0,95	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	1,42
	QMIN	0,56	0,81	0,81	0,88	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
	QMED	0,96	0,97	2,1	1,2	0,63	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,67
1986	**QMAX**	4,71	4,71	1,98	**8,06**	3,34	1,42	0,56	0,56				0,56
	QMIN	0,56	1,98	0,56	0,56	1,42	0,56	0,56	0,56				0,56
	QMED	2,77	2,93	1,26	3,53	2,54	0,65	0,56	0,56				0,56
1987	**QMAX**	43,65	**17,08**		4,42	3,34	2,85	1,98	1,1	0,62	0,62	0,62	0,62
	QMIN	0,56	4,42		3,21	2,85	1,98	0,95	0,62	0,56	0,56	0,56	0,56
	QMED	6,15	6,89	17,25	3,83	3,03	2,3	1,68	0,84	0,59	0,59	0,59	0,59
1988	**QMAX**	14,54	**22,68**	13,82	1,25	0,81	0,74	0,68	62	0,62	0,56	0,56	0,56
	QMIN	0,56	1,25	1,42	0,81	0,68	0,68	0,62	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
	QMED	4,52	15,81	6,17	1,08	0,74	0,71	0,65	0,59	0,59	0,56	0,56	0,56
1989	**QMAX**	0,56	11,09	43,65	**34,53**	20,36	2,62	2,18	1,98	1,69	1,6	1,51	1,25
	QMIN	0,56	4,42	5,63	20,64	2,62	2,4	1,98	1,69	1,6	1,42	1,34	1,1
	QMED	0,56	7,09	18,96	26,71	12,44	2,51	2,08	1,81	1,64	1,51	1,43	1,17
Valor en negrillas, son los considerados para ajuste a una distribución Gumbel.													

DISTRIBUCION: G U M B E L

ESTACION: SANTA ROSA EN EL VADO. CAUDALES MAXIMOS 1982-1989

NUMERO DE DATOS= 8
DATOS= 3.000 28.000 10.000 3.000 8.000 23.000 17.000 35.000

ESTADISTICOS DE LA SERIE
PROMEDIO= 15.875 DESV. EST. = 11.910 ASIMETRIA = .471

PARAMETROS DE LA DISTRIBUCION GUMBEL
F(x) = exp(-exp(-y))
y = (x-u)/alf
alf = 9.2859 u = 10.5152

PRUEBA DE AJUSTE PARA DATOS NO AGRUPADOS
SEGUN EL TEST DE SMIRNOV KOLMOGOROV.

		Probabilidades		
		Empirica	Teorica	
m	x	[m/(N+1)]	Fx(X)	|DIF|
1	3.0	.111111	.105784	.005327
2	3.0	.222222	.105784	.116439
3	8.0	.333333	.269526	.063808
4	10.0	.444444	.347480	.096964
5	17.0	.555556	.608107	.052551
6	23.0	.666667	.770534	.103867
7	28.0	.777778	.858867	.081089
8	35.0	.888889	.930911	.042022

DELTA MAXIMO OBSERVADO 0.116439
DELTA CRITICO DE SMIRNOV KOLMOGOROV PARA (N;ns) = (8,0.05) .... .470

***** CONCLUSION DEL TEST ***** Se acepta el ajuste

Tr	X GUMBEL
2.00	13.9
2.33	15.9
5.00	24.4
10.00	31.4
20.00	38.1
25.00	40.2
50.00	46.7

ANEXO G

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL ANÁLISIS DE SUELOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO SANTA ROSA

CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DEL ANALISIS DE SUELOS DE LA CUENCA ALTA DEL RIO SANTA ROSA, PACHECHO Y FUENTES (1998)

N°	Perfil	Horizonte	Profundidad	Textura (%)			Clase	Grava	pH		Fósforo	M. Orgánica	Nitrógeno
Laboratorio			(cm)	Arena	Limo	Arcilla	Textural	(%)	KCl	H2O	(ppm)	(%)	
1	1	Ah	0-15	45	23	32	FAAr/FA	23,2	4,4	5,2	17,4	3,93	0,236
2		Bs	15-60	30	15	55	A	21	4,1	4,9	15,5	2,25	0,135
3		C	>60	30	20	50	A	21,6	4,1	4,9	12,6	2,20	0,132
4	2	Ah	0-16	50	35	15	FAAr/FA	4,5	4,8	6,3	3,2	3,27	0,196
5		Bs	15-45	45	30	25	FAAr/FA	6,5	4,6	6,3	0,5	0,63	0,038
6		C	45-150	38	22	40	A/FA	16,9	4,6	6,3	0,4	0,54	0,032
7	3	Ah	0-15	45	23	32	FAAr/FA	4,1	4,9	5,6	2,2	2,15	0,129
8		Bh	15-40	40	20	40	A/FA	7,0	4,8	6,0	0,6	0,84	0,005
9		Cs	40-100	30	17	53	A	2,7	3,9	4,7	0,3	0,78	0,047
10	4	Ah	0-15	55	27	18	FAr	4,6	4,5	5,6	3,52	4,13	0,248
11		B	15-40	52	27	21	FAAr	36,6	4,4	5,5	4,9	2,45	0,147
12		Cs	40-120	23	22	55	A	28,5	3,8	5,4	1,3	0,80	0,048
13	5	Ah	0-13	55	30	15	FAr	19	5,3	6	5,9	2,58	0,155
14		B	13-32	50	24	26	FAAr	7,7	5,2	4,9	0,6	1,15	0,069
15		Cs	32->100	45	17	38	AAr/FA	2	3,2	4,5	0,6	0,89	0,054
16	6	Ah	0-12	35	43	22	F		4,8	6,11	6,9	1,45	0,087
17		B	12,0-28	32	41	27	FA/F		4,6	6,1	0,2	0,63	0,038
18		Cs	28->100	38	34	28	FA		4,6	6,2	0,2	0,40	0,024
19	7	Ah	0-10	50	27	23	FAAr	7,7	4,5	5,9	5,2	3,19	0,192
20		Bc	10,0-27	40	20	40	A/FA	5,0	4,9	6	0,2	0,64	0,038
21		Cs	27->100	25	23	52	A		5	6	0,1	0,62	0,037

Anexo G.2

N° Laboratorio	Perfil	Horizonte	Profundidad (cm)	CIC meq/100 gr	Na	K	Ca	Mg	Total	S.B. %	H meq/100 gr	Al	Ac.Inter. % Saturación de Al
1	1	Ah	0-15	17,4	0,51	0,56	2,4	1,4	4,9	28,4	2,5	2,5	24
2		Bs	15-60	15,5	0,45	0,40	0,5	0,5	1,9	12,0	5,6	5,7	72
3		C	>60	15,7	0,44	0,40	0,4	0,4	1,6	10,4	5,2	5,4	67
4	2	Ah	0-16	28,6	0,48	0,47	16,2	4,8	22,0	76,8	1,1	1,2	8
5		Bs	15-45	19,6	0,41	0,40	14,8	3,5	19,2	97,8	0,2	0,2	0,4
6		C	45-150	19,5	0,38	0,35	8,1	5,9	14,8	75,7	0,2	0,2	0,4
7	3	Ah	0-15	21,3	0,44	0,28	6,9	3,6	11,2	52,6	0,2	0,2	2
8		Bh	15-40	14,7	0,40	0,36	5,2	2,6	8,5	57,7	0,2	0,2	0,4
9		Cs	40-100	14,5	0,39	0,28	2,0	1,6	4,2	29,1	4,2	4,3	59
10	4	Ah	0-15	12,7	0,43	0,29	5,6	1,1	7,4	58,5	1,0	1,1	16
11		B	15-40	13,5	0,36	0,47	4,1	1,4	6,4	47,3	1,1	1,2	2,3
12		Cs	40-120	15,9	0,37	0,51	5,2	1,9	7,9	50,0	1,7	1,8	22
13	5	Ah	0-13	13,5	0,44	0,35	7,1	2,7	10,5	78,3	0,8	1,0	13
14		B	13-32	11,4	0,39	0,45	2,4	0,9	4,1	35,7	2,2	2,4	4,6
15		Cs	32->100	13,5	0,37	0,25	1,2	0,8	2,7	19,8	3,8	4,2	59
16	6	Ah	0-12	18,5	0,43	0,31	6,9	5,0	12,6	67,9	0,3	0,3	0,6
17		B	12,0-28	26,3	0,38	0,26	14,0	6,8	21,4	81,4	0,2	0,2	0,4
18		Cs	28->100	28,6	0,38	0,26	17,9	9,2	27,7	97,0	0,2	0,2	0,4
19	7	Ah	0-10	22,1	0,48	0,24	9,0	5,5	15,2	69,0	0,4	0,4	0,8
20		Bc	10.0-27	15,7	0,39	0,26	7,0	4,0	11,7	74,2	0,3	0,3	0,6
21		Cs	27->100	21,3	0,37	0,26	8,4	4,3	13,3	62,4	0,3	0,3	0,6

ANEXO H

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA NORTEAMERICANA (USDA), Y EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA FERTILIDAD EMPLEANDO LOS CRITERIOS DE CORTÉS A. Y MALAGÓN D. DEL CIDIAT

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA NORTEAMERICANA (USDA), Y EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA FERTILIDAD EMPLEANDO LOS CRITERIOS DE CORTÉS A. Y MALAGÓN D. DEL CIDIAT. MERIDA, VENEZUELA

CALIFICACION	CIC	BASES DE CAMBIO (meq/100gr)				M.O.	N	Fósforo ppm.		SATURACION DE BASES			pH
										Bases totales	Arcillas 2:1	Arcillas 1:1	
	(meq/100 gr)	Ca	Mg	Na	K	(%)	(%)	Mét. Olsen	Bray-Kurtz	(meq/100 gr)	(%)		
Muy alto	> 30	>20	>8	>2	>1.2	> 6	> 0,30	> 30	> 36	>30	> 80 %	>60 %	4 - 5 muy ácido
Alto	20 - 30	10 - 20	3 - 8	0.7 - 2	0.6 - 1.2	5 - 6	0,25 - 0,30	30 - 18	-	10 - 30	60 - 80	30 - 60	5 - 5.5 ácido
Medio	10 - 25	5 - 10	1 - 3	0.3 - 0.7	0.3 - 0.6	3 - 5	0,15 - 0,25	18 - 12	16 - 35	5 - 10	40 - 60	10 - 30	5,5 - 6,5 lig. ácido
Bajo	5 - 10	2 - 5	0.3 - 1	0.1 - 0.3	0.2 - 0.3	2 - 3	0,1 - 0,15	12 - 3	0 - 15	1 - 5	20 - 40	5 - 10	6,5 - 7,5 neutro
Muy bajo	< 5	< 2	< 0.3	< 0.1	< 0.2	< 2	< 0,1	< 3	-	< 1	< 20	< 5	7,5 - 8,5 mod. alcalino
													> 8.5 fuertemen. alcalino

ANEXO I

DESCRIPCION DEL PERFIL DEL TIPO DE SUELO OXIC USTROPEPTS DE LA CUENCA ALTA DEL RIO SANTA ROSA.

DESCRIPCION DEL PERFIL DEL TIPO DE SUELO OXIC USTROPEPTS DE LA CUENCA ALTA DEL RIO SANTA ROSA. PACHECO (1998)

Localización: a 3 Km. de distancia al Este de la población Playón, en la margen izquierdo del río Santa Rosa

Posición fisiográfica: Ladera media de colina alta.

Topografía: Montañosa de laderas con pendientes de 50 a 60 % de inclinación.

Vegetación: Formación bosque seco tropical de acuerdo a la clasificación de Holdridge, área de pastizal (pasto chilena), chivila, balsa, guaba, laurel de montaña, matapalo, chilca.

Régimen de humedad del suelo: Ustico

Características del perfil:

Horizonte Ah; profundidad 0 a 15 cm; textura franco arcilloso (32% A); ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo; color pardo (10YR 4/3) en húmedo; estructura blocosa subangular, fuerte, fina; abundantes raíces y poros; sin manchas de color; límite entre horizontes claro; pocas gravas; pH 5,6 ligeramente ácido.

Bh; 15 a 40 cm; franco arcilloso (40% A); adherente, plástico, firme en húmedo; estructura blocosa subangular, fuertes, finas, abundantes raíces y poros; mucha actividad biológica en ambos horizontes; sin manchas de color; límite entre horizontes claro; pocas gravas; pH 6 ligeramente ácido.

Cs; 40 a más de 100; arcilloso (50% A); muy adherente, muy plástico, firme en húmedo; color rojo (2.5YR 4/8) en húmedo; estructura blocosa angular, fina; fuerte; frecuentes raíces, pocos poros; sin manchas de color; pocas gravas; pH 4,7 fuertemente ácido.

ANEXO J

DESCRIPCION DEL PERFIL DEL TIPO DE SUELO TYPIC EUTROPEPTS DE LA CUENCA ALTA DEL RIO SANTA ROSA.

DESCRIPCION DEL PERFIL DEL TIPO DE SUELO TYPIC EUTROPEPTS DE LA CUENCA ALTA DEL RIO SANTA ROSA. PACHECO (1998)

Localización: A 500 mts. al este de la población Sabayán, cerca a la confluencia del río Santa Rosa con la quebrada Sabayán (margen derecho del río).

Posición fisiográfica: Ladera baja de cordillera media.

Topografía: Montañas de pendientes fuertes 80 a 90 %.

Vegetación: Formación vegetal bosque húmedo Pre-Montano, según la clasificación de Holdridge, pastizal de chilena, laurel de montaña, chivila, guarumo.

Régimen de humedad: Udico

Características del perfil:

Ah; 0 a 16 cm; franco (15% A); adherente, plástico, ligeramente friable en húmedo; color pardo grisáceo obscuro (10YR 4/2) en húmedo; estructura blocosa subangular, fuerte, fina; abundante raíces y poros; sin manchas de color; frecuentes gravas; pH 6.3, ligeramente ácido; límite entre horizontes claro.

Bs; 16 a 45 cm; franco (25% A); adherente, plástico, firme en húmedo; estructura blocosa subangular, fuerte, fina; raíces y poros abundantes; color pardo fuerte (7.5YR 4/6) sin manchas de color; frecuente presencia de grava y piedras (20%); pH 6.3; ligeramente ácido; límite entre horizontes gradual.

Cs; 45 a 150+ cm; arcilloso a franco arcilloso (40% A); muy adherente, muy plástico, firme, en húmedo; estructura blocosa angular, moderada, muy fina; color parda fuerte (7.5YR 4/6) raíces frecuentes y poca porosidad visible; presencia de gravas, piedras y rocas grandes redondeadas; sin manchas de color; pH 6.2, ligeramente ácido.

ANEXO K

DESCRIPCION DEL PERFIL DEL TIPO DE SUELO OXIC DYSTROPEPTS DE LA CUENCA ALTA DEL RIO SANTA ROSA.

DESCRIPCION DEL PERFIL DEL TIPO DE SUELO OXIC DYSTROPEPTS DE LA CUENCA ALTA DEL RIO SANTA ROSA. PACHECO (1998)

Posición fisiográfica: Ladera de montaña cordillerana alta

Topografía: Suelos de cordilleras altas con pendientes mayores a 80 % y con pluviosidad media entre 1500 y 2000 mm que produce lavado de bases intercambiables, pH ácidos con problemas de toxicidad por exceso de aluminio, las temperaturas más frescas y la densa vegetación natural disminuyen las pérdidas de materia orgánica. No hay reacción al fluoruro de sodio que indique la presencia de cenizas volcánicas.

Vegetación: Formación vegetal bosque húmedo Pre-Montano, según clasificación de Holdridge; pastizal artificial (chilena), chonta, laurel de montaña, fernán sánchez, helechos.

Régimen de humedad: Udico

Características del perfil:

Ah; 0 a 15 cm; franco arcilloso a franco arcillo arenoso (32% A); ligeramente adherente, ligeramente plástica, friable en húmedo; estructura blocosa subangular, firme, fina; color pardo (10YR 4/3) en húmedo; abundantes raíces y poros; muchas piedras (50%); buena actividad biológica, pH 5.2, ácido; límite entre horizontes claro.

Bs; 15 a 60 cm; arcilloso (55% A); muy adherente, muy plástico, firme en húmedo; color pardo olivo claro (25Y 5/6) en húmedo; estructura blocosa subangular, fuerte, fina; abundante raíces y poros; frecuentemente material pedregoso (30%); pH 4.9, fuertemente ácido; sin manchas de color; límite entre horizontes claro.

C; 60 a más 100 cm; arcilloso (50% A); muy adherente, muy plástico, firme en húmedo; color pardo amarillento (10YR 5/6) en húmedo; estructura de roca alterada; pocas raíces y poros; pH 4.9, fuertemente ácido.

ANEXO L

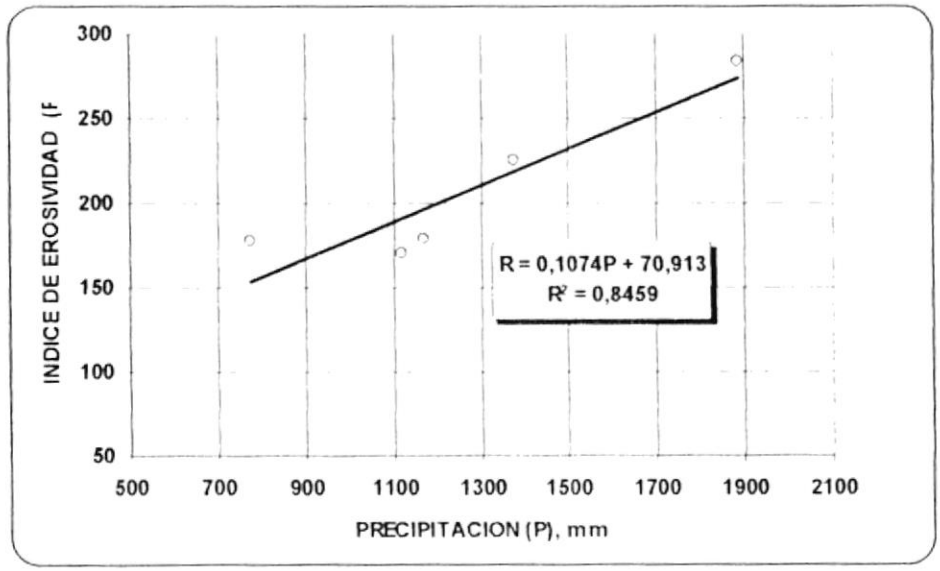
CORRELACION LINEAL DE ESTACIONES TAHUIN, SARACAY, LAS CHILCAS, MARCABELI Y PACCHA, PARA CALCULAR EL INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA

CORRELACION LINEAL DE ESTACIONES TAHUIN, SARACAY, LAS CHILCAS, MARCABELI Y PACCHA, PARA CALCULAR EL INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA

ESTACION	P	R
Tahuín	774	177
Saracay	1120	170
Las Chilcas	1170	179
Marcabelí	1377	225
Paccha	1888	283

P, precipitación en mm

R, Indice de erosividad de la lluvia



ESTACION	h	R
Tahuín	129	177
Saracay	180	170
Las Chilcas	320	179
Marcabelí	520	225
Paccha	1540	283

h, altura en metros

R, Índice de erosividad de la lluvia

