

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS PROFESIONAL

**CARACTERIZACIÓN HIDROMORFOMÉTRICA DE LA MICROCUENCA
PUYLLUCANA - BAÑOS DEL INCA - CAJAMARCA, MEDIANTE LA
APLICACIÓN DE ARCGIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEÓLOGO**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER
JOSÉ LUIS ALCÁNTARA MEMBRILLO**

ASESOR:

Dr. Ing. ALEJANADRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE

CAJAMARCA - PERÚ

2015

DEDICATORIA

*A mis padres,
Por su interminable apoyo en cada paso,
quienes con su ejemplo, dedicación y consejos
han sido mi motivación para poder llegar cada
vez mas alto en mi vida y formación
profesional.*

*A mis Hermanos,
Por brindarme su confianza, apoyo y estar
siempre al lado en todos los momentos de mi
vida.*

AGRADECIMIENTO

A los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional de Cajamarca, por sus enseñanzas brindadas durante mi formación académica.

A mi asesor, Dr. Ing. Alejandro Lagos Manrique, por su enseñanza y dedicación para la elaboración de la presente tesis.

A mis amigos: Percy, Henry, Wilder, Willy, Lorenzo, Ronald, Milagros, por su apoyo; ya que de alguna u otra forma contribuyeron al desarrollo de la presente tesis.

ÍNDICE

Item	Página.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE.....	iii
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS.....	x
RESÚMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	4
2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
2.2 BASES TEÓRICAS	5
2.2.1 Principios Fundamentales de la Geología.....	5
2.2.2 Ciclo Hidrológico.....	6
2.2.3 Cuenca Hidrográfica	7
2.2.3.1 División Espacial de una Cuenca Hidrográfica	7
2.2.3.2 Cuenca Hidrográfica y Cuenca Hidrológica.....	8
2.2.3.3 Las cuatro dimensiones de una cuenca hidrográfica	9
2.2.4 Oferta Hídrica	9
2.2.5 SIG en la morfometría de cuencas hidrográficas	10
2.2.5.1 Parámetros Morfométricos.....	12
2.2.6 Movimiento De Aguas Subterráneas.....	44
2.2.6.1 Ley de Darcy	44
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	47
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	48
3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	48
3.2 ACCESIBILIDAD	48
3.3 CLIMA Y TEMPERATURA.....	49
3.4 TIPO DE INVESTIGACIÓN	50
3.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	50
3.1.1 Trabajo de gabinete inicial:.....	50
3.1.2 Trabajo de campo:.....	51
3.1.3 Trabajo de gabinete final:	52
3.6 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	52

	Página.
3.7 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	53
3.7.1 Procesamiento de datos	53
3.7.1 Análisis de datos.....	53
3.8 GEOLOGÍA	54
3.8.1 ESTRATIGRAFÍA	60
3.8.1.1 Serie Sedimentaria.....	60
3.8.1.2 Unidades Litoestratigráficas	64
3.8.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	74
3.8.2.1 Anticinal Baños del inca.....	75
3.8.2.2 Sindinal Otuzco	75
3.8.3 HIDROGEOLOGÍA	77
3.8.3.1 Hidrogeología de Cajamarca y Baños del Inca.....	77
3.8.3.2 Modelo hidrogeológico conceptual - micrucuena Puyllucana y alrededores	79
3.9 DELIMITACIÓN SEMI-AUTOMÁTICA DE LA MICROCUENA HIDROGRÁFICA PUYLLUCANA MEDIANTE EL SOFTWARE ARGIS.....	80
3.9.1 Obtención de un DEM.....	80
3.9.2 Definir proyección	82
3.9.3 Fill (relleno).....	82
3.9.4 Flow Direction (dirección de flujo)	85
3.9.5 Flow Accumulation (acumulación de flujo)	88
3.9.6 Pour Point (punto de fluidez).....	93
3.9.7 Watershed (cuena hidrográfica)	95
3.9.8 <i>Diagrama de Flujo</i>	99
3.10..... OBTENCIÓN DE PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LA MICROCUENA HIDROGRÁFICA PUYLLUCANA EMPLEANDO ARGIS	100
3.10.1 Descripción General.....	100
3.10.2 Parámetros Generales.....	100
i. Área (A).....	100
ii. Perímetro (P).....	105
iii. Longitud de La Cuenca (L _b).....	106
iv. Longitud del Cauce Principal (L _c).....	108
v. Ancho de la Cuenca (W).....	112
vi. Desnivel Altitudinal (DA).....	114
vii. Cotas del cauce principal	116
viii. Longitud total de cauces.....	117
3.10.3 Parámetros de Forma	117
i. Factor de Forma (RF).....	117
ii. Coeficiente de Compacidad (KC).....	118

	Página.
iii. Rectángulo Equivalente	118
3.10.4 Parámetros de Relieve.....	123
i. Pendiente Media de la Cuenca (Sm)	123
ii. Pendiente Media del Cauce Principal (Sc).....	126
iii. Curva Hipsométrica	128
iv. Histograma de Frecuencias Altimétricas	128
v. Altitudes Características:.....	129
3.10.5 Parámetros de la Red Hidrológica.....	133
i. Densidad de la Red de Drenaje (Dd).....	135
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	137
4.1 ANÁLISIS GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO.....	137
4.2 ANÁLISIS EN LA DELIMITACIÓN DE MICROCUENCAS HIDROGRÁFICAS ...	143
4.3 ANÁLISIS EN LA OBTENCIÓN DE PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS	144
4.4 CÁLCULO DE LA OFERTA HÍDRICA DEL CAUDAL.....	144
4.5 IDENTIFICACIÓN DE POTENCIALES ÁREAS DE RECARGA ACUÍFERA DENTRO DE LA MICROCUENCA PUYLLUCANA.....	156
4.6 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	158
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	159
5.1 CONCLUSIONES.....	1599
5.2 RECOMENDACIONES	1599
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	1160
LINKOGRAFÍA.....	1655
ANEXOS	1688
Fichas de Datos Hidrogeológicos.....	169
Contrato de Licencia para uso del Software ArcGIS.....	175

LISTA DE FIGURAS

	Página.
Figura 01: Ciclo Hidrológico del Agua	6
Figura 02: Cuenca hidrográfica	7
Figura 03: Cuenca, subcuenca y microcuenca	8
Figura 04: Divisorias de aguas Topográfica e Hidrogeológica	8
Figura 05: Dimensiones de una Cuenca Hidrográfica	9
Figura 06: Modelo de cuenca hidrográfica y parámetros morfométricos	10
Figura 07: Manejo de información espacial en un SIG	11
Figura 08: Estructura de capas de información en un SIG	11
Figura 09: Modelo de datos para una descripción general.....	12
Figura 10: Distancia real y distancia reducida	13
Figura 11: Área de una cuenca hidrográfica	14
Figura 12: Línea de parteaguas, cuenca del Río Sonora-México	16
Figura 13: Área (A), longitud (L) y perímetro (P) de una cuenca	17
Figura 14: Longitud del cauce principal (Lc)	18
Figura 15: Ancho promedio de la cuenca	18
Figura 16: Zonas agroecológicas en una cuenca altoandina, Cajamarca	19
Figura 17: Variación del factor de forma con la geometría de la cuenca	20
Figura 18: Valores de Kc para diferentes formas de cuencas	21
Figura 19: Ejemplo de un rectángulo equivalente de una cuenca	23
Figura 20: Relación de área de la cuenca con su rectángulo equivalente	24
Figura 21: Respuesta de una cuenca por pendiente	24
Figura 22: Pendiente media y media ponderada del cauce principal	28
Figura 23: Variación de hidrogramas en función de la pendiente del cauce	29
Figura 24: Valor de altura para hallar la pendiente media ponderada	30
Figura 25: División del cauce principal en tramos iguales	30
Figura 26: Curva Hipsométrica Subcuenca río Andamayo	32
Figura 27: Etapas de una cuenca en función a su curva Hipsométrica	33
Figura 28: Histograma de frecuencias altimétricas	35
Figura 29: Altura media en la curva hipsométrica	36
Figura 30: Variación de la temperatura con la altitud	36
Figura 31: Clasificación de Orden-Horton/Strahler	39
Figura 32: Red de drenaje en función de magnitud de orden	42
Figura 33: Ley de Darcy	45
Figura 34: Red de drenaje en función de magnitud de orden	45
Figura 35: Diagrama de flujo de las fases para la obtención de parámetros morfométricos en SIG	53
Figura 36: Mapa geológico de los alrededores de Cajamarca, superponiendo la delimitación de la microcuenca Puyllucana	55
Figura 37: a. Columna estratigráfica, alrededores de Cajamarca y Baños del Inca. b. Porcentajes de áreas ocupados por los tipos de rocas en la microcuenca.	56
Figura 38: Mapa paleogeográfico durante jurasico superior (MALM)	57
Figura 39: Presentación geográfica y paleográfica del margen andino durante el cretáceo inferior	58
Figura 40: Columna estratigráfica, alrededores de Cajamarca y Baños del Inca	59
Figura 41: Curadro de correlaciones entre unidades litoestratigráficas del cretáceo en la margen peruana	63

	Página
Figura 42: Fracturamiento en la formación farrat	64
Figura 43: Areniscas grises y rojizas de la Formación Inca	65
Figura 44: Macrofósil (ammonite 27x40cm) en la Fm. Chúlec.....	66
Figura 45: Fm. Pariatambo, intercalación de estratos delgados de caliza con lutitas calcáreas.....	67
Figura 46: Calizas nodulares margosas con fracturas rellenas de calcita de la Formación Yumagual, cerca al contacto con la Formación Pariatambo....	69
Figura 47: Formación Yumagual evidenciándose un fuerte fracturamiento.....	69
Figura 48: Intercalación de calizas nodulares con margas pardo amarillentas de la Formación Romiron.....	71
Figura 49: Contacto Formación Coñor y Formación Cajamarca.....	71
Figura 50: Calizas de la formación Cajamarca.....	72
Figura 51: Zona estructural-alrededores de Caj., pliegues amplios y alargados.....	74
Figura 52: Corte geológico transversal, observando la microcuenca Puyllucana en una zona de plegamiento, entre el anticlinal Baños del Inca y el sinclinal de Otuzco, limitada por los cerros coñor Punta y tuyo Loma.....	76
Figura 53: Plegamiento de estructuras geológica, generando grietas propicias tanto para recarga como para la surgencia de aguas subterráneas.....	78
Figura 54: ASTER GDEM v2. Cpp. Puyllucana, Baños del Inca, Cajamarca.....	81
Figura 55: Configuración de Sistema de Coordenadas WGS84 Zona 17S en propiedades del Data Frame.....	82
Figura 56: Ubicación del comando Fill en ArcToolbox de ArcGIS.....	83
Figura 57: Modelo DEM eliminado de imperfecciones.....	84
Figura 58: Modelo D8, para determinar dirección de flujo.....	85
Figura 59: Ubicación del comando Flow Direction en ArcToolbox de ArcGIS.....	86
Figura 60: Modelo DEM mostrando direcciones de flujo.....	87
Figura 61: Modelo para determinar acumulación de flujo.....	88
Figura 62: Digitalización de escorrentía sobre imagen satelital.....	89
Figura 63: Conversión de la escorrentía en formato ráster (Weight Raster).....	90
Figura 64: Ubicación del comando Flow Accumulation en ArcToolbox de ArcGIS.....	91
Figura 65: Modelo DEM mostrado acumulaciones de flujo.....	92
Figura 66: Creación shape tipo punto en ArcGIS.....	93
Figura 67: Interpolación del shape tipo punto con el DEM.....	93
Figura 68: Ubicación del punto de desfogue del río Puyllucana.....	94
Figura 69: Ubicación del comando Watershed en ArcToolbox de ArcGIS.....	95
Figura 70: Generación de Watershed con imagen base Flow Accumulation.....	96
Figura 71: Delimitación Microcuenca Puyllucana con <i>mapa base</i> topográfico.....	97
Figura 72: Microcuenca Puyllucana interpolado con el DEM.....	98
Figura 73: Extracción curvas de nivel del ASTER GDEM v2.....	101
Figura 74: Creación de TIN e interpolación del shape de la microcuenca.....	102
Figura 75: TIN cortado con shape interpolado de la microcuenca.....	103
Figura 76: Cálculo de volumen, área 2D y 3D de la microcuenca Puyllucana.....	104
Figura 77: Cálculo del perímetro de cuenca "3D Perimeter".....	105
Figura 78: Cálculo de la longitud de cuenca "3D length".....	106
Figura 79: Línea de longitud de la cuenca en superficie de relieve 3D.....	107
Figura 80: Condicional "Con" en la calculadora raster.....	108
Figura 81: Orden de la red hídrica generada con "Stream Order".....	109
Figura 82: Cálculo del cauce principal de cuenca "3D length".....	110

	Página
Figura 83: Cauce principal de la cuenca en imagen 3D.....	111
Figura 84: Representación del ancho promedio "W", de la cuenca.....	113
Figura 85: Propiedades del TIN mostrando Rango mínimo y máximo de elevación....	114
Figura 86: Representación de la altura Máxima y Mínima de la microcuenca.....	115
Figura 87: Cálculo de la cota inicial y la cota final del cauce principal.....	116
Figura 88: Cálculo de la sumatoria de toda la red hídrica de la cuenca.....	117
Figura 89: Conversión de TIN a formato Ráster.....	120
Figura 90: Reclasificación en 07 intervalos del Ráster.....	121
Figura 91: Superficies 3D de rangos de elevación reclasificados.....	122
Figura 92: Rectángulo equivalente de la Microcuenca Puyllucana.....	123
Figura 93: Valor de la pendiente media en el cuadro de propiedades.....	124
Figura 94: Ráster de pendientes de la microcuenca Puyllucana.....	125
Figura 95: Valor de la pendiente media del cauce principal.....	126
Figura 96: Cauce principal interpolado con el ráster de pendientes.....	127
Figura 97: Curva hipsométrica de la microcuenca Puyllucana.....	128
Figura 98: Diagrama de frecuencia de altitudes, microcuenca Puyllucana.....	129
Figura 99 Valor de la altitud media de la microcuenca Puyllucana.....	129
Figura 100: Valor de la altitud mas frecuente de la microcuenca Puyllucana.....	130
Figura 101: Ráster de clase n°5 (300 a 3100 msnm)-25.48%.....	131
Figura 102: Conversión del cauce principal a 3D.....	132
Figura 103: Perfil longitudinal del cauce principal, microcuenca Puyllucana.....	133
Figura 104: Ordenación Horton-Strahler del drenaje tipo dendrítico	134
Figura 105: Cálculo de la sumatoria de las longitudes 3D.....	135
Figura 106: Representación densidad drenaje en función de su magnitud de orden..	136
Figura 107: Columna estratigráfica microcuenca Puyllucana.....	138
Figura 108: Porcentaje área de formaciones geológicas - microcuenca Puyllucana.	138
Figura 109: Superficie de la geología en 3D.....	139
Figura 110: Modelo hidrogeológico fuentes termales Baños de Inca - Cajamarca....	141
Figura 111: Comparación visual entre distintos Raster de la zona de estudio. (a) curvas de nivel 50m; (b) ASTER GDEM v1 y (c) ASTER GDEM v2.....	144
Figura 112: Superposición de los ráster: flow direction, pendientes bajas y los shape: acuífero principal, secundario, acuitardo principal.....	149
Figura 113: Captación 01.....	169
Figura 114: Captación 02.....	169
Figura 115: Manantial 01.....	169
Figura 116: Reservorio 01.....	169
Figura 117: Captación 03.....	170
Figura 118: Captación 04.....	170
Figura 119: Captación 05.....	170
Figura 120: Captación 06.....	170
Figura 121: Manantial 02.....	171
Figura 122: Captación 07.....	171
Figura 123: Captación 08.....	171
Figura 124: Captación 09.....	171
Figura 125: Reservorio 02.....	172
Figura 126: Reservorio 03.....	172
Figura 127: Captación 10.....	172
Figura 128: Reservorio 04.....	172

	Página.
Figura 129: Captación 11.....	173
Figura 130: Captación 12.....	173
Figura 131: Captación 13.....	173
Figura 132: Captación 14.....	173

LISTA DE CUADROS

Cuadro 01: Clasificación de cuencas-varios autores.....	14
Cuadro 02: Clasificación de cuencas-Campos Aranda.....	15
Cuadro 03: Escalas más utilizadas en función de la superficie de una cuenca.....	15
Cuadro 04: Forma de la cuenca en función al factor de forma	20
Cuadro 05: Índice de Gravelius para la evaluación de la forma	22
Cuadro 06: Clasificación del relieve de una cuenca de acuerdo a su pendiente.....	27
Cuadro 07: Métodos manuales para la determinación de la pendiente media de una cuenca hidrográfica	27
Cuadro 08: Clasificación de las corrientes de una cuenca	37
Cuadro 09: Patrones de drenaje	38
Cuadro 10: Algunos Modelos de Orden de Drenaje	46
Cuadro 11: Clasificación de algunos materiales sedimentarios según su permeabilidad o conductividad hidráulica (m/día)	46
Cuadro 12: Características de almacenamiento de las rocas	46
Cuadro 13: Rangos de valores medios de porosidad y permeabilidad de las distintas rocas	46
Cuadro 14: Vértices que delimitan la zona de estudio	48
Cuadro 15: Accesibilidad hacia la zona de estudio	48
Cuadro 16: Temperaturas en Cajamarca	49
Cuadro 17: Precipitación en Cajamarca	49
Cuadro 18: Meses de lluvias en Cajamarca	49
Cuadro 19: Clasificación Hidrogeológica de las rocas, Cajamarca	78
Cuadro 20: Datos generales de la microcuenca Puyllucana	100
Cuadro 21: Área y volúmen - microcuenca Puyllucana	104
Cuadro 22: Longitud del perímetro - microcuenca Puyllucana	105
Cuadro 23: Longitud de la microcuenca Puyllucana	106
Cuadro 24: Longitud del cauce principal de la microcuenca Puyllucana	110
Cuadro 25: Áreas entre curvas de nivel de la Microcuenca Puyllucana	119
Cuadro 26: Valores de interpolación para el 50% de las alturas.....	132
Cuadro 27: Clasificación Hidrogeológica de las rocas - Microcuenca Puyllucana.	142
Cuadro 28: Parámetros morfométricos 2D de la microcuenca Puyllucana.....	144
Cuadro 29: Parámetros morfométricos 3D de la microcuenca Puyllucana.....	145
Cuadro 30: Comparación: parámetros morfométricos 2D y 3D – mic. Puyllucana.	152
Cuadro 31: Coeficiente de escorrentía para el método racional.....	155
Cuadro 32: Precipitación mensual en Cajamarca	156
Cuadro 33: Zonas de recarga acuífera.....	156
Cuadro 34: Ficha 01 - Datos Hidrogeológicos.....	169

Cuadro 35: Ficha 02 - Datos Hidrogeológicos.....	169
Cuadro 36: Ficha 03 - Datos Hidrogeológicos.....	169
Cuadro 37: Ficha 04 - Datos Hidrogeológicos.....	169
Cuadro 38: Ficha 05 - Datos Hidrogeológicos.....	170
Cuadro 39: Ficha 06 - Datos Hidrogeológicos.....	170
Cuadro 40: Ficha 07 - Datos Hidrogeológicos.....	170
Cuadro 41: Ficha 08 - Datos Hidrogeológicos.....	170
Cuadro 42: Ficha 09 - Datos Hidrogeológicos.....	171
Cuadro 43: Ficha 10 - Datos Hidrogeológicos.....	171
Cuadro 44: Ficha 11 - Datos Hidrogeológicos.....	171
Cuadro 45: Ficha 12 - Datos Hidrogeológicos.....	171
Cuadro 46: Ficha 13 - Datos Hidrogeológicos.....	172
Cuadro 47: Ficha 14 - Datos Hidrogeológicos.....	172
Cuadro 48: Ficha 15 - Datos Hidrogeológicos.....	172
Cuadro 49: Ficha 16 - Datos Hidrogeológicos.....	172
Cuadro 50: Ficha 17 - Datos Hidrogeológicos.....	173
Cuadro 51: Ficha 18 - Datos Hidrogeológicos.....	173
Cuadro 52: Ficha 19 - Datos Hidrogeológicos.....	173
Cuadro 53: Ficha 20 - Datos Hidrogeológicos.....	173

LISTA DE ABREVIATURAS

SIG : Sistema de Información Geográfica.

ASTER : Estación espacial avanzada de emisión y reflexión radiométrica.

ASTER GDEM v1: Modelo global de elevación digital ASTER, Version 1.

ASTER GDEM v2: Modelo global de elevación digital ASTER, Version 2.

METI : Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón.

NASA : Administración Nacional de Aeronáutica y Espacio.

TIN : Red irregular de triángulos.

2D : Dos dimensiones.

3D : Tres dimensiones.

RESUMEN

Se plantea como área de estudio la microcuenca Puyllucana localizada en la cordillera occidental de los Andes Peruanos a una distancia de 9 km. al noreste de la ciudad de Cajamarca, y con una altitud que varía de los 2,687msnm. a los 3,305msnm. En el presente estudio se busca, con un enfoque geológico, mejorar la calidad de los datos al obtener la oferta hídrica del caudal en la microcuenca Puyllucana cuyo valor sea lo más cercano a la realidad, para lo cual se obtienen los parámetros morfométricos con ayuda de uno de los software más completos y utilizado a nivel mundial, como es el ArcGIS y haciendo la comparación entre el formato tradicional 2D y una nueva metodología a manera de propuesta en formato de relieve 3D para finalmente señalar que el valor de la oferta hídrica del caudal en una cuenca hidrográfica debería ser realizado siempre en relieve 3D. La unidad de estudio queda clasificada como: Microcuenca, de forma alargada, de forma oval alargada con tendencia a crecida media, moderadamente empinada, en fase de madurez, ubicada en la Región Quechua Baja, bien drenada y con bifurcación de orden 3.

Palabras clave: *microcuenca, oferta hídrica, parámetros morfométricos, ArcGIS, relieve 3D.*

ABSTRACT

It arises as a study area the Puylucana watershed, located in the Western mountain range of the Peruvian Andes at a distance of 9 km northeast of the city of Cajamarca, and with an altitude ranging from 2,687msnm. 3,305msnm. In the present study sought, with an ecological approach, improving the quality of the data to get the water supply flow in micro Puylucana whose value is as close to reality, for which morphometric parameters are obtained using one of the most complete and software used worldwide, such as ArcGIS and making comparison between the traditional 2D format and a new methodology proposed by way of 3D landscape format to finally noted that the value of the water supply flow in a river basin it should always be made in 3D relief. Classifying the unit of study as: watershed, of elongated, oval-shaped elongated with tendency to flood average, moderately steep, in phase of maturity, located in the Region Quechua, well drained and fork of order 3.

Keywords: *watershed, water supply, morphometric parameters, ArcGIS, 3D relief.*

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso y un elemento vital para el desarrollo de las actividades humanas y de los procesos naturales; el manejo y formas de gestión de estas actividades tienen un reflejo directo sobre los atributos de calidad y cantidad de agua, conocer los factores que condicionan el balance entre la disponibilidad y usos del agua es uno de los temas más importantes al abordar la gestión de los recursos hídricos. La necesidad hídrica viene a ser afectada por los factores de oferta y demanda al ser bien necesario para la vida en el planeta, por lo que los factores que determinan la disponibilidad y con ello el punto de equilibrio, primeramente se abordan los relacionados con la oferta y posteriormente se aborda los relativos a la demanda hídrica, con ello podemos hacer consideraciones en cuanto a gestión se trata.

Planteamiento del Problema.

La creciente necesidad de lograr el equilibrio hidrológico que asegure el abastecimiento suficiente de agua a la población se logrará armonizando la disponibilidad natural con las extracciones del recurso mediante el uso eficiente del agua. Nuestro país es rico en recursos naturales, obtiene el agua que consume la población de fuentes tales como ríos, arroyos y acuíferos del subsuelo. Estos acuíferos se recargan de forma natural en época de lluvias. Sin embargo, la época de lluvias tiene una duración promedio de cuatro meses lo que propicia una escasa captación. Aunado a esto, del total de agua captada por lluvias, se tiene una fuerte evaporación de la misma. La desproporción que existe entre la cantidad de agua que se capta por escurrimiento y las extensiones territoriales que comprenden aunado a la corta temporada de lluvias hace que la disponibilidad del agua sea cada vez menor.

En tal sentido, actualmente la determinación de la disponibilidad hídrica de una cuenca se realiza utilizando todos los alcances de la técnica conocida, cimentando sus alcances en la determinación del área y el coeficiente de escurrimiento en base de un plano en condiciones de dos dimensiones. Sabiendo

que este importante parámetro hídrico se basa en el área de una determina zona, estimamos que se está desarrollando cálculos que no se ajustan a la realidad, a pesar que con el paso del tiempo se ha avanzado en el desarrollo de la ciencia y la tecnología que hace posible el estudio y caracterización de los sistemas naturales cada vez más precisos y cercanos a la realidad, como es el caso de los software SIG (entre ellos el ArcGIS) cuya metodología en formato 3D proporcionaría resultados más cercanos a la realidad de la oferta hídrica en una zona específica. Para el caso de nuestra investigación lo hemos tratado de aplicar en la microcuenca del Río Puyllucana.

Formulación del Problema.

¿Cómo se puede determinar la oferta hídrica del caudal en la microcuenca Puyllucana de modo mas cercano a la realidad?

Justificación de la Investigación

La oferta hídrica del caudal en una cuenca hidrográfica y específicamente en la zona de estudio, no tiene el mismo valor en un plano 2D que realizarla de un modo más cercano a la realidad como es en relieve 3D cuyas herramientas necesarias disponen muchos de los software del mundo SIG, para finalmente sirva de base a los usuarios y autoridades en considerar su uso y disponibilidad en proyectos actuales y futuros.

Objetivos

General

- Determinar el caudal, mediante la caracterización hidromorfométrica de la microcuenca Puyllucana con la aplicación ArcGIS.

Específicos

- Elaboración de perfil geológico de la zona de estudio.
- Realizar la clasificación hidrogeológica de la zona de estudio.
- Realizar la comparación en 2D y en 3D de los parámetros morfométricos en la zona de estudio.
- Determinar el valor en 2D y en 3D del caudal aportado en la zona de estudio.

Académico

- Obtener el título profesional de Ingeniero Geólogo.

Hipótesis de Investigación

La oferta hídrica del caudal en la microcuenca Puyllucana calculando sus parámetros hidromorfométricos mediante el uso de software en la plataforma SIG, tiene un valor más cercano a la realidad.

El trabajo está estructurado en cinco capítulos:

En el capítulo I se presenta la situación a investigar, abarca los objetivos, justificación e hipótesis.

En el capítulo II se muestra la recopilación de los antecedentes teóricos de la investigación como estudios de aguas termales del INGEMMET, prevención de desastres del INDECI, trabajos geológicos de cuencas sedimentarias, y tesis relacionadas con la investigación; como bases teóricas se consideró fundamentos en geología, en cuencas hidrográficas y el uso de los SIG en la morfometría de cuencas, además de la definición de términos básicos usados para la investigación.

En el capítulo III se considera la ubicación geográfica, accesibilidad a la zona, además hace referencia a la metodología de investigación, trabajo de gabinete y de campo; se describe también la geología e hidrogeología local y regional.

En el capítulo IV se presenta la aplicación del software ArcGIS planteando una nueva metodología en la delimitación de la microcuenca Puyllucana así como en la obtención de sus parámetros morfométricos en relieve 3D y finalmente obtener el valor mas cercano a la realidad de la oferta hídrica del caudal. Por último el capítulo V, donde se presenta las conclusiones, resultados y recomendaciones finales como consecuencia del trabajo de investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

- **INGEMMET BOLETÍN N°31 (1980)**, cuadrángulo de Cajamarca - San Marcos - Cajabamba. Analizan regionalmente el área de estudio. Considerando la existencia del cartografiado a escala 1:100,000. Año 1980.
- **INGEMMET (2003)**, Estudios hidrogeológico y geofísico Baños del Inca, Cajamarca: Aguas Termales Para El Nuevo Milenio. Donde describe el estudio geológico y geoquímico de las aguas termales en los alrededores del Distrito de los Baños del Inca.
- **INDECI (2004)**, Proyecto INDECI-pnud per/02/051 Ciudades Sostenibles, titulado: Mapa de Peligrosidad de la Ciudad De Los Baños del Inca. Donde se presenta manantiales principales de agua termal y los planos del estudio hidrológico y geológico en la zona central de la ciudad de los Baños del Inca.
- **INDECI (2005)**, Proyecto INDECI-pnud per/02/051 Ciudades Sostenibles, titulado: Programa de Prevención y Medidas De Mitigacion Ante Desastres de la Ciudad de Cajamarca. Donde se plasma en planos y se describe niveles de peligro en la ciudad de los Baños del Inca.
- **LAGOS A; QUISPE Z (2007)**, Trabajo de investigación: Aportes al Análisis de Cuencas Sedimentarias en los Alrededores de las Localidades de los Baños del Inca, Cruz Blanca, Otuzco. Distrito de Cajamarca. Presentado en el XIII Congreso Peruano de Geología.
- **CHUQUIRUNA, W (2009)**, en su Tesis: Caracterizacion Estratigráfica Y Estructural de la Subcuenca Chonta - Cajamarca; mediante aplicacion SIG.

Realiza la correlación de variables estratigráficas y estructurales de la Subcuenca Chonta bajo el modelamiento del software ArcGIS v9.3.

- **BARDALES, B (2014)**, en su Tesis: Análisis Estructural de la Secuencia Cretácica de los Baños del Inca y Alrededores, Cajamarca - Perú. Analiza el comportamiento estructural y lo relaciona como un controlador en la disposición de la red fluvial.
- **ASCURRA, M (2014)**, en su Tesis: Caracterización Geológica e Hidrogeológica de la Microcuenca Shaullo, Baños del Inca-Cajamarca. Realiza la caracterización geológica e hidrogeológica de la microcuenca Shaullo, usando estaciones geomecánicas e inventariado de manantiales.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Principios Fundamentales de la Geología

i. Principio de la Superposición de Estratos. (Steno, 1669).

En una sucesión de estratos, las capas de sedimento se depositan en una secuencia temporal, en la que las más antiguas se encuentran en posición inferior a las más recientes.

ii. Principio de Horizontalidad Original. (Steno, 1669).

No importa cuál sea la orientación actual de un estrato, fue creado por un depósito de agua, y por tanto, fue en su origen horizontal.

iii. Principio de Continuidad Lateral. (Steno, 1669).

El agua deposita sedimentos en una capa continua que termina solamente en el borde de su cuenca. Por tanto, capas de rocas correspondientes a ambos lados de un valle fueron originalmente una única capa.

iv. Principio de Intersección. (Hutton, 1788).

Cualquier fenómeno o acontecimiento geológico (intrusión ígnea, falla, plegamiento, etc.) es más joven que las rocas a las que afecta.

v. **Principio de Inclusión. (Hutton, 1788).**

Las inclusiones (o clastos) que se encuentran dentro de una formación, son más antiguos que la formación que los contiene.

vi. **Principio de la Sucesión Faunística o de Correlación (Smith, 1815).**

Los fósiles de la parte inferior de una secuencia de estratos son más antiguos que aquellos situados en la parte superior de la secuencia. Y que dos estratos que tengan los mismos fósiles son de la misma antigüedad

vii. **Principio del Uniformismo y del Actualismo. (Hutton, 1788).**

Los procesos naturales que actuaron en el pasado son los mismos que actúan en el presente. Su significado se resume a menudo en: *"El presente es la clave del pasado"*.

2.2.2 Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico del agua es el proceso por el que el agua se mueve desde el aire (condensación) hasta la tierra (precipitación) y vuelve a la atmósfera (evaporación). La mayor parte de la masa del agua se encuentra en forma líquida, sobre todo en los océanos y mares y en menor medida en forma de agua subterránea o de agua superficial (en ríos y arroyos). También el agua acumulada como hielo en los glaciares, en el Perú le encontramos en la Cordillera Blanca-Ancash. El agua nunca está quieta, está en continuo movimiento, y durante ese movimiento va pasando de un estado a otro. Este proceso es lo que se denomina ciclo del agua. (Portal Web: Autoridad Nacional del Agua 🇵🇪).

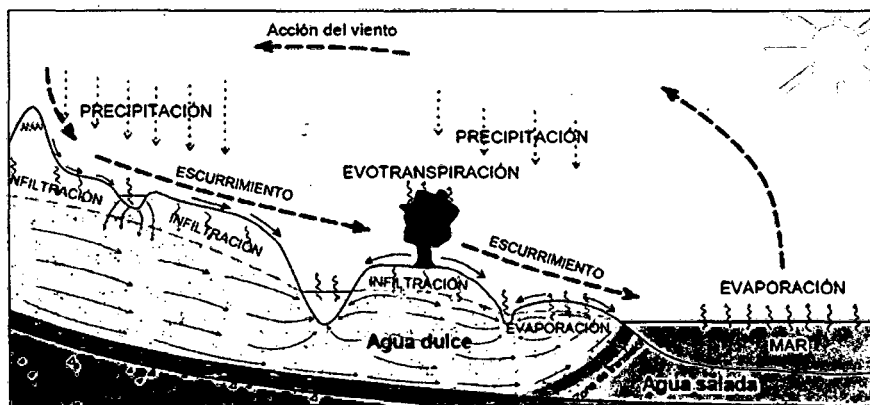


Figura 01. Ciclo Hidrológico del Agua.

Fuente: Pérez y Rodríguez, 2009

2.2.3 Cuenca Hidrográfica

Son espacios geográficos, cuyos límites inician en las partes altas de las montañas - conocidos como "parteaguas" y terminan en donde el agua de las precipitaciones que corren por un río principal llega al mar, lagos o embalses artificiales. (Jiménez, F. 2005).

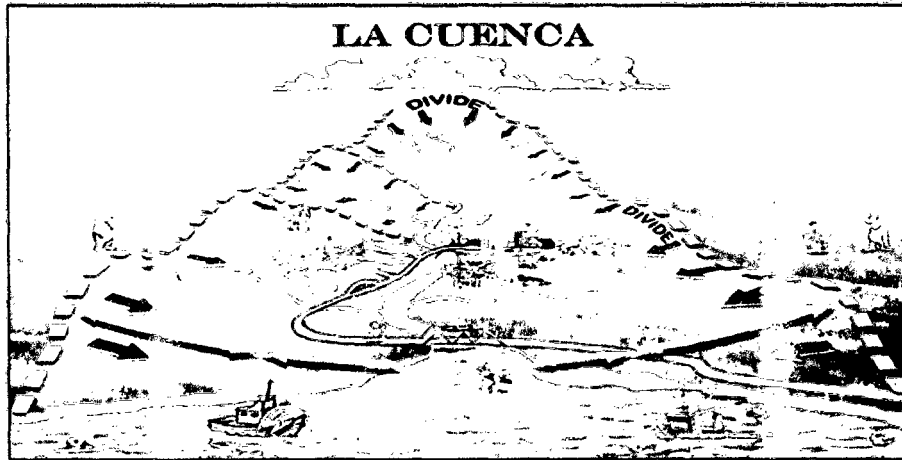


Figura 02. Cuenca Hidrográfica.

Fuente: Sanz, 2008.

En la cuenca hidrográfica se encuentran los recursos naturales y la infraestructura creada por las personas, en las cuales desarrollan sus actividades económicas y sociales generando diferentes efectos favorables y no favorables para el bienestar humano. (Dourojeanni, 1994 y Faustino, 1997).

2.2.3.1 División Espacial de una Cuenca Hidrográfica

Para el ordenamiento y manejo de una cuenca, es necesario dividirla en unidades más pequeñas:

Una subcuenca, es toda área en la que su drenaje va a directamente al río principal de la cuenca. También se puede definir como una subdivisión de la cuenca. Es decir que en una cuenca puede haber varias subcuencas. (Umaña, 2012).

Una microcuenca, se define como el "campo de la formación natural, drenada por un curso de agua y sus afluentes aguas arriba de una sección transversal considerada, donde converge toda la zona de aguas". En términos generales, la microcuenca es una subcuenca de área pequeña. (Cecilio y Reis, 2006).

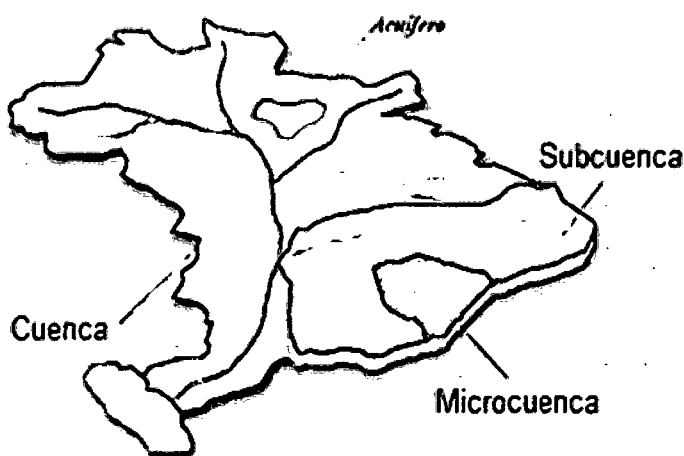


Figura 03. Cuenca, subcuenca y microcuenca.

Fuente: Amanalco, 2014.

Las microcuencas son unidades pequeñas y a su vez son áreas donde se originan quebradas y riachuelos que drenan de las laderas y pendientes altas. También las microcuencas constituyen las unidades adecuadas para la planificación de acciones para su manejo. (Umaña, 2012).

2.2.3.2 Cuenca Hidrográfica y Cuenca Hidrológica

Una cuenca hidrográfica y una cuenca hidrológica se diferencian en que la cuenca hidrográfica se refiere exclusivamente a las aguas superficiales, mientras que la cuenca hidrológica incluye también a las aguas subterráneas (acuíferos). Es muy importante conocer esta característica interna de la cuenca, porque en algunos casos se realiza el balance hidrológico sin considerar los aportes o fugas de una cuenca vecina a otra. Un caso particular es el de las cuencas ubicadas en terrenos cársticos. (Mag y Forgaes, 2014).

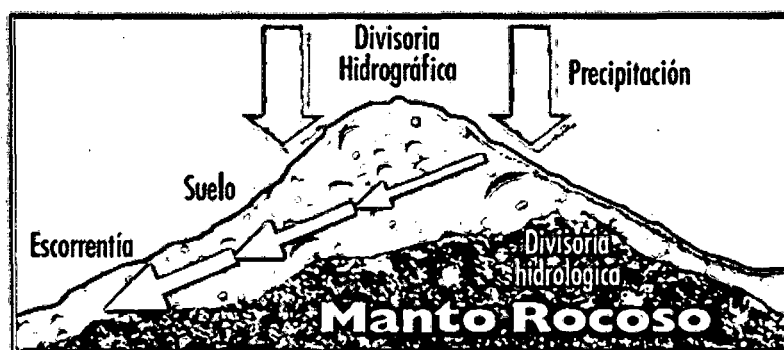


Figura 04. Divisorias de aguas Topográfica e Hidrogeológica

Fuente: Mag y Forgaes, 2014.

2.2.3.3 Las cuatro dimensiones de una cuenca hidrográfica

Entre las dimensiones convencionales que siempre destacan en una cuenca hidrográfica, está el **largo** y **ancho** (configuran la forma), pero no muy frecuentemente se caracteriza la profundidad (manto rocoso) y el **vuelo** (altura de la cobertura vegetal, relieve y características aéreas), o sea que en términos prácticos se manejan tres ejes X, Y, Z, (ancho, largo y altura). Pero para entender el comportamiento de la cuenca es indispensable conocer escenarios en el **tiempo**, que expliquen cambios y dinámicas, lo cual lleva a valorar la dimensión temporal (t). (Faustino, 2006).

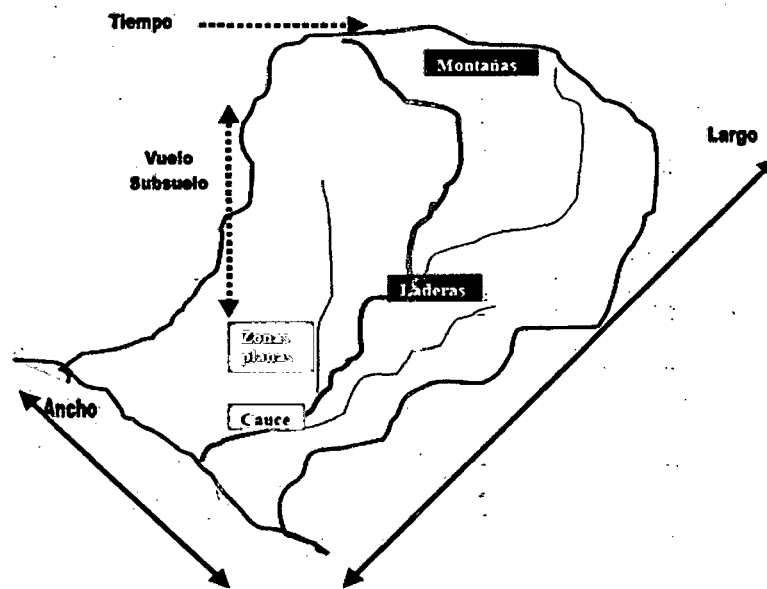


Figura 05. Dimensiones de una Cuenca Hidrográfica

Fuente: Faustino J. 2006

2.2.4 Oferta Hídrica

Corresponde al volumen disponible de agua para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre. (Corponariño).

2.2.4.1 Fórmula Racional

Es un método muy apropiado cuando la información disponible de la zona de trabajo, de superficie no superior a 1.000 ha, no es muy exhaustiva; su validez además depende de la fiabilidad de los valores del coeficiente de escorrentía (c) y del tiempo de concentración empleados en el cálculo. (Ibáñez, et. al. 2011).

La expresión utilizada para el cálculo toma la siguiente forma: $Q = C \cdot I \cdot A / 360$.

Donde: Q = caudal de escorrentía (m³/s), C = coeficiente de escorrentía, I = intensidad de la precipitación (mm/h), A = superficie de la cuenca (ha)

2.2.5 SIG en la Morfometría de Cuencas Hidrográficas

El uso de sistemas de información geográfica (SIG), en particular el análisis de superficies a través de modelos digitales de elevación, representa una alternativa que ha tomado relevancia en estudios de parámetros morfométricos por ser muy útil para analizar características de un ambiente geomorfológico. (Viramontes et al., 2007).

ChRgn	A_km2	P_km	Em_m	Pm_g	Pm_p	Kc	Rcl	Rh	Lc_km	La_km	Sh	Emx_m	Emn_m	Sc_p	Tc_Kirpich_h	Tc_CHPW_h
1	23.76	31.86	1920.72	25.7	50.1	1.8	0.29	1.0	12.23	9.72	1.2	2914	.976	22.28	0.92	0.93

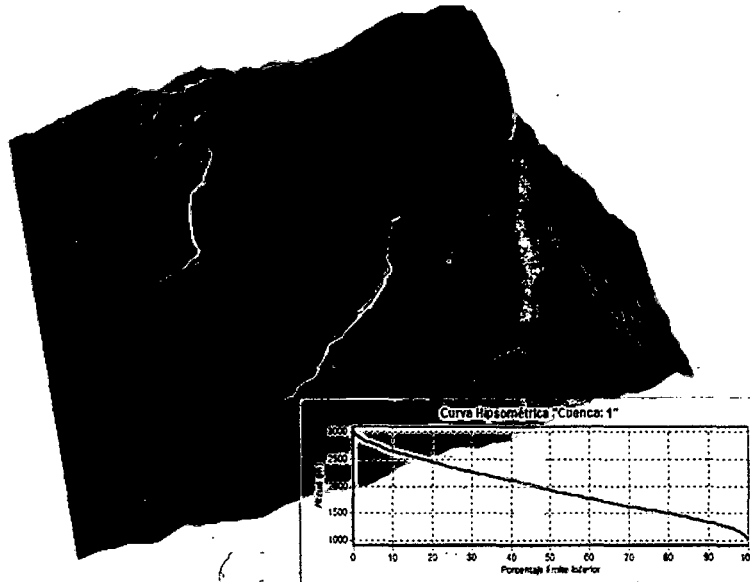


Figura 06. Modelo de cuenca hidrográfica y parámetros morfométricos

Fuente: Franz, 2012

El uso de sistemas de información geográfica (SIG), en particular el análisis de superficies a través de modelos digitales de elevación, representa una alternativa que ha tomado relevancia en estudios de parámetros morfométricos por ser muy útil para analizar características de un ambiente geomorfológico. (Viramontes et al., 2007).

Entre las ventajas de esta herramienta SIG están su adaptabilidad a una gran variedad de modelamiento con una mínima inversión de tiempo y dinero; los datos espaciales y no espaciales pueden ser analizados simultáneamente en una forma relacional; gran diversidad de modelos conceptuales pueden ser probados rápidamente y repetidos varias veces facilitando su ajuste y evaluación (Valenzuela, 1989).

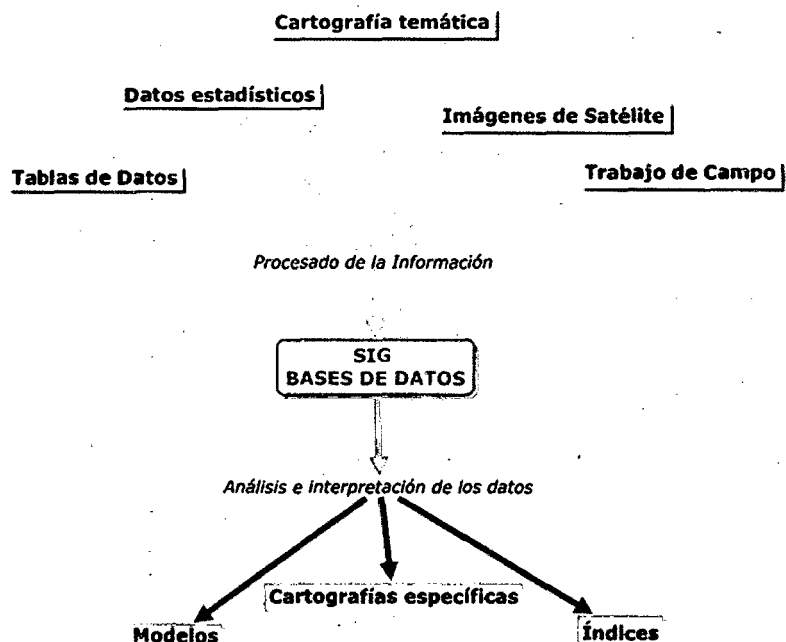


Figura 07. Manejo de información espacial en un SIG

Fuente: Oserm, 2002.
Modificado por el tesista.

Los sistemas de información geográfica permiten complementar los diferentes tipos de priorización en las cuencas donde esta herramienta se ha convertido en la metodología de análisis geográfico de gran difusión. La causa principal de esto reside en la multitud de actividades en las que pueden ser útiles. (Bosque y García, 2000).

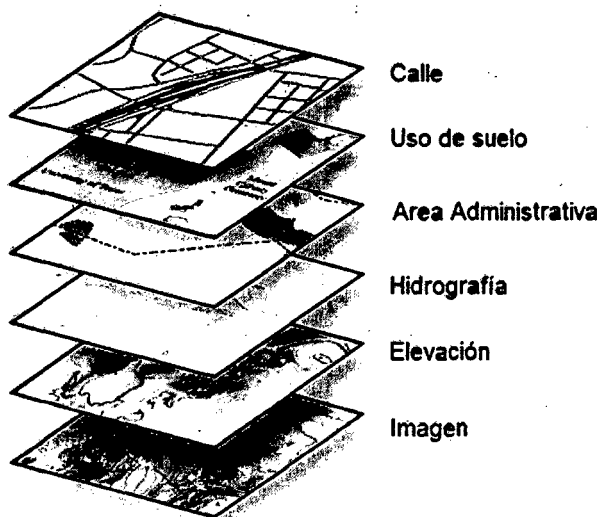


Figura 08. Estructura de capas de información en un SIG

Fuente: Esri, 2011.

El uso de sistemas de información geográfica (SIG), en particular el análisis de superficies a través de modelos digitales de elevación, representa una alternativa que ha tomado relevancia en estudios de parámetros morfométricos por ser útil para analizar características de un ambiente geomorfológico. (Viramontes et al., 2007).

Los Sistemas de Información Geográfica cambian la manera en la que pensamos y actuamos, permitiéndonos medir, planear, tomar mejores decisiones, evaluar y posteriormente tomar acción para crear un futuro mejor. (Angelides, 2013).

2.2.5.1 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS

Las características físicas de una cuenca de drenaje revisten gran importancia para la realización de estudios geomorfológicos, hidrológicos y geotécnicos, ya que influyen en el desarrollo de múltiples procesos fluviales y en el riesgo de inundación. (Busnelli, 2009).

Para el análisis de los parámetros morfométricos los podemos agrupar según Ibáñez, S., et al. 2011, en:

- A. Descripción General
- B. Parámetros Generales
- C. Parámetros de Forma
- D. Parámetros de Relieve
- E. Características de la Red de Drenaje

A. DESCRIPCIÓN GENERAL

Aporta información básica como: ubicación, río al que desemboca, coordenadas del punto de desfogue, etc. Para tener una visión general en un contexto más amplio de la cuenca en estudio.

Por ejemplo:

El barranco de La Falconera se encuentra situado en el término municipal de Jávea, en la provincia de Alicante. Recoge las aguas de la parte más occidental de la ladera sur del macizo del Montgó, conduciéndolas hacia el río Gorgos a través de su recorrido. Pertenece por lo tanto a la cuenca vertiente del Mar Mediterráneo.							
Nombre Barranco principal	Nº Hoja Mapa 1/50.000	Término Municipal	Vuelo	Año	Escala Fotografías	Punto de Desagüe	
						Cord. UTM X	Cord. UTM Y
La Falconera	822	Jávea	ICV	2008	1/25000	724520	42153200

Figura 09. Modelo de datos para una descripción general

Fuente: Ibáñez, et al., 2011.

B. PARÁMETROS GENERALES

Se recogen los aspectos más básicos de una cuenca hidrográfica, como son:

B.1 ÁREA (A)

En general, se simboliza tanto con la letra A como con la S que coinciden con la iniciales de las palabras área y superficie. (Jardí, 1985).

La relación existente entre el área y la hidrología de la cuenca es fundamental, hasta tal punto que los datos proporcionados por una estación de aforos no tendrán utilidad práctica si no se tiene el dato de la superficie drenada hasta dicha estación, ni se podrá conocer la aportación de agua en un periodo determinado de tiempo. (Jardí, 1985).

Ésta área se calcula a través de la representación a escala, sobre un mapa topográfico de la cuenca. Por tanto, **la medida calculada sobre un mapa no coincidirá con la medida real**, ya que se tratará del área de la proyección en el plano horizontal de la superficie de la cuenca. Cuanto mayor sea el relieve, entendiéndose por relieve las diferencias de nivel, mayor será el error cometido en la medida de la superficie. (Jardí, 1985).

Distancia real y distancia reducida son dos conceptos a tener en cuenta a la hora de afrontar un desnivel; y cuanto mayor sea este más determinante resulta.

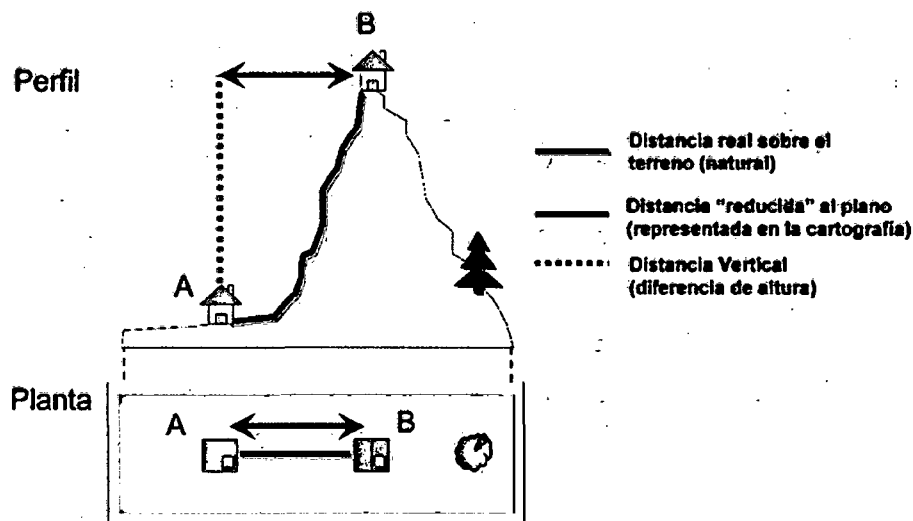


Figura 10. Distancia real y distancia reducida

Fuente: Cantabricalia, 2014

Por lo anterior, es recomendable realizar todos los cálculos de aquí en adelante considerando el relieve, es decir que las mediciones no sean en forma planimétrica (2D), sino en forma de relieve (3D); esto va depender en gran medida del tipo de datos a trabajar, así como de la habilidad del que lo realiza al procesar la información espacial.

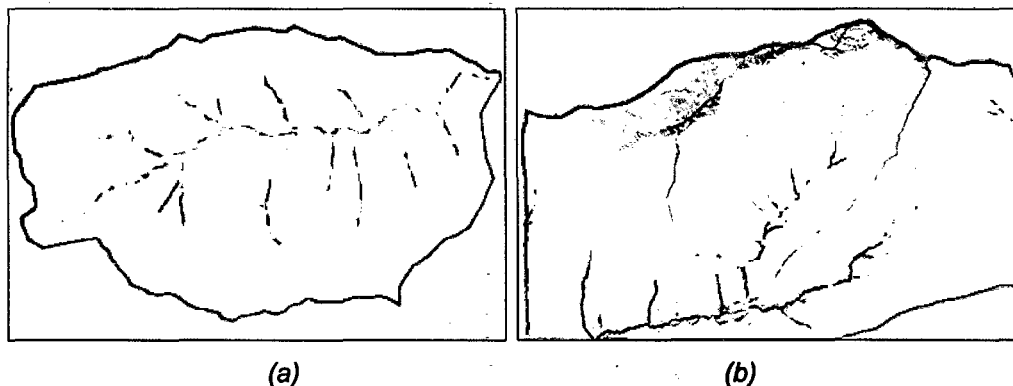


Figura 11. Área de una cuenca hidrográfica, (a): vista en planta 2D y (b): vista en relieve 3D.

Fuente: Franz, 2011

De acuerdo a la magnitud de la superficie, se tienen varias clasificaciones con respecto al nombre que reciben, como: cuenca, subcuenca, microcuenca o también como: pequeñas, medianas, grandes.

Cuadro 01. Clasificación de cuencas – varios autores

Autores	cuencas	Sub-cuencas	Micro-cuencas
Faustino (1996)	Mayor a 700 km ²	100 km ² a 700 km ²	Menor a 100 km ²
Rocha e Kurtz (2001)	Mayor a 3.000 km ²	200 km ² a 3.000 km ²	Menor a 20 km ²
Cecílio e Reis (2006)	Mayor a 200 km ²	0,1 km ² a 200 km ²	---

Fuente: Reich et al, 2011.

Cuadro 02. Clasificación de cuencas - Campos Aranda.

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 50000	Grande
>50000	Muy grande

Fuente: Campos, 1998.

Por otra parte, la clasificación en orden a su tamaño, a la vez que conocer su valor nos permitirá escoger de antemano la escala. Por lo general, en orden de magnitud, las escalas que se utilizan, en función de la superficie de la cuenca, se presentan en la cuadró 05; pero dichas escalas al no ser variables aleatorias, dependerá de otras variables de la cuenca que nos permitirá la escala del mapa más idónea según sea el tipo de estudio que se quiera realizar. (Jardí, 1985).

Cuadro 03. Escalas más utilizadas en función de la superficie de una cuenca.

Superficie (Km ²)	Escala
1	1:5,000
100	1:10,000
1,000	1:25,000
5,000	1:50,000
10,000	1:100,000
25,000	1:200,000
50,000	1:500,000
100,000	1:1,000,000

Fuente: Jardí, 1985.

B.2 PERÍMETRO (P)

El perímetro de la cuenca se designa con la letra P, que coincide con la inicial de la palabra “perímetro”, tanto en castellano como en inglés (*perimeter*). (Jardí, M., 1985).

El perímetro de una cuenca se refiere a la **medición del parteaguas de la cuenca**, expresada en kilómetros. Entiéndase por parteaguas de la cuenca a la línea imaginaria que une los puntos de mayor altitud entre dos ríos, y que divide el flujo de las aguas en direcciones opuestas, hacia uno u otro lado (Gutiérrez, et al. 1986).

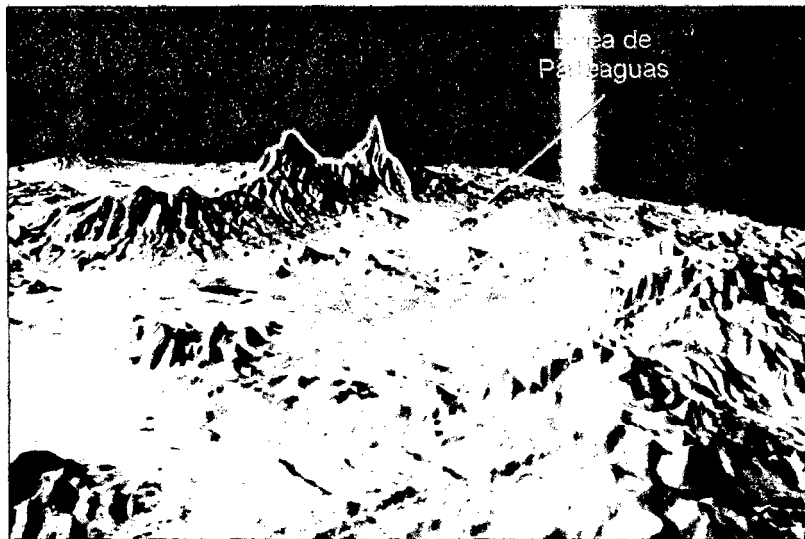


Figura 12. Línea de parteaguas, cuenca del Río Sonora-México.

Fuente: Dicym, 2009.

El perímetro y su forma están íntimamente relacionados con la litología y edad de la cuenca de drenaje. Materiales blandos darán formas redondeadas, mientras que materiales más duros darán formas más quebradas o lobuladas. Igualmente, ya que la tendencia de las cuencas es la de conseguir formas redondeadas, a igualdad de litología, una cuenca redondeada implicará mayor desarrollo. (Jardí, 1985).

B.3 LONGITUD DE LA CUENCA (L_b)

La longitud de la cuenca es también llamada longitud axial y se define como la distancia de una línea recta en proyección horizontal que va desde la salida de la cuenca hasta el parteaguas en su punto más alejado. Paralela al cauce principal. (Barboza, 2011).

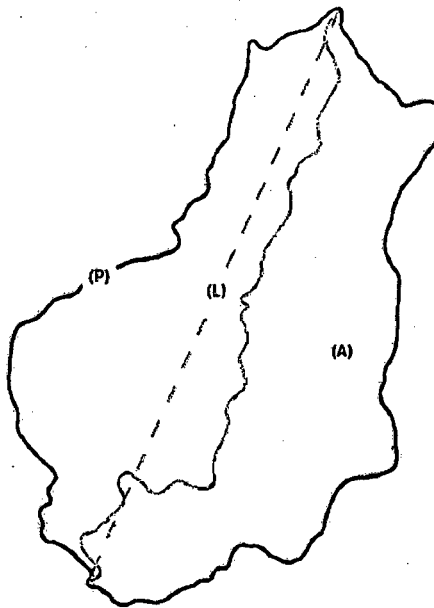


Figura 13. Área (A), longitud (L) y perímetro (P) de una cuenca.

Fuente: Jardí, 1985

Modificado por el tesista

Al igual que la superficie, este parámetro influye enormemente en la generación de escorrentía y por ello es determinante para el cálculo de la mayoría de los índices morfométricos. (Ibáñez, et al. 2011).

B.4 LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (L_c)

Dado que en general el cauce principal no se extiende hasta el límite de la cuenca, es necesario suponer un trazado desde la cabecera del cauce hasta el límite de la cuenca, como se aprecia en la figura 14. La Longitud del Cauce (L_c) queda definida por la longitud del cauce principal, desde el punto de salida hasta su cabecera. (Tutoriales al día-I.C. 2010-2013).

Este parámetro influye en el tiempo de concentración. (Fuentes, 2004)

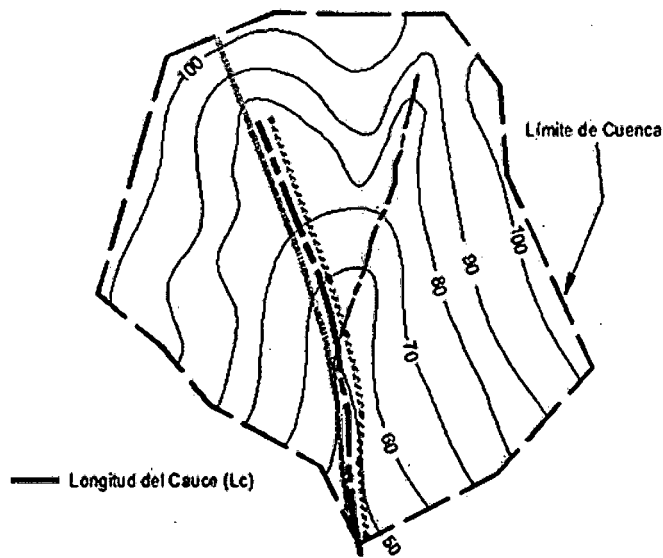


Figura 14. Longitud del cauce principal (Lc).

Fuente: Tudi, 2010

B.5 ANCHO DE LA CUENCA (W)

El ancho se define como la relación entre el área (A) y la longitud (L) de la cuenca y se designa por la letra W. (Villon, 2002).

$$W = \frac{A}{L_b}$$

... (1)

A: área de la cuenca; L: longitud axial de la cuenca

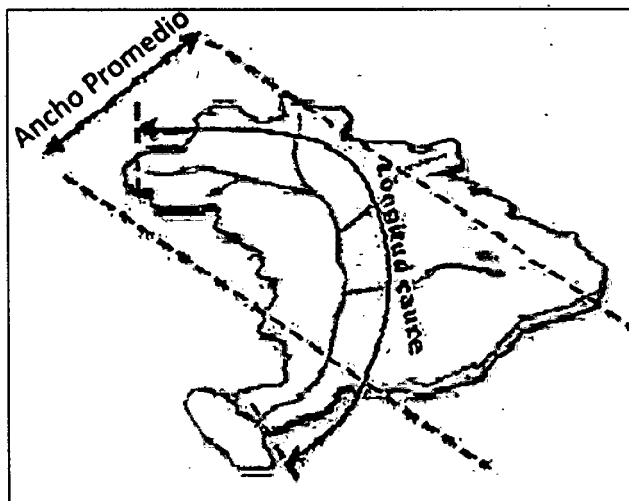


Figura 15. Ancho promedio de la cuenca

Fuente: Suárez, 2010

B.6 DESNIVEL ALTITUDINAL (DA)

Es el valor de la diferencia entre la cota más alta (H_M) y la cota más baja (H_m) de la cuenca, teniendo como referencia el nivel del mar (msnm):

$$DA = H_M - H_m \quad \dots (2)$$

DA : Desnivel altitudinal (msnm); H_M : Cota Máxima (msnm); H_m : Cota Mínima (msnm)

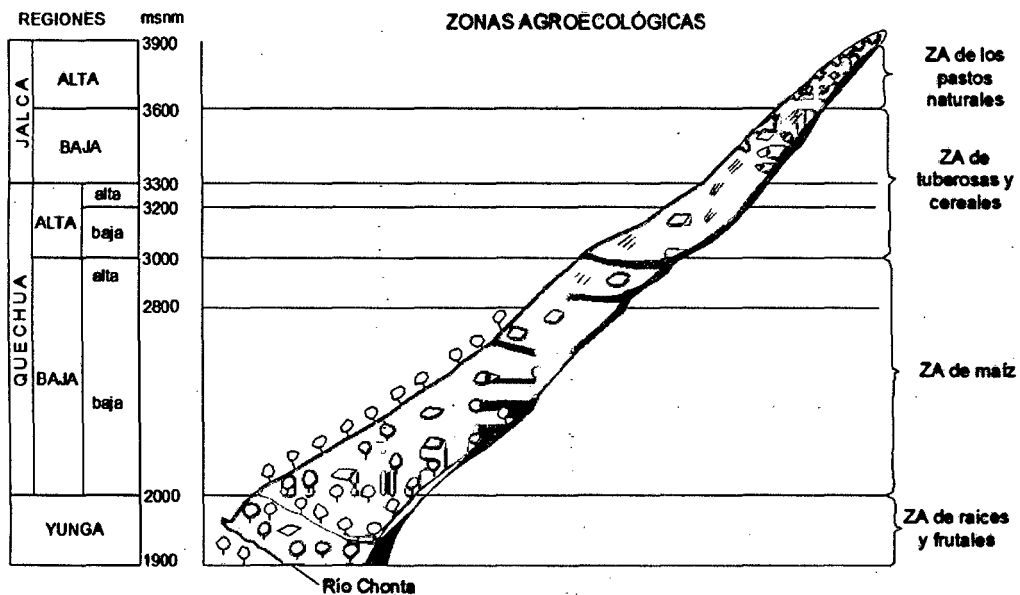


Figura 16. Zonas agroecológicas en una cuenca altoandina, Cajamarca.

Fuente: Grillo, et al. 1988

Se relaciona con la variabilidad climática y ecológica puesto que una cuenca con mayor cantidad de pisos altitudinales puede albergar más ecosistemas al presentarse variaciones importantes en su precipitación y temperatura. (Ibáñez, S., et al. 2011).

C. PARÁMETROS DE FORMA

La forma de la cuenca definitivamente afecta las características de la descarga de la corriente, principalmente en los eventos de flujo máximo. (Campos, 1998).

C.1 FACTOR DE FORMA (RF)

La forma de la cuenca es la configuración geométrica de la cuenca tal como está proyectada sobre el plano horizontal, por lo que para una misma superficie y una

misma tormenta, el factor mencionado se comporta de forma diferente entre una cuenca de forma redondeada y una alargada. (Apacla, R. 2010).

Factor definido por Horton y se expresa como la relación entre el ancho promedio de la cuenca y la longitud del río. (López, F. 1998).

Tenemos:
$$RF = \frac{W}{L} \quad \dots (3)$$

Reemplazando (1) en (3):
$$RF = \frac{W}{L_b} \quad \dots (4)$$

RF : factor de forma de Horton; **W** : Ancho promedio (km); **L_a** : Longitud axial (km)

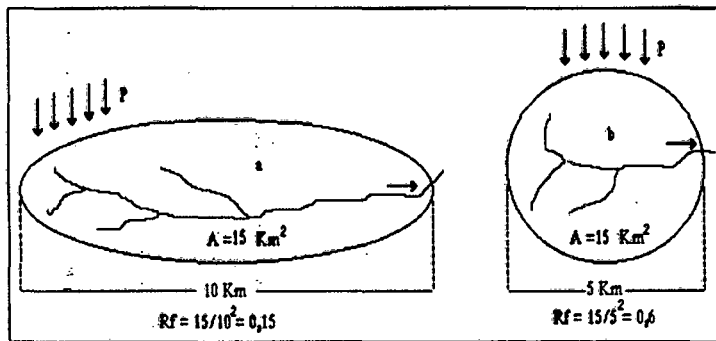


Figura 17. Variación del factor de forma con la geometría de la cuenca

Fuente: Musy, 2001

El valor máximo que se puede obtener del factor de forma cuando éste (RF) tiende a 1, es 0,7854 para una cuenca completamente circular y, a medida que la cuenca se hace más alargada, el valor tiende a cero. (Londoño, 2011).

Cuadro 04. Forma de la cuenca en función al factor de forma.

FACTOR DE FORMA	FORMA DE LA CUENCA
RF → 1	Redondeada
RF → 0	Alargada

Fuente: Villon, 2002.

Una forma u otra en una cuenca de drenaje apenas tendrá importancia en su comportamiento hidrológico, pero, sin duda, nos indicara relieves altos y litología dura, característica, éstas que si tienen importancia en el funcionamiento hidrológico. (Firco, 2005).

C.2 COEFICIENTE DE COMPACIDAD (Kc)

Para explicar el Kc de una cuenca, se ha propuesto su comparación con una cuenca ideal de forma circular (Kc=1), con sus tributarios dispuestos radialmente y que desembocan en el punto central. (López, 1998).

El Kc es adimensional y permite relacionar el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo de área equivalente al de la cuenca. (Gaspari, 2002).

Tenemos la relación:

$$Kc = \frac{P}{2\pi r} \quad \dots (5)$$

Despejando r:

$$A = \pi \cdot r^2 \rightarrow r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad \dots (6)$$

Reemplazando (6) en (5):

$$Kc = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \dots (7)$$

Kc : Coeficiente de compacidad de Gravelius; **P**: Perímetro (km); **A** = Área (km²)

En este valor adimensional, los valores de Kc nunca serán inferiores a 1. El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuerte volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuando más cercano sea a la unidad, lo cual quiere decir que entre más bajo sea Kc mayor será la concentración de agua. (UNAL, 1997).

El tiempo de concentración, es el tiempo que tarda una gota de lluvia en moverse desde la parte más lejana de la cuenca hasta la salida. (Gaspari, et al. 2002).

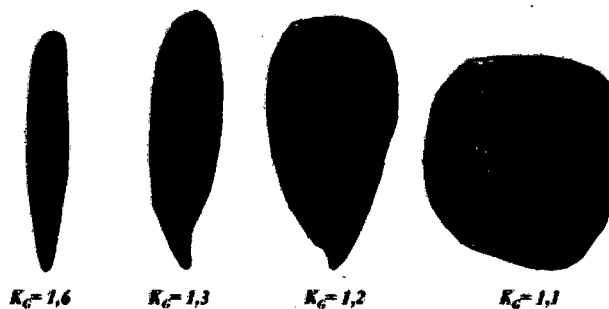


Figura 18. Valores de Kc para diferentes formas de cuencas.

Fuente: Musy, 2001

A medida que su Kc tiende a 1, es decir cuando tiende a ser redonda, la peligrosidad de la cuenca a las crecidas es mayor, porque las distancias relativas de los puntos de la divisoria con respecto a uno central, no presenta diferencias

mayores y el tiempo de concentración se hace menor, por lo tanto mayor será la posibilidad de que las ondas de crecidas sean continuas. (Gaspari, et al. 2002).

Cuadro 05. Índice de Gravelius para la evaluación de la forma.

CLASE	RANGO	DESCRIPCIÓN	TENDENCIA A CRECIDA
Kc ₁	1.00 a 1.25	Forma casi redonda a oval - redonda	Alta
Kc ₂	1.25 a 1.50	Forma oval - redonda a oval - alargada	Media
Kc ₃	1.50 a 1.75	Forma oval - alargada a alargada	Baja

Fuente: Ortiz, 2004.

C.3 RECTÁNGULO EQUIVALENTE

Se supone que el flujo a través de una cuenca dada es aproximadamente la misma en igualdad de condiciones climáticas, como un rectángulo del mismo tamaño, con el mismo coeficiente Gravelius y distribución uniforme hipsométrica, siempre que la distribución de los suelos, la vegetación y densidad de drenaje se respeten en diferentes áreas entre las curvas de nivel. (Roche, 1963).

Lo cual se resume en: El rectángulo equivalente de una cuenca es un rectángulo que tiene igual superficie, perímetro, coeficiente de compacidad y distribución hipsométrica que la cuenca en cuestión.

Para la fórmula, se tiene:

$$\text{Perímetro de un rectángulo: } P = 2(L + l) \quad \dots (9)$$

$$\text{Despejando } P \text{ de ec. (7): } P = \frac{Kc \sqrt{A}}{0.282} \quad \dots (10)$$

$$\text{Igualando (9) y (10): } 2(L + l) = \frac{kc \sqrt{A}}{0.282} \quad \dots (11)$$

P = Perímetro (km); A = Área de la cuenca (km²); Kc : Coeficiente de compacidad G .
 L = lado mayor del rectángulo; l = lado menor del rectángulo;

Despejando L y l de (11):

Lado Mayor:
$$L = \frac{kc \sqrt{A}}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{kc} \right)^2} \right] \dots (12)$$

Lado Menor:
$$l = \frac{kc \sqrt{A}}{1.128} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{kc} \right)^2} \right] \dots (13)$$

Kc : Coeficiente de compacidad de Gravelius; A = Area de la cuenca (km^2)

Nota: Para que esta representación sea posible, es necesario que el coeficiente de compacidad Kc sea mayor o igual que 1.12

La característica más importante del rectángulo equivalente es que tiene igual distribución de alturas, que la curva hipsométrica de la cuenca. (Londoño, 2011).

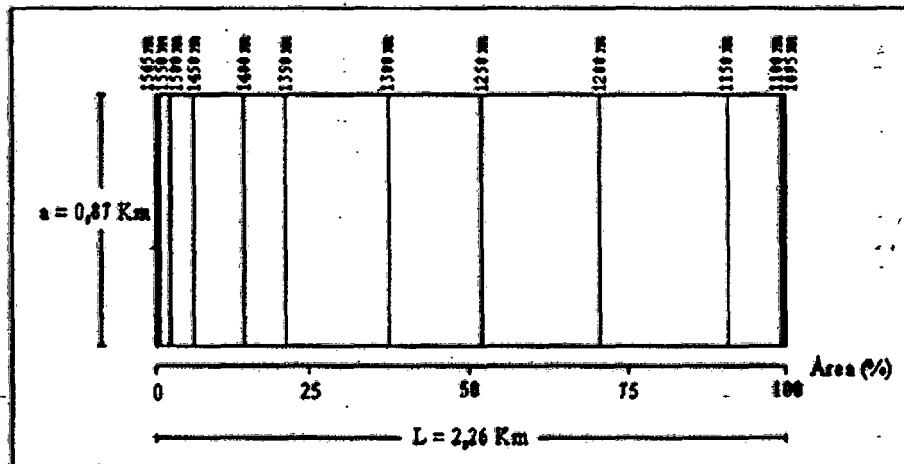


Figura 19. Ejemplo de un rectángulo equivalente de una cuenca

Fuente: Londoño, 2001

Las distancias sobre el lado mayor a las cuales se localizan las curvas de nivel (rectas), se obtienen dividiendo las áreas de la cuenca acumulada sobre cada una de ellas, entre el lado menor (l). (Campos, 1998).

$$di = \frac{Aacs}{A} * L$$

$Aacs$ = Área acum. sobre la superficie km^2 ; A = Area de la cuenca km^2 ; L = Lado mayor km

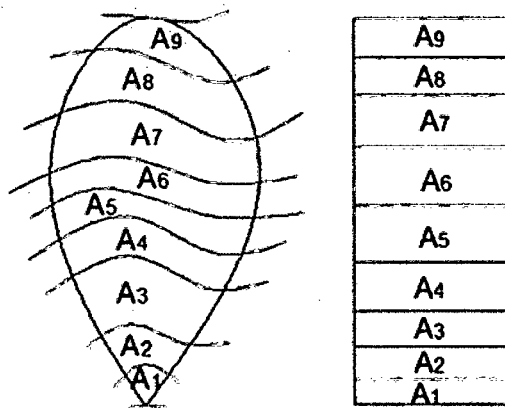


Figura 20. Relación de área de la cuenca con su rectángulo equivalente

Fuente: Verau, 2014

El rectángulo equivalente, además de facilitar la comparación geométrica de las cuencas, permite ver la influencia de sus características sobre la escurriencia. (Londoño, 2011).

D. PARÁMETROS DE RELIEVE

Son de gran importancia puesto que el relieve de una cuenca tiene más influencia sobre la respuesta hidrológica que su forma; con carácter general podemos decir que a mayor relieve o pendiente la generación de escurriencia se produce en lapsos de tiempo menores. (Ibáñez, et al. 2011).

D.1 PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA (S_m)

Es uno de los principales parámetros que caracteriza el relieve de la misma y permite hacer comparaciones entre cuencas. (Guilarte, 1978).

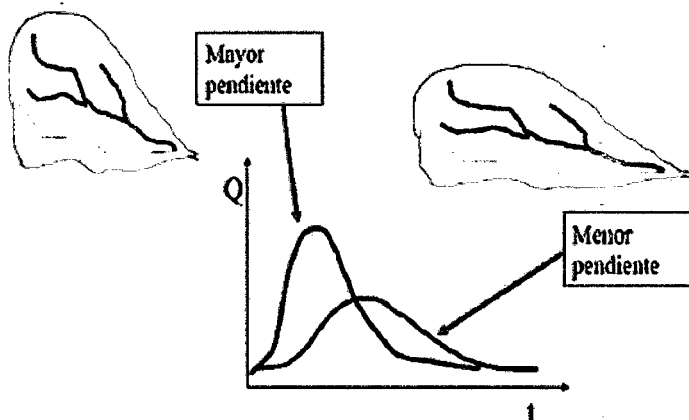


Figura 21. Respuesta de una cuenca por pendiente

Fuente: Suarez, 2010

La influencia del relieve sobre el hidrograma es aún más evidente. A una mayor pendiente corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes al curso principal. (Suarez, 2010).

Tiene una relación importante y compleja con la infiltración, la escorrentía superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea a la escorrentía. La pendiente es uno de los factores que controla el tiempo de escurrimiento y concentración de la lluvia en los canales de drenaje y tiene una importancia directa en relación a la magnitud de las crecidas. (Villon, 2004).

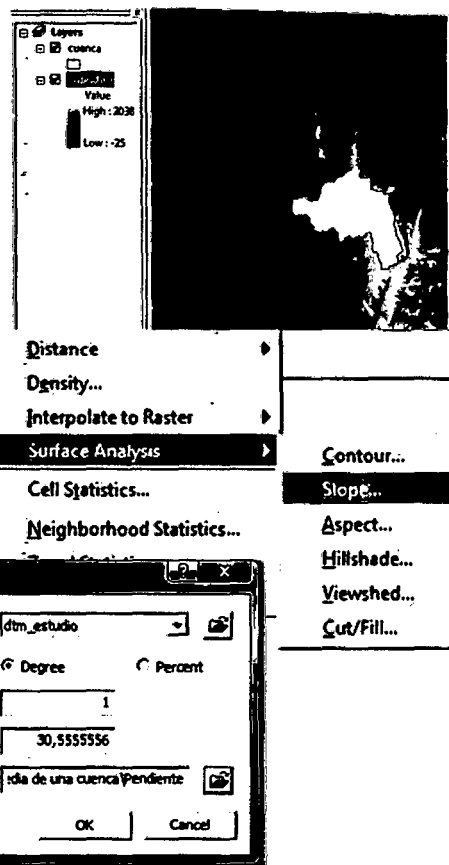
De lo anterior podemos deducir que éste parámetro puede ser muy útil en un análisis inicial para deducir las zonas donde pueden haber cauces con mayor pendiente y de ésta manera aprovecharlos en sistemas hidroeléctricos.

Pendiente media de una cuenca con ArcGIS:

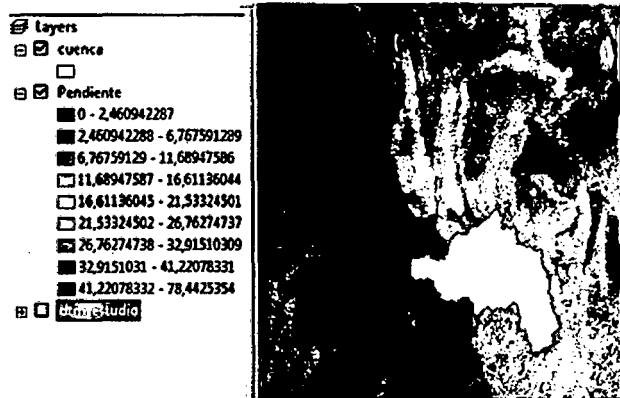
Paso 1. Tener el MDE de la cuenca.

Paso 2. A partir del MDE obtenemos el mapa de pendientes, para ello damos clic en la herramienta Spatial Analyst seguido de Surface Analysis y finalmente Slope.

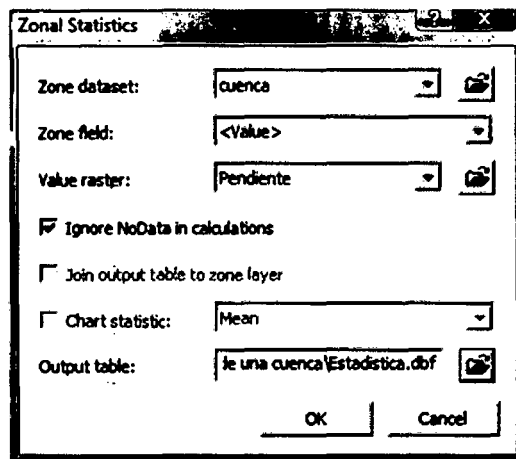
Paso 3. En la ventana que aparece seleccionamos el Raster al cual queremos hacerle el contorno, en nuestro caso es "dtm_estudio", y lo demás por defecto.



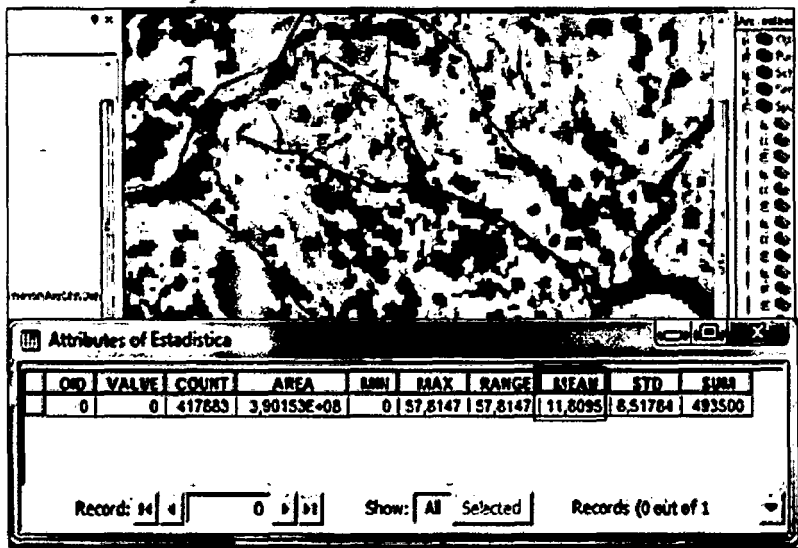
Paso 4. Obtenemos como resultado:



Paso 5. Como se explicó en el artículo *Funciones Zonales en ArcGis*, nos vamos a: *Spatial Analyst Tool*, seguido de: *Zonal Statistics as table*. Cargamos el raster al cual le vamos a aplicar la estadística zonal. En este caso de trate de "pendiente".



Paso 6. Obtenemos la tabla con los resultados. Nos interesa la pendiente media de la cuenca que es el parámetro que necesitamos.



Fuente: AGUA Y SIG, 2012

Cuadro 06. Clasificación del relieve de una cuenca de acuerdo a su pendiente.

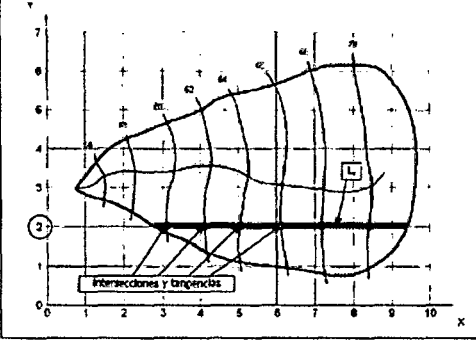
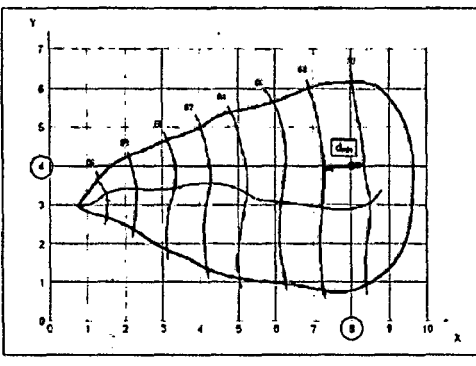
RANGOS DE PENDIENTE (%)	DESCRIPCION
00 - 4	Nula o casi a nivel
4 - 8	Ligeramente inclinada
8 - 15	Ligeramente inclinada a moderadamente empinada
15 - 25	Moderadamente empinada
25 - 50	Empinada
50 - 75	Muy empinada
> 75	Extremadamente empinada

Fuente: ZEE-OT. 2010.

Existen diversos criterios para evaluar la pendiente de una cuenca, si se lo trabaja con un SIG es mucho más rápido que realizándolo manualmente, siendo éste último mucho más tedioso, laborioso y requerir mucho tiempo.

Cuadro 07. Métodos manuales para la determinación de la pendiente media de una cuenca hidrográfica.

MÉTODO	GRÁFICA REPRESENTATIVA	DESCRIPCIÓN
Criterio de ALVORD		Analiza la pendiente existente entre curvas de nivel, trabajando con la faja definida por las líneas medias que pasan entre las curvas de nivel

<p>Criterio de HORTON</p>		<p>Consiste en trazar una malla de cuadrados sobre la proyección planimétrica de la cuenca orientándola según la dirección de la corriente principal.</p>
<p>Criterio de NASH</p>		<p>Similar al criterio de Horton, se traza una cuadrícula en el sentido del cauce principal, que debe cumplir la condición de tener aprox. 100 intersecciones ubicadas dentro de la cuenca.</p>

Fuente: Glem, 2011.

D.2 PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL (S_c)

Este parámetro es definido como la corriente de mayor longitud dentro de la cuenca; medida desde su inicio, tomando en cuenta la altura máxima hasta la finalización del cauce, osea la altura mínima. (Viramontes, et al. 2012).

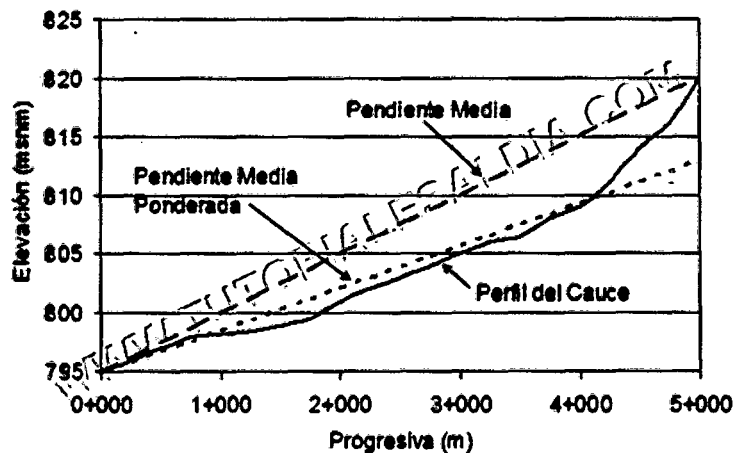


Figura 22. Pendiente media y media ponderada del cauce principal

Fuente: Tudi, 2012

El perfil del cauce, es simplemente el gráfico de altura en función de la longitud a lo largo del río principal. Con ésta base podemos inferir la variación del caudal con respecto al tiempo, generalmente cuencas con pendientes altas en el cauce principal tienden a tener hidrogramas más picudas y más cortas que cuencas con pendientes menores. También los perfiles se usan para estudios de: prefactibilidad de proyectos hidroeléctricos, producción de sedimentos, ubicación de posibles sitios susceptibles de avalanchas, etc. (Web del profesor, 2012).

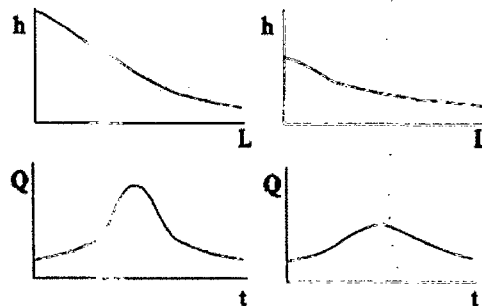


Figura 23. Variación de hidrogramas en función de la pendiente del cauce.

Fuente: Mendoza, 2012

Para el cálculo del factor: **pendiente del cauce principal**, podemos emplear algunos métodos como:

1er Método: La pendiente de un tramo de río es la relación que existe entre los extremos inicial y final y la distancia horizontal de dicho tramo. (Brefia y Jacobo, 2006).

$$Sc = \frac{H_{\text{máx}} - H_{\text{mín}}}{Lc}$$

$H_{\text{máx}}$: Cota máxima (msnm); $H_{\text{mín}}$: Cota mínima (msnm);

Lc = Longitud del cauce principal (km)

2do Método: Dividir el desnivel del cauce entre sus puntos a 10% y 85% de su longitud total, de tal manera que el 15% del tramo del río con fuerte pendiente y el 10% de su parte plana, son excluidos. (Campos, 1998).

3er Método: Hallar la pendiente media ponderada, que es un valor más "razonable" para representar la pendiente media del cauce principal. Para calcularlo se traza una línea, en el perfil longitudinal del cauce, tal que el área comprendida entre esa línea y los ejes coordenados sea igual a la comprendida entre el perfil y dichos ejes, ver figura 22. (Tutoriales al día, 2013).

$$AT = \frac{b (H1 + H2)}{2} \quad \dots (14)$$

AT : Σ de áreas parciales entre cada progresiva (m); **b**: valor máximo de la progresiva (m);
H1 = valor cota mínima (msnm); **H2** = valor de altura a calcular (msnm)

De aquí se obtiene el valor de elevación que define la línea asociada a la Pendiente Media Ponderada del Cauce Principal:

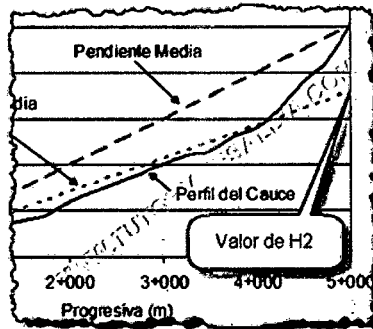


Figura 24. Valor de altura para hallar la pendiente media ponderada

Fuente: Tudi. 2012

4to Método: Se propone calcular la pendiente media como la de un canal de sección transversal uniforme que tenga una longitud y tiempo de recorrido equivalentes a la del cauce. Para esto se divide el perfil del cauce en tramos iguales. (Taylor y Schwarz, 1952).

$$S_c = \left[\frac{m}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_m}}} \right]^2 \quad \dots (15)$$

m: número de segmentos iguales en los que se divide el cauce principal;
S: Pendiente media del cauce (%); **S₁**: Pendiente en el tramo *i* del cauce (%);

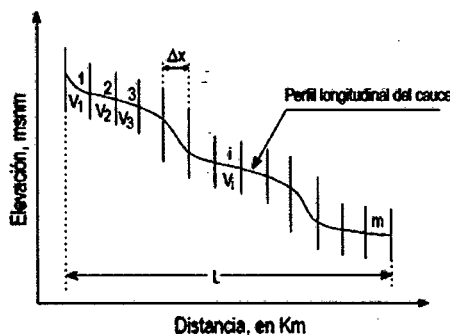
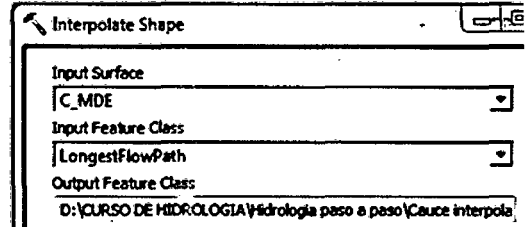


Figura 25. División del cauce principal en tramos iguales

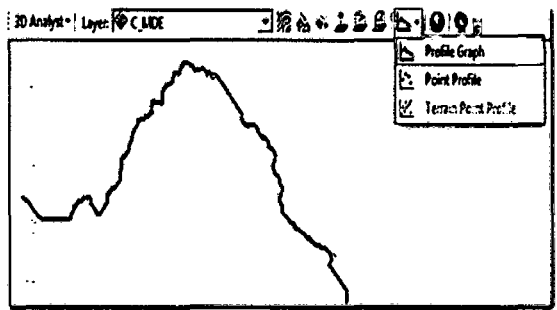
Fuente: Pérez y Rodríguez, 2009.

5to Método: Empleando software SIG, para lo cual se necesita un raster (mapa de pendientes), y un vector (shapefile de la red hídrica). Para el cálculo de la pendiente media es necesario interpolar la red hídrica con el mapa de pendientes. (Blog. Agua y SIG, 2013).

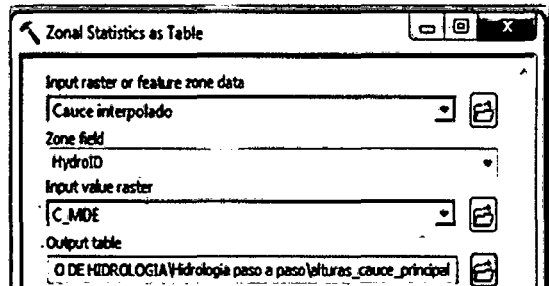
Paso 1. Vamos a 3D Analyst, seguido de Functional Surface e Interpolate Shape. Ingresamos las alturas (C_MDE) y el archivo que contiene el cauce principal (LongestFlowPath).



Paso 3. En el campo layer debe estar seleccionado el archivo de donde vamos a sacar las alturas (TIN o MDE), luego la opción "Profile Graph".



Paso 4. Realizamos una consulta zonal yendo a Hydrology, seguido de Zonal y Zonal statistic as table. Indicamos "cauce interpolado" y el raster al cual queremos hacer la consulta (en este caso C_MDE).



El resultado es la siguiente tabla, donde podemos ver que la altura mínima es igual a 28 msnm y la máxima es 1687 msnm. Luego la pendiente media del cauce sería:

$$s = (1687-28)/33560 = 4.94 \text{ m/m.}$$

Rowid	HYDROID	COUNT	AREA	MIN	MAX
1	1	1029	960717.6	28	1687

Fuente: Agua y SIG, 2013.

D.3 CURVA HIPSOMÉTRICA (Ch)

La curva hipsométrica es la representación gráfica de la variación altitudinal de una cuenca en función de la superficie dominante. (Villon, 2002)

No es otra cosa que una curva acumulada que parte de la elevación mínima del terreno localizada en la descarga o salida de la cuenca hidrológica de análisis (Remenieras, 1974)

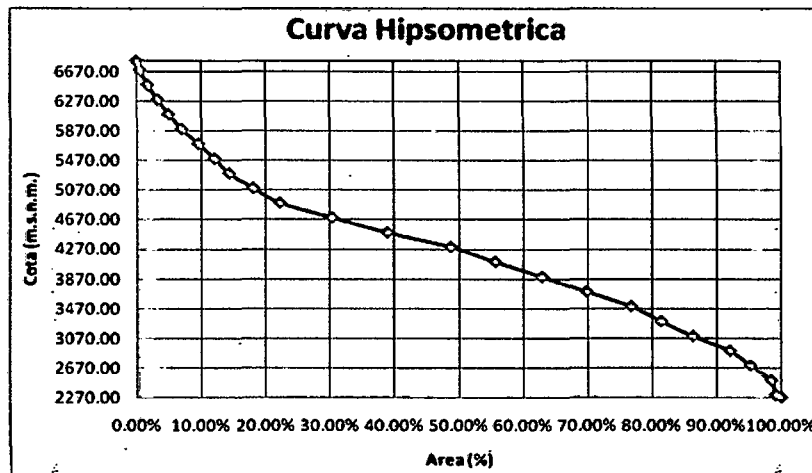


Figura 26. Curva Hipsométrica Subcuenca río Andamayo.

Fuente: Marit, 2012.

La curva hipsométrica, permite conocer la distribución de masa en la cuenca desde arriba hacia abajo. Se obtiene colocando en las ordenadas los valores correspondientes a las diferentes alturas de la cuenca y, en las abscisas, los valores acumulados de las áreas expresadas en porcentaje. (Strahler, 1952)

De esta forma se utilizan valores relativos (porcentuales), lo que hace posible comparar curvas de diferentes cuencas, prescindiendo de las dimensiones absolutas. Normalmente su forma es sigmoide, cóncava hacia arriba en la parte superior y convexa en la parte baja; el grado de sinuosidad es muy variable, lo mismo que la pendiente en el punto de inflexión. (Strahler, 1952)

Cuando las curvas hipsométricas presentan variaciones, ya sea por apartarse de las teóricas o por presentar más de un punto de inflexión, ello puede relacionarse con controles tectónicos o litológicos. (Racca, 2007)

Consta de tres etapas:

1.- ETAPA DE DESEQUILIBRIO

- Zona donde predomina la producción de sedimentos y aguas (ríos jóvenes).
- La cuenca refleja un gran potencial erosivo (fase de juventud).
- Cuenca geológicamente joven (cuenca de montaña).

2.- ETAPA DE EQUILIBRIO

- Zona donde predomina el transporte de etapas 1 y 3 (ríos maduros).
- Es una cuenca en equilibrio (fase de madurez).
- Cuenca geológicamente madura (cuenca de transición)

3.- CUENCA EROSIONADA

- Zona caracterizada por la deposición de sedimentos (ríos en etapa de vejez).
- Es una cuenca sedimentaria (fase de vejez).
- Cuenca geológicamente en forma de valle o planicie.

(Llamas, 1993 y Campos, 1998).

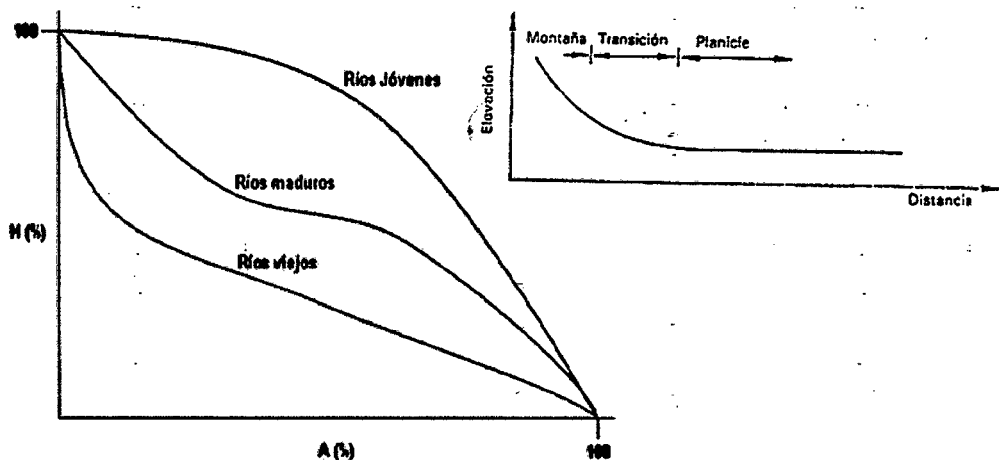


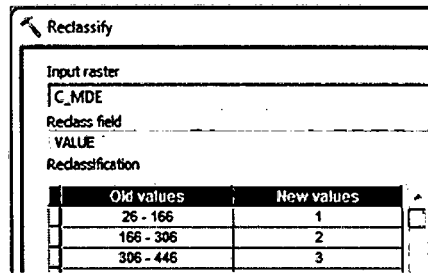
Figura 27. Etapas de una cuenca en función a su curva Hipsométrica

Fuente: Pidsi, 2013.

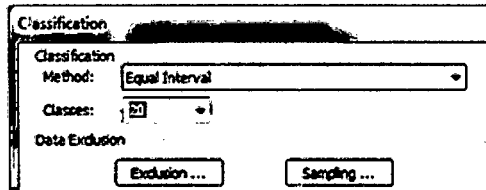
Alternativamente, se aplica el uso de la gráfica de curva hipsométrica para la obtención de la ELEVACION MEDIA de la cuenca, la cual equivale a la cota correspondiente al 50% del área de la cuenca.

Curva hipsométrica de la cuenca con ArcGIS:

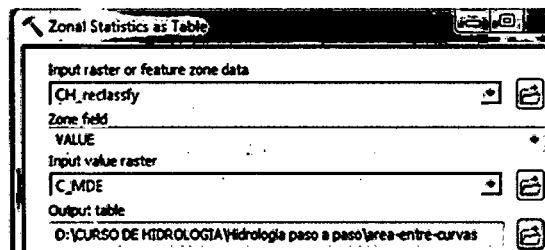
Paso 1.- Clasificamos el ráster de alturas (MDE). Vamos a Spatial Analyst Tools, seguido de Rclass y luego Reclassify.



Paso 2.- Ahora vamos a Classify, en el campo Method seleccionamos Equal Interval y en Clases colocamos 20.



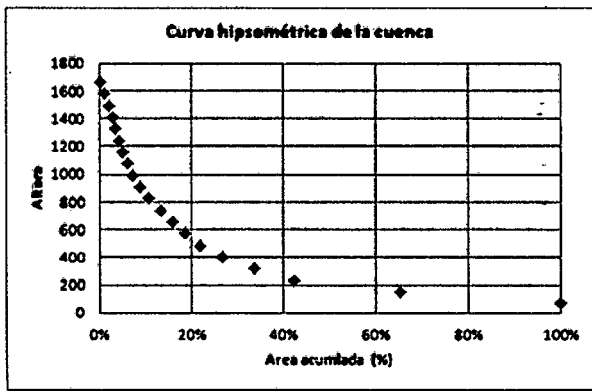
Paso 3.- aplicamos una estadística zonal a través de Spatial Analyst Tools, seguido de Zonal y por ultimo Zonal Statistics as Table.



Paso 4.- El procedimiento crea una tabla DBF, éstos resultados los podemos llevar a Excel y realizar los gráficos respectivos.

Paso 5.- Altura con mayor frecuencia = 68 y el promedio de alturas = 866.48 m. Con los campos "altura Promedio" y "Área acumulada entre curvas %" podemos realizar la curva hipsométrica de la cuenca.

Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX
1	1	77229	7210424	26	110
2	2	51009	4762414	111	194
3	3	18772	1752633	195	278
4	4	15722	1467872	279	362
5	5	10568	9866728	363	446
6	6	6980	6516821	447	530
7	7	6390	5965972	531	614
8	8	5547	5178912	615	698
9	9	6197	5785780	699	782
10	10	4313	4026798	783	866
11	11	3178	2967114	867	950
12	12	2834	2645941	951	1034
13	13	2250	2100695	1035	1118
14	14	1726	1611466	1119	1202
15	15	1575	1470486	1203	1286
16	16	1446	1350046	1287	1370
17	17	1830	1708565	1371	1454
18	18	2291	2138974	1455	1538
19	19	1847	1724437	1539	1622
20	20	493	460285.5	1623	1706



Fuente: Agua y SIG, 2013.

D.4 HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS ALTIMÉTRICAS

El análisis de frecuencia altimétrica se utiliza para describir, en altitudes sucesivas, las frecuencias de ciertos niveles, como ser altitud de sitios, puntos más altos en mallas cuadradas de muestreo, altitudes de cumbres o la de áreas de llanos o depresiones tales como hombreras, bancos y collados. (Clarke, 1968).

Es la representación de la superficie, en km² o en porcentaje, comprendida entre dos cotas, siendo la marca de clase el promedio de las alturas (Figura 28).

La representación de varios niveles da lugar al histograma, que puede ser obtenido de los mismos datos de la curva hipsométrica. Realmente la curva hipsométrica y el histograma contienen la misma información pero con una representación diferente, dando una idea probabilística de la variación de la altura en la cuenca. (Ibáñez, et al. 2011).

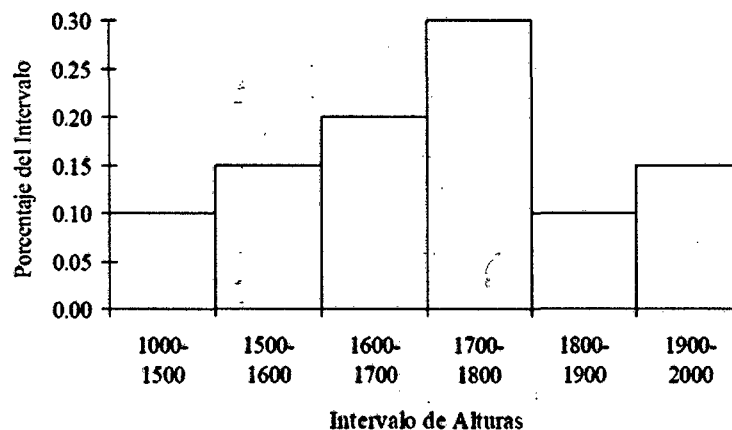


Figura 28. Histograma de frecuencias altimétricas.

Fuente: Ibáñez, et al. 20011

D.5 ALTURA MEDIA (H)

La altura o elevación media de la cuenca tiene importancia principalmente en zonas montañosas, pues nos da una idea de la climatología de la región, basándonos en un patrón general climático de la zona. La elevación promedio está referida al nivel del mar. La elevación media de la cuenca se obtiene a partir de la curva hipsométrica, que equivale a la cota correspondiente al 50% del área de la cuenca. (Apadla, 2010).

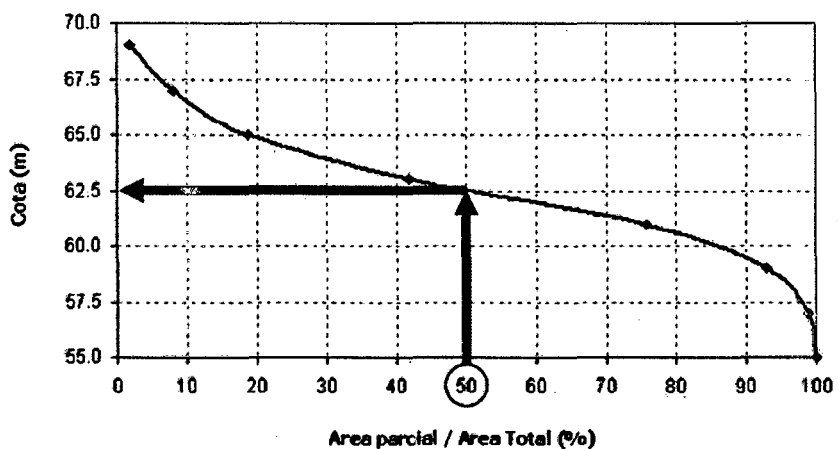


Figura 29. Altura media en la curva hipsométrica.

Fuente: Glem, 2011.

Las variaciones de altitud en el interior de la cuenca, así como su altitud media, son datos esenciales para el estudio de la temperatura y la precipitación. En este sentido, las diferencias de temperatura, como consecuencia de la altitud, tienen un efecto importante en las pérdidas de agua por evaporación. (Llamas, 1993).

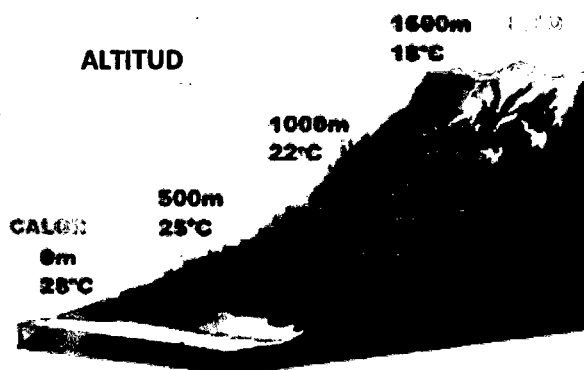


Figura 30. Variación de la temperatura con la altitud.

Fuente: Glem, 2011.

En la capa más inferior, la troposfera (hasta los 12,000 m de altitud), el gradiente térmico estándar es de -6,5 grados por cada 1000m. Dicho valor equivale a un descenso de temperatura de un grado por cada 154 m de altura. Este gradiente térmico determina la estructura y concepto de los pisos térmicos. En la práctica el gradiente térmico varía localmente según la zona geotérmica y según sea la orientación de las laderas o vertientes. (Wikipedia, 2014).

E. CARACTERÍSTICAS DE LA RED DE DRENAJE

Se llama red de drenaje de una cuenca, al *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 del suelo y de la superficie de la cuenca. (Campos, A. 1998).

TIPOS DE CORRIENTES

Las corrientes comúnmente se clasifican en tres tipos (como se muestra el cuadro N°10): permanentes, intermitentes y efimeras, en base a la constancia de su escurrimiento o flujo, el cual está relacionado con las características físicas y climáticas de la cuenca. (Campos, A. 1998).

Cuadro 08. Clasificación de las corrientes de una cuenca.

TIPO DE CORRIENTE	DESCRIPCIÓN
Permanentes	Conducen agua todo el tiempo.
Intermitentes	Lleva agua la mayor parte del tiempo, pero principalmente en épocas de lluvia.
Efimeras	Solo conduce agua durante las lluvias o inmediatamente después de éstas.

Fuente: Campos, 1998.

PATRONES DE DRENAJE

Los patrones de drenaje son configuraciones en las redes hídricas que presentan ciertos arreglos geométricos o irregulares, que permiten relacionar con sus propiedades hidrológicas o geohidrológicas (superficial o subterráneo). (Londoño, 2011).

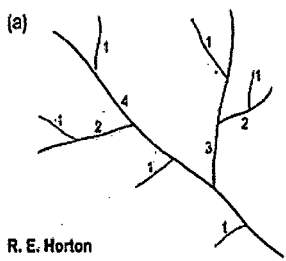
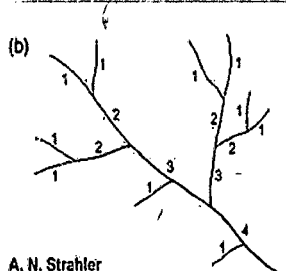
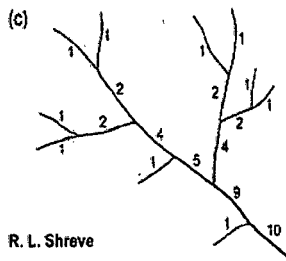
F.1 ORDEN DE LA RED HÍDRICA

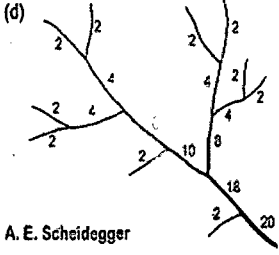
El orden de corrientes es una clasificación que refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de una cuenca. (Campos, 1998).

La jerarquización permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. El orden se relaciona con el caudal relativo del segmento de un canal. (Ibáñez, et al. 2011).

Hay varios sistemas de jerarquización, como se muestra el siguiente cuadro:

Cuadro 9. Algunos Modelos de Orden de Drenaje.

MODELO ORDEN DE DRENAJE	GRÁFICO	DESCRIPCIÓN
HORTON (1945)	(a)  R. E. Horton	Los canales van numerados en función del número de afluentes que tengan, de forma que aquel que fluye desde el origen y no tiene ningún afluente es de orden 1, mientras que uno de orden 2 recibe dos afluentes, ... El orden de los canales va aumentando de uno en uno.
STRAHLER (1964)	(b)  A. N. Strahler	Es muy parecido a Horton, con la diferencia de que un mismo canal puede tener segmentos de distinto orden a lo largo de su curso. El orden no se incrementa cuando a un segmento de un determinado orden confluye uno de orden menor.
SHREVE (1966)	(c)  R. L. Shreve	Define la magnitud de un canal como el número de afluentes que confluyen en él.

MODELO ORDEN DE DRENAJE	GRÁFICO	DESCRIPCIÓN
SCHEI_ DEGGER (1968)		Solo asigna número pares por cuestiones algebraicas.

Fuente: Gregory & Walling, 1973

Horton, introdujo la idea de la ordenación de los canales, que más tarde sería mejorada y ligeramente modificada por Strahler, adquiriendo la forma actual que es un estándar y se le conoce como: **ordenación de Horton-Strahler**.

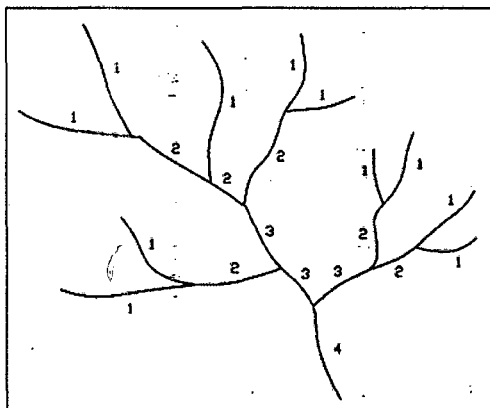


Figura 31. Clasificación de Orden Horton-Strahler

Fuente: Ocites, 2009

La ordenación Horton-Strahler, se trata de un sistema de jerarquización que subdivide los distintos cursos de agua que integran la red de drenaje superficial en segmentos de cauce clasificados en función del orden de magnitud de los mismos, para lo cual se debe seguir los siguientes pasos:

- i. se asigna el orden 1 a las corrientes que no presentan ningún tributario, comúnmente en las cabeceras de la red de drenaje.
- ii. Al juntarse dos corrientes de orden "n" da lugar a una corriente de orden "n+1".

- iii. Cuando se juntan corrientes de diferentes órdenes, la corriente resultante tomará el valor de mayor orden.

Corrientes de mayor orden en la jerarquía de Horton-Strahler corresponderán a una red más densa y comunicada y por ende a cuencas de menor tiempo de respuesta hidrológica.

En la clasificación Horton-Strahler, no existe ningún parámetro que defina el orden de una cuenca, por lo que **el orden máximo del cauce principal definirá el orden de la cuenca.** (RSI, 1999).

Orden de la red hídrica de una cuenca con ArcGIS:

Paso 1. Nos vamos a ArcToolbox seguido de Spatial Analyst Tools y finalmente Map Algebra. En la ventana que aparece, escribimos la siguiente expresión $\text{Log}_{10}(\text{C_Flow_acc})$.

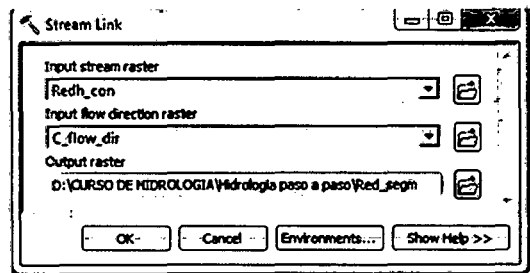
$\text{Log}_{10}(\text{C_Flow_acc})$

Paso 2. Al archivo resultante (Red_log) le aplicamos la siguiente condicional:

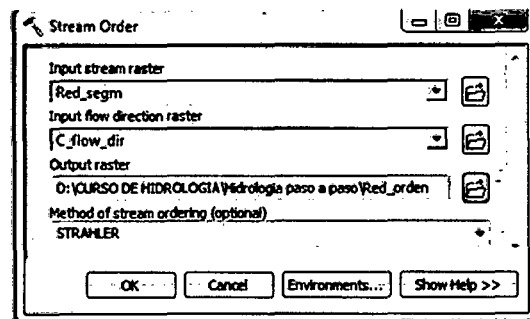
$\text{Con}(\text{Red_log} \geq 2, \text{Red_log})$

$\text{Con}(\text{Red_log} \geq 2, \text{Red_log})$.

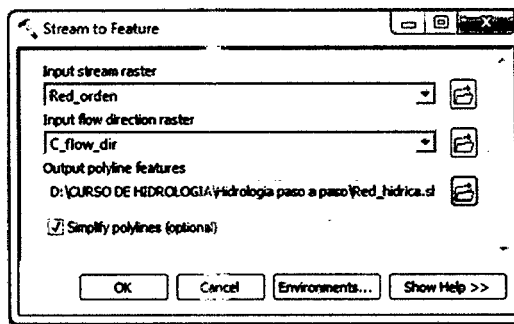
Paso 3. Vamos a Hydrology, luego en Stream Link, indicamos la red hídrica (Redh_con), la dirección de flujo (C_flow_dir).



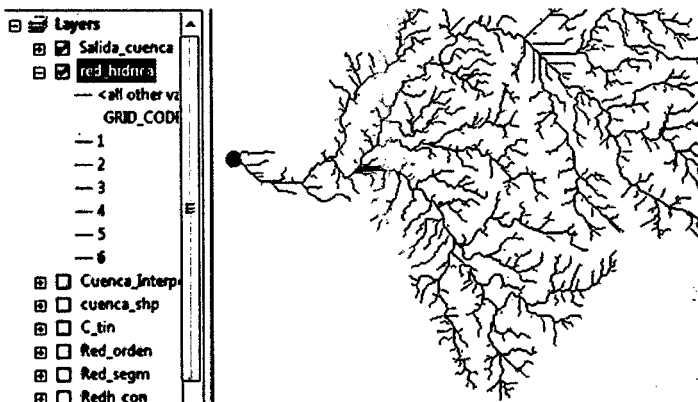
Paso 4. Vamos a Hydrology, luego en Stream Order. Indicamos la red de flujo segmentada (Red_segm), el raster de dirección de flujo y elegimos como método STRAHLER.



Paso 5. Vamos a Hydrology, luego en Stream Feature, en la ventana que aparece indicamos el raster que contiene el orden de la red de flujo (Red_orden), el raster de dirección de flujo (C_flow_dir).



Finalmente tenemos como resultado las ordenes de la red hídrica.



Fuente: Agua y SIG, 2013

F.2 DENSIDAD DE LA RED DE DRENAJE (Dd)

La densidad de drenaje (Horton, 1945) es otra propiedad fundamental de una cuenca, que controla la eficiencia del drenaje (Jones, 1997) y señala el estado erosivo (Senciales, 1999).

Horton (1945), definió la densidad de drenaje de una cuenca como el cociente entre la longitud total de los cauces (perennes, intermitentes y efímeros) que conforman el sistema fluvial de la cuenca, y el área total de la cuenca.

$$Dd = \frac{Li}{A}$$

... (16)

Dd: Densidad de drenaje (km/km²);

Li: Σ longitud de los cauces (km); *A*: Área de la cuenca (km²)

Debiéndose interpretar el resultado como el número de cauces existentes por Km².

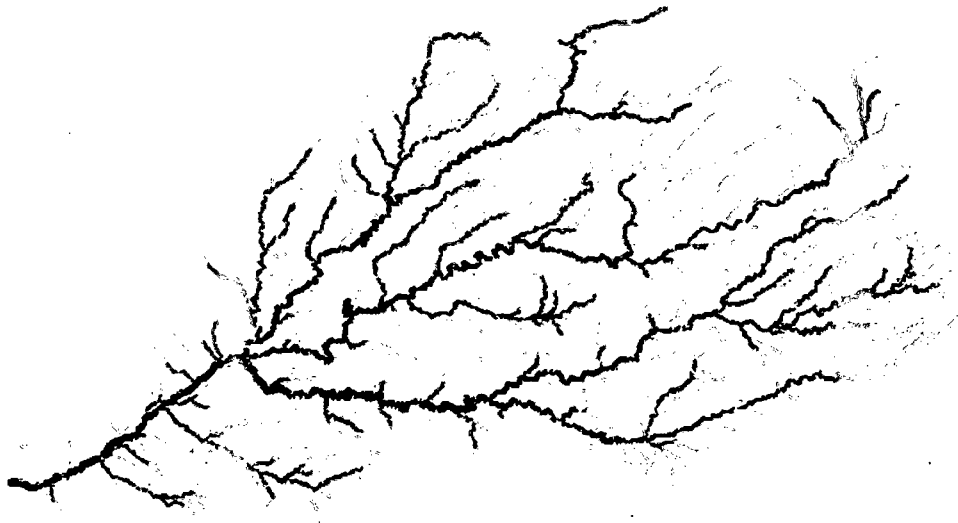


Figura 32. Red de drenaje en función de magnitud de orden.

Fuente: Siati, 2011.

La densidad de drenaje expresa las características geo-ecológicas del territorio de la cuenca. Los factores que controlan la densidad de drenaje son:

- Litología del Sustrato.
- Permeabilidad del suelo y capacidad de infiltración.
- Cobertura vegetal y tipo de la misma.

“Los materiales geológicos duros y resistentes tales como el granito, gneiss, arenisca y cuarcitas, tienden a originar BAJAS DENSIDADES de drenaje. Esto es debido a que la erosión fluvial es difícil (...) En materiales blandos, tales como Margas y arcillas, las cuencas por pequeñas que sean, pueden suministrar la esorrentía suficiente como para erosionar el cauce (...) Los materiales muy permeables, como las arenas o las gravas tienden a originar altas densidades de drenaje, dado que la infiltración es grande (...) Una roca débil producirá mucha menos densidad de drenaje en un clima húmedo, donde una espesa cobertura vegetal protege el material subyacente que en una región árida, donde no existe dicha cobertura”. (Strahler, 1964).

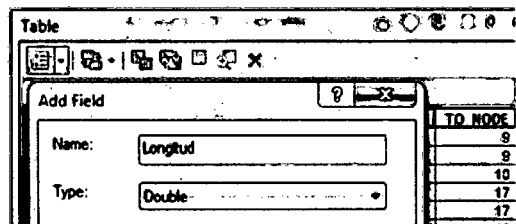
Cuadro 10. Clasificación de cuencas por su densidad de drenaje.

VALOR Dd (km/km ²)	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICA	TIPO DE ROCA
0.1 – 1.8	Regularmente drenada	Altamente resistentes a la erosión	gneiss, arenisca y cuarcitas
1.9 – 3.6	Normalmente drenada	Poco resistente a la erosión	Margas y arcillas
3.7 – 5.6	Cuencas bien drenadas	Fácilmente erosionable	Arenas, gravas

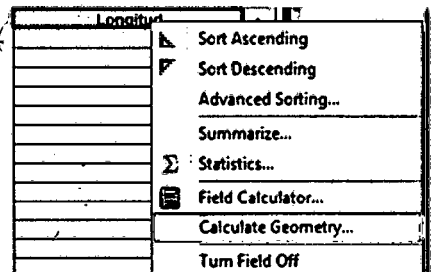
Fuente: Fuentes, 2004 y Suarez, 2010.

Densidad de drenaje con de una cuenca con ArcGIS:

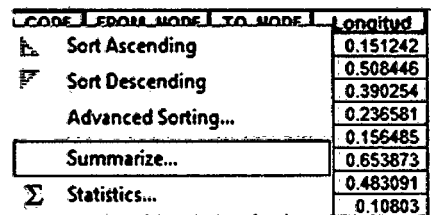
Paso 1. Calculamos la longitud de toda la red de flujo. Para ello vamos a la tabla de atributos y agregamos un campo al que llamaremos Longitud.



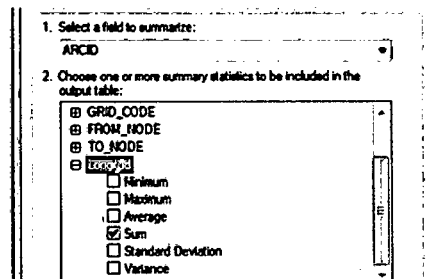
Paso2. Luego damos clic derecho sobre el campo agregado y seleccionamos la opción Calculate Geometry.



Paso3. Ahora dando clic sobre el campo GRID CODE, hacemos una consulta seleccionando la opción Summarize.



Paso 4. En la ventana que aparece, en Longitud seleccionamos la opción Sum y guardamos el archivo de salida como: Longitud_total_red_hidrica.



Paso 5. Clic en OK y obtenemos una tabla con la información.

OID	GRID CODE	Count GRID CODE	Sum Longitud
0	1	575	252.818111
1	2	253	101.049202
2	3	149	63.010828
3	4	65	30.891113
4	5	70	24.086837
5	6	20	6.594109

Paso 6. Llevamos el resultado a Excel y obtenemos la longitud de la red hídrica es de 478.45 km y el número total de corriente es 1132. Luego la densidad de drenaje de la cuenca (L/A) es $478,45/207,45 = 2,3$. La Densidad de corrientes que se define como la relación entre el número total de corrientes en la cuenca y su área total sería $1132/207,45 = 5.45$.

Fuente: Agua y SIG, 2013

2.2.6 MOVIMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La dinámica del flujo en un medio poroso saturado se describe mediante la ley de Darcy.

2.2.6.1 Ley de Darcy

El agua subterránea se desplaza desde los niveles energéticos más altos a los más bajos, por lo que su energía procede esencialmente de las diferencias de nivel y presión. Cuando la proporcionalidad entre el gradiente hidráulico y la velocidad del agua se expresa en términos matemáticos, se obtiene una ley lineal conocida con el nombre de Ley de Darcy. (Wiest, 1971).

$$Q = K.S. \frac{\Delta h}{\Delta l}$$

Q: Caudal (m^3/s ; l/min; l/s); K: conductividad hidráulica. (m/día); S: sección, área. (m^2); $\Delta h/\Delta l$: Gradiente hidráulico

Más generalmente, la ley de Darcy dice que la velocidad del flujo a través del medio poroso es directamente proporcional a la gradiente de presión piezométrica o carga hidráulica h :

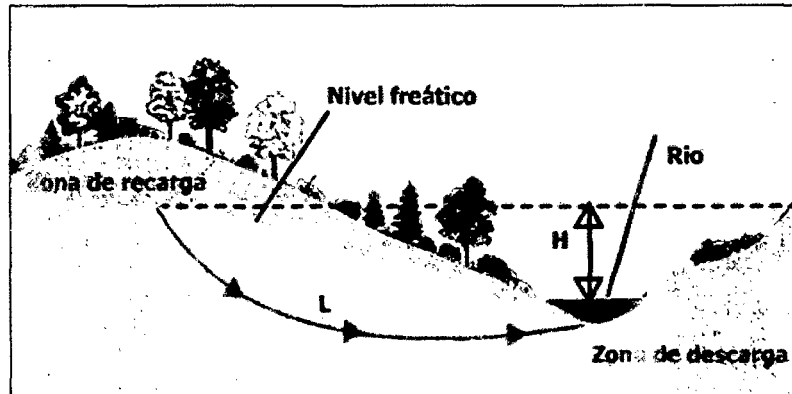
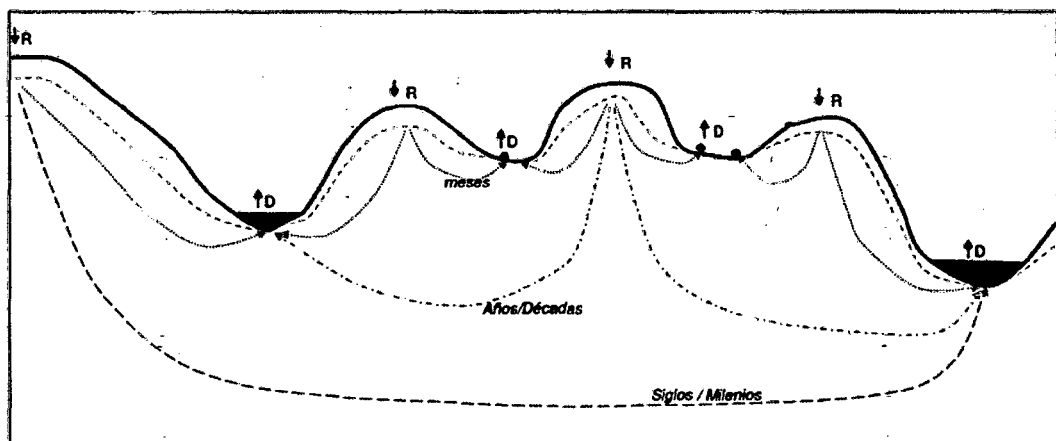


Figura 33. Ley de Darcy

Fuente: Arqhs, 1999

El flujo natural del agua subterránea se puede esquematizar mediante redes de flujo. En la Figura 34, se muestra el esquema del flujo subterráneo teniendo en cuenta las características de un suelo homogéneo e isótropo.

- **Área de recarga**, son aquellas en las que el flujo subterráneo presenta una componente vertical descendente.
- **Área de descarga**, el flujo subterráneo presenta una componente ascendente.



- | | |
|-----------------|--------------------------------------|
| — Topografía | — Local |
| — Tabla de agua | — Intermedias / subregional |
| ○ Manantiales | — Regional |
| ○ Rios | ↓ R Zonas de Recarga / Infiltración |
| | ↑ D Zonas de Descarga / Exfiltración |

Figura 34. Redes de flujo de aguas subterráneas.

Fuente: Sánchez, 2008

Cuadro 11. Clasificación de algunos materiales sedimentarios según su permeabilidad o conductividad hidráulica (m/día).

Rango	10^{-7}	10^{-4}	10^{-2}	10^0	10^5	10^7
Calificación	Impermeable	Poco permeable	Algo permeable	Permeable	Muy permeable	
Calificación de la formación	Acuícludo	Acuitardo	Acuífero pobre	Acuífero regular a bueno	Acuífero excelente	
Ejemplos de materiales	Arcilla compacta Pizarra Granito	Limo arenoso Limo Arcilla limosa	Arena fina Arena limosa Caliza fracturada	Arena limpia Grava arena y Arena fina	Grava limpia	

Fuente: Custodio y Llamas, 1983

Cuadro 12. Características de almacenamiento de las rocas.

ACUIFEROS	Capacidad de Almacenar	Capacidad de drenar	Capacidad de Transmitir	Material Característico
Acuíferos	Alta	Alta	Alta	Gravas, arenas, calizas
Acuitardos	Alta	Media/alta	Baja	Limos, arenas limosas y arcillosas
Acuícludos	Alta	Muy baja	Nula	Arcillas
Acuífugos	Nula	Nula	Nula	Granito gneises y mármoles

Fuente: González, 2004

Cuadro 13. Rangos de valores medios de porosidad y permeabilidad de las distintas rocas.

ROCA	POROSIDAD (%)	PERMEABILIDAD (M/DÍA)
NO CONSOLIDADA		
Arcillas	45-60	10^{-6} - 10^{-4}
Limo	20-50	10^{-3} -10
Arena	30-40	10 - 10^4
Grava	25-40	10^2 - 10^6
CONSOLIDADA		
Argilita	5-15	10^{-7} - 10
Arenisca	5-20	10^{-2} - 10^2
Caliza	1-10	10^{-2} -10
Conglomerados	5-25	10^{-4} -1
Granito	10^{-5} -10	10^{-7} - 10^{-3}
Basalto	10^{-4} -50	10^{-5} - 10^{-2}
Pizarra metamórfica	10^{-4} -1	10^{-9} - 10^{-6}
Esquistos	10^{-4} -1	10^{-9} - 10^{-5}
Gneis	10^{-5} -1	10^{-9} - 10^{-6}
Rocas Volcánicas	10-80	10^{-6} - 10^{-2}

Fuente: Gregory & Walling, 1985

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Formación Geológica.- Es una secuencia de rocas, generalmente de características semejantes, en cuanto a litología, fósiles y edad. (Dávila, 2011).

Cuenca Hidrográfica.- Según Ortiz, 1995, área de alimentación de una red natural de drenaje, cuyas aguas pluviales son recogidas y confluyen hacia un colector común, el cauce principal de la cuenca.

Oferta Hídrica.- Volumen disponible de agua para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre. (Corponariño).

Divisoria de Aguas o Divortium Aquarium.- Dávila, 2011 dijo que es la línea de cumbres o de máxima altura de los terrenos entre dos vertientes, que separa las aguas de las lluvias o de los deshielos. La divisoria de aguas da lugar a la formación de las cuencas hidrográficas.

Punto de salida.- Término utilizado dentro de la definición de cuenca hidrográfica de Dominguez, 2006 y dentro de la definición de curva hipsométrica de Villon, 2002. Que refiere al punto de salida del drenaje de una cuenca.

Acuífero.- Rocas que almacenan y transmiten agua en cantidades significativas. (Martinez E, Martinez P. y Castaño. 2006). Las zonas que poseen agua se llaman acuíferos. Formaciones geológicas capaces de almacenar y transmitir agua. (Davis, Wiest, 1971)

Acuitardo.- Rocas que almacenan agua y la transmiten lentamente. (Martinez E, Martinez P. y Castaño. 2006). Formaciones geológicas que, aunque almacenan agua y la transmiten en cantidades significativas a escala regional, no son suficientes para abastecer por si mismas instantáneamente a los pozos. (Davis, Wiest, 1971)

Microcuenca.- Es toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una Subcuenca. (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 2007)

Rodríguez (2014), propone, en razón de un análisis de subcuencas dentro de la Región Cajamarca y obtiene datos de la tendencia que las microcuencas están en áreas hasta aproximaciones a 70 Km² y las subcuencas su tendencia es de 70 Km² a 700 km², y las cuencas de 700 Km² a más.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El área de estudio se localiza en la cordillera occidental de los Andes Peruanos al noreste del valle de Cajamarca, centro poblado de Puyllucana, distrito de los Baños del Inca, provincia y departamento de Cajamarca. Con una altitud que varía de los 2,687msnm. a los 3,305msnm. (ver plano n°01).

La microcuenca Puyllucana, se encuentra comprendida dentro del cuadrángulo 15g de la carta nacional, entre las siguientes coordenadas UTM, datum WGS84 en la zona 17S:

Cuadro 14. Vértices que delimitan la zona de estudio:

Vértice	Este (Longitud)	Norte (Latitud)
NW	780 000	9 211 000
NE	785 500	9 211 000
SE	785 500	9 207 000
SW	780 000	9 207 000

3.2 ACCESIBILIDAD

Cuadro 15. Accesibilidad hacia la zona de estudio:

Tramo	Distancia (km)	Tipo de carretera / acceso	Tipo transporte /Movilidad	Tiempo (min)
Cajamarca – B.I. - Puyllucana	8	Afirmada	Auto	20
Cajamarca - Otuzco	8.5	Afirmada	Auto	30
B.I. - Puyllucana	2	Camino de herradura	A pié	20

BI= Baños del Inca

3.3 CLIMA Y TEMPERATURA

De acuerdo al rango de altitud presente (2,690msnm. - 3,300msnm.), la zona de estudio se ubica en la Región Natural Quechua (ver Mapa de Pisos Altitudinales), establecido dentro de las ocho regiones naturales o pisos ecológicos del Perú; lo que determina que su clima sea templado, seco; soleado durante el día, pero frío durante la noche.

Región Quechua.- Es la región natural más habitada por su clima fresco, apta para la vida humana, el cultivo de especies vegetales y crianza de ganado. Se distribuye entre el territorio de Yunga en su límite superior y el límite inferior de la Jalca. En esta Región se encuentran las ciudades capitales de provincia. (Sánchez, 2010).

Clima

La región presenta dos estaciones características; una lluviosa de Diciembre a Marzo y otra seca de Abril a Noviembre, con sus respectivas etapas transicionales; sin embargo, este ciclo tiene periodos excepcionales cuando se presentan años de sequía y/o de abundantes precipitaciones, con funestas consecuencias para la agricultura, ganadería y en general, para la economía de la región.

Cuadro 16. Temperaturas en Cajamarca.

Temperatura Máxima Promedio:	12 °C.
Temperatura Mínima Promedio:	10 °C.
Temperatura Promedio:	8 °C.

Fuente: (www.turismoperu.com).

Cuadro 17. Precipitación en Cajamarca.

Presentación Máxima Promedio:	618.8 mm.
Precipitación Promedio Mensual:	51.6 mm.

Fuente: (www.turismoperu.com).

Cuadro 18. Meses de Lluvia en Cajamarca.

Periodo Lluvioso:	Diciembre, Enero, Febrero, Marzo y Abril.
Meses Más Lluvioso:	Febrero y Marzo

Fuente: (www.turismoperu.com).

3.4 TIPO DE INVESTIGACIÓN

- **Tipo descriptivo.**- Se describen las diferentes características o rasgos como la topografía, geomorfología, unidades litológicas, entre otras observadas in situ.
- **No experimental.**- No se realiza experimento.
- **Sección transversal.**- Se realizó en un determinado periodo de tiempo, durante 05 meses: de enero 2015 a junio del 2015.
- **Método descriptivo, correlacional y causal.**- Incluyó la descripción, análisis y correlación entre los datos de campo y estudios e interpretaciones bibliográficas existentes. Se describió las relaciones entre más de dos variables.

3.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 Trabajo de gabinete inicial:

Revisión bibliográfica:

- ✓ **Recopilación, revisión y síntesis de la información necesaria, como libros, trabajos de tesis, estudios anteriores, planos, imágenes satelitales, páginas Web.**

Recolección de información base en formato vectorial y ráster:

- ✓ **Información espacial topográfica a escala 1/100,000 en formato shapefile, según formato de carta nacional. Ministerio de educación MINEDU-MED Servidor de información espacial.**
- ✓ **Archivo digital en formato shapefile de la geología, fallas, pliegues, buzamiento, del cuadrángulo 15g a escala 1/50,000 actualizada hasta el 2011. "serv_geologia_nuevos". INGEMMET.**
- ✓ **Mapas temáticos de Perú en formato shapefile (Cuencas hidrográficas, límites regionales, provinciales y distritales) del Ministerio del Ambiente MINAM - Perú.**
- ✓ **Imágenes ASTER GDEM en formato GeoTIFF con coordenadas UTM, con resolución espacial de 30 metros y referencia al geoide WGS84/EGM96. Geoservidor Ministerio del Ambiente - Perú.**

- ✓ Imagen satelital de alta calidad online "World Imagery" de la galería de mapas en ArcGIS, última modificación el 19 de febrero de 2015.
- ✓ Imágenes satelitales de alta calidad, georreferenciadas del Google Earth versión Pro, actualizadas hasta 20 de junio del 2014.
- ✓ Imágenes satelitales LANDSAT de 08 bandas. *landsatLook "Natural Color" Image, landsatLook "Thermal Image", landsatLook "images with geographic reference"*. USGS Science for a changing World.

Procesamiento de la información:

- ✓ Todo la información se trabajó empleando el software ArcGIS v10.2, obteniendo así en primera instancia los planos base a escala 1:15,000: plano topográfico (curvas cada 10m), plano geológico a escala 1:50,000, plano de imagen satelital (resolución espacial 30m) a escala 1:15,000.

3.1.2 Trabajo de campo:

- ✓ Observación (orden y detalles) de la zona de estudio: microcuenca puyllucana.
- ✓ *Describir* con ayuda de los planos base los accesos y lugares más óptimos para realizar: la toma de datos GPS, entre otros descritos a continuación. *Analizar* las características en cada estación para de ésta manera *identificar* la distribución de geología de la zona, ríos tributarios, zonas de recarga acuífera, entre otras características.
 - *Datos GPS:*
En coordenadas UTM, sistema WGS84, zona 17S, error $\pm 3m$.
 - *Cartografiado geológico:*
Registro en libreta de campo: título, fecha, hora, localidad, referencias, nombre de la estación, coordenadas UTM (este, norte, cota), tipo de roca, límites con otras unidades (techo, piso) y demás características.
 - *Datos Litológicos:*
Tipo de roca (sedimentaria, ígnea, metamórfica)
Color (en muestra fresca y muestra alterada)
Grado de intemperismo (suave, moderado, alto)
 - *Datos Estructurales:*

Estratificación (tipo de estratificación)

Características (longitud, pliegues, rumbo, buzamiento)

- *Datos de Fallas y diaclasas:*

Tipo de falla

Rumbo, buzamiento,

- *Datos de manantiales:*

Coordenadas UTM (este, norte, cota)

Mediciones (largo, ancho, profundidad)

Caudal (ml/s, l/s), temperatura (°C)

- ✓ Presentación de *resultados*: revisar y ordenar datos cualitativos y cuantitativos obtenidos en campo.

3.1.3 Trabajo de gabinete final:

Toda la información fue ordenada y trabajada en procesador de texto (Microsoft Word 2013), hoja de cálculo (Microsoft Excel 2013) y plasmada en informe parcial (55%), y el informe final (100%). Los cuadros de la columna estratigráfica y perfiles han sido hechos en el software AutoCAD y los planos finales han sido elaborados con información digital y corregida en campo a escala 1:15,000. Para ser impresos en hoja A3 (420x297 mm).

3.6 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Recursos de Gabinete

- Laptop Core i5
- Impresora a colores
- Software ArcGIS v.10.2
- Microsoft Office v.2013
- Materiales de Oficina

Recursos de Campo

- Carta Topográfica a escala 1/10,000.
- Carta Geológica a escala 1/50,000.
- Imagen satelital a escala: 1/10,000
- Picota
- Brújula tipo Brunton,
- G.P.S Navegador.
- Lupa (10x, 20x)
- Rayador (dureza 7).
- Ácido clorhídrico 2 mol.
- Libreta de campo, lápiz, colores. protector.
- Cámara Digital 14 mpx.

3.7 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

3.7.1 Procesamiento de datos

Para la generación de la microcuenca, se tuvo como base un diagrama de flujo de las fases para la obtención de parámetros en SIG la cual permite llevar un orden para crear, editar y administrar modelos, encadenados a una secuencia de herramientas de geoprocamiento en forma de organigrama:

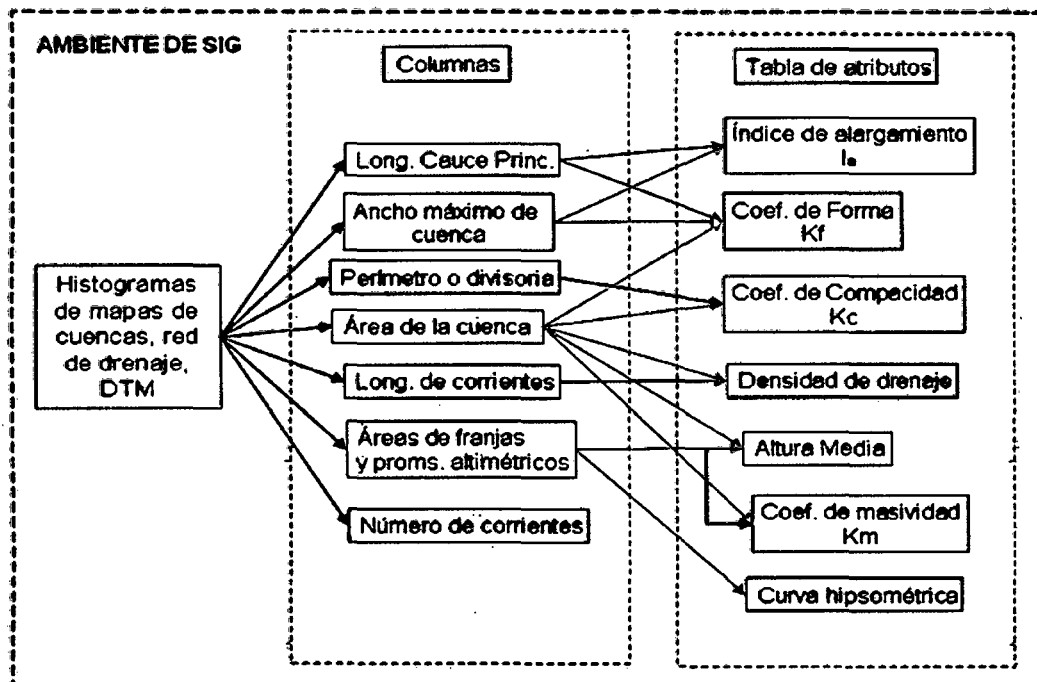


Figura 35. Diagrama de flujo de las fases para la obtención de parámetros morfométricos en SIG.

Fuente: Fustes, 2004

Para el cálculo de los parámetros morfométricos se tiene como base la clasificación de los ítems generales de Ibañez, S. et al. 20011 y la descripción de los parámetros de autores como; Firco, Horton R., Strahler A., Reich V., Steno N., Hutton J., Faustino J., Jiménez F., Llamas J., Heras R., Jardí M., Villon M., Viramontes O., Campos A., entre otros.

3.7.1 Análisis de datos

Todos los análisis se basan en la siguiente frase:

“El resultado de los trabajos en SIG, va a depender en gran medida del tipo de datos, así como de la habilidad del que lo realiza, al procesar la información geoespacial”. (Alcántara, 2015).

3.8 GEOLOGÍA

Localmente en la cuenca de estudio, existen rocas del cretáceo inferior con edades del aptiano al albiano medio (Formaciones: Farrat, Inca, Chúlec y Pariatambo) y también rocas del Cretáceo Superior de edades del albiano superior al turoniano (Formaciones: Yumagual, Quilquiñan-Mujarrun y Cajamarca).

La característica litológica de la secuencia sedimentaria está marcada por rocas esencialmente calcáreas en la parte superior (Formaciones: Chúlec y Pariatambo, Yumagual, Quilquiñan-Mujarrun y Cajamarca) y en menor proporción de rocas clásticas en la parte inferior (Formaciones: Farrat e Inca).

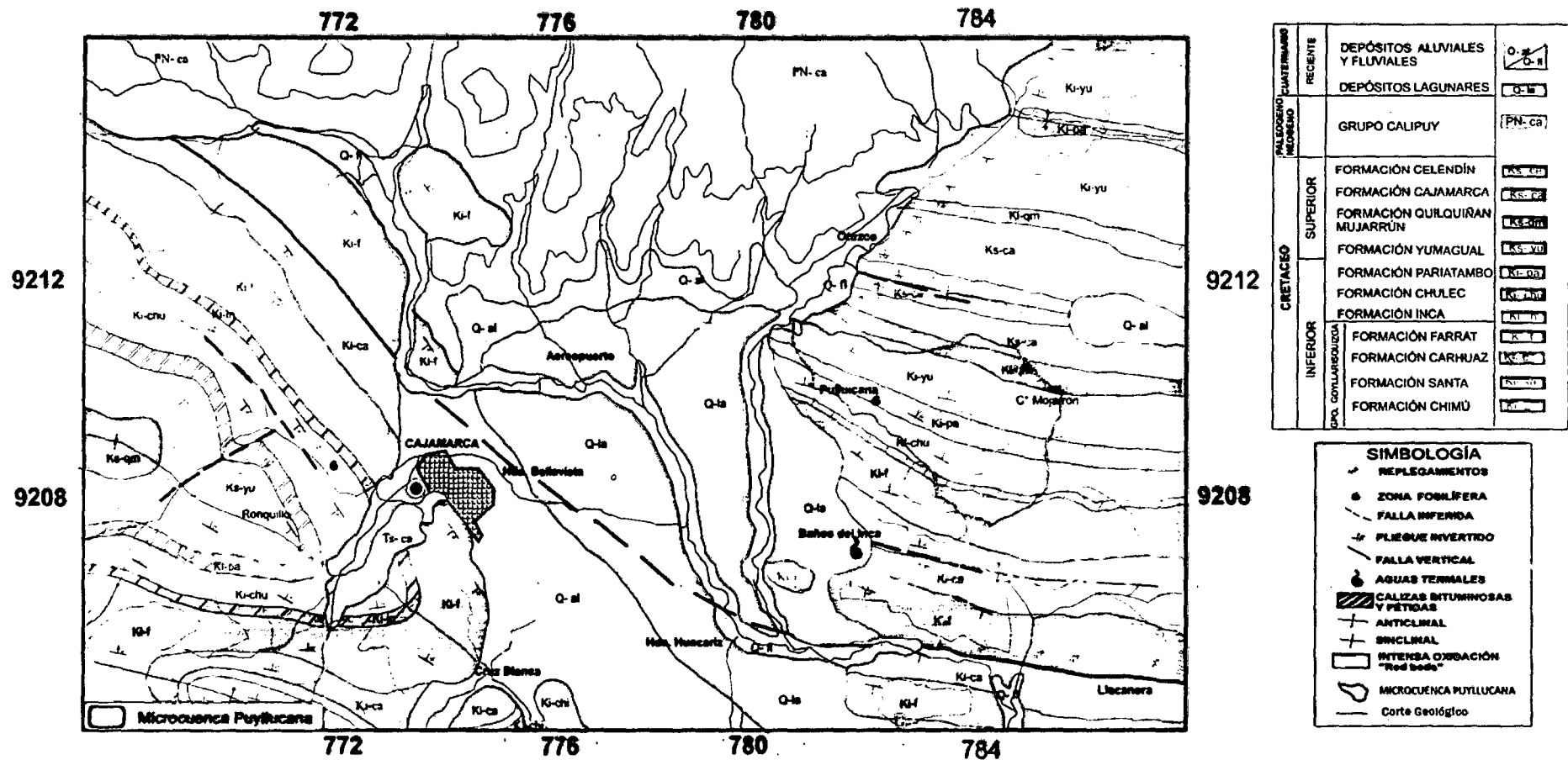


Figura 36. Mapa geológico de los alrededores de Cajamarca, superponiendo la delimitación de la microcuenca Puyllucana.

Fuente: Lagos y Quispe, 2007

Modificado por el tesista

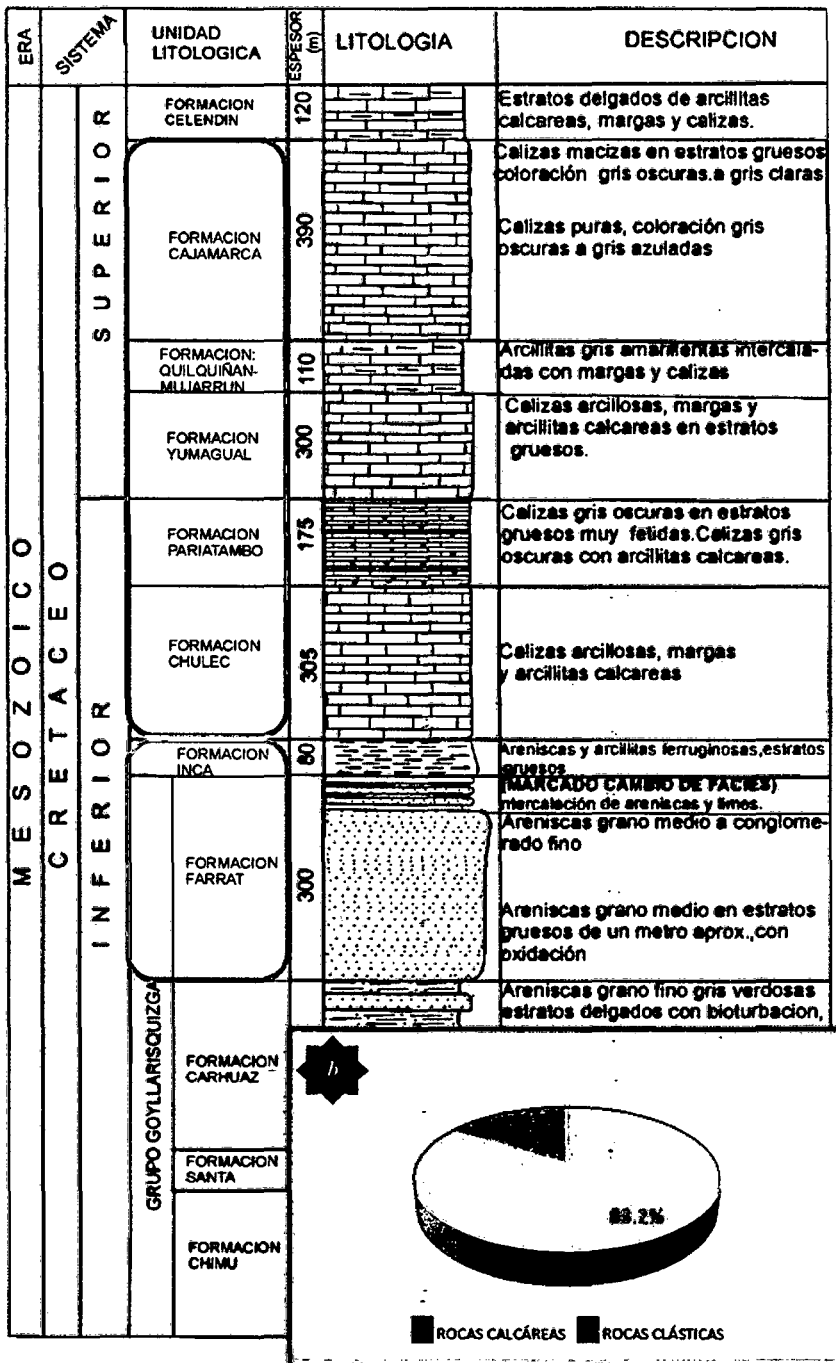


Figura 37. a. Columna estratigráfica, alrededores de Cajamarca y Baños del Inca.

b. Porcentajes de áreas ocupados por los tipos de rocas en la microcuenca.

Fuente: Lagos y Quispe, 2007

Modificado por el tesista

El abundante aporte terrígeno de las unidades calcáreas en el área de estudio se explicaría por: la existencia de los mares cercanos a las costas (Formación Chúlec, Formaciones: Quilquiñán y Mujarrun); por la erosión de las tierras emergidas durante el período de regresión marina del Cretácico Superior (Formación Celendín), D. Borkowski, (1994). La disminución del material terrígeno en las Formaciones: Pariatambo y Cajamarca indicaría mares más o menos profundos muy alejados de la costa.

Esto sugiere que este sector de la cuenca estuvo sometido a movimientos de leve subsidencia lo cual iba configurando paulatinamente el alto del Marañón. El gran espesor que exhibe el grupo. Goyllarisquizga, cerca de 2000m, con las mismas características sedimentológicas siguieren que la cuenca estuvo sometida a un constante hundimiento a medida que se rellenaba de sedimentos (Krumbein y Sloss, 1963).

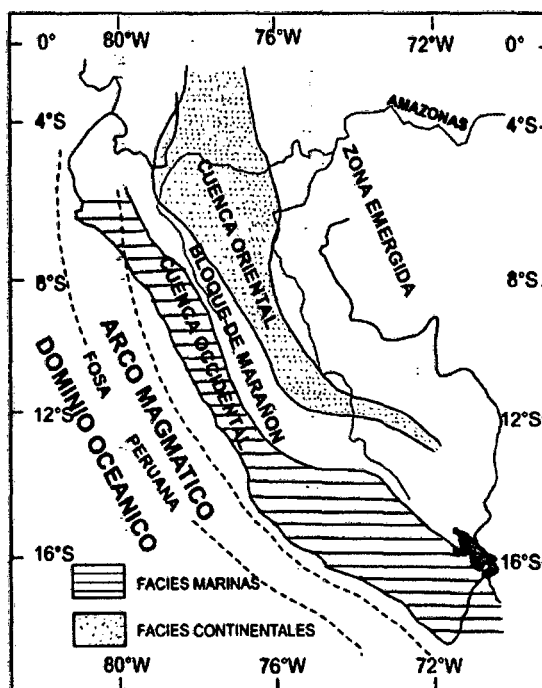


Figura 38. Mapa paleogeográfico durante jurasico superior (MALM).

Fuente: Megard, 1973

El Bloque del Marañón empezó a emerger a fines del Jurasico Superior (MALM), como respuesta a movimientos epigenéticos (INGEMMET, 1995) configurando sistemas de fallas escalonadas a ambos lados de este bloque a manera de horts

y graben, formándose dos cuencas; estas dos cuencas se comportaron de manera distinta: la Cuenca Occidental experimentó una subsidencia desde el Jurásico Superior mientras que la Cuenca Oriental permanecía levantada (Reyes 1980 y Borkowski, 1994). A fines del berriasiano- valanginiano hasta el aptiano, la Cuenca Occidental sufrió una emersión dando lugar a la depositación clástica en un ambiente marino playero a deltaico (Grupo Goyllarisquizga).

Los sedimentos de la parte inferior del Grupo Goyllarisquizga (Formación Chimú) son mayormente de ambientes fluviales a deltaicos, en la parte intermedia se observa una secuencia marina (Formación Santa) con algunos niveles con Paraglauconia y Cassiope (Aldana, 2008) Lucinidae (Morales, 2009) que indican corrientes de aguas salobres de poca profundidad y muy cercanos a la costa, posteriormente se observan niveles con Weichselia peruviana, Pelcurdia (Aldana, 2008) que indican una depositación en un ambiente continental y quizá cercano a una zona transicional (Formación Carhuaz). En la parte superior se observan las mismas características continentales que la Formación Chimú (Formación Farrat).

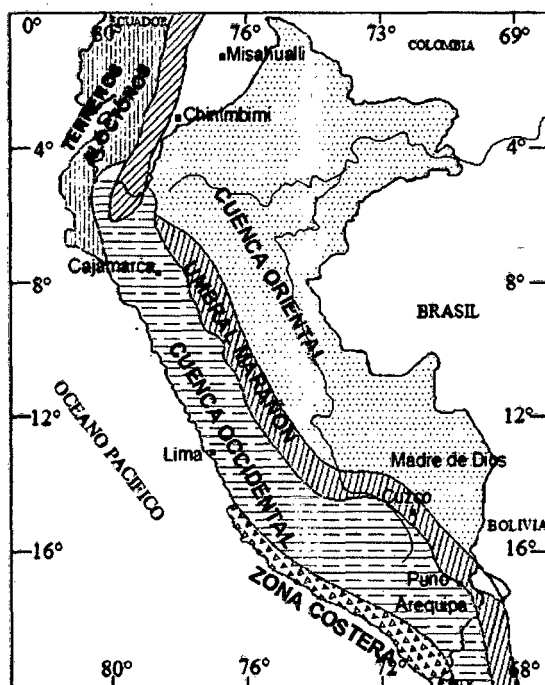


Figura 39. Presentación geográfica y paleogeográfica del margen andino durante el cretáceo inferior.

Fuente: Digitalizado boletín de la Sociedad Geológica del Perú v.88. p.74. 1998.

En la zona de investigación encontramos formaciones pertenecientes al Cretáceo Inferior y parte del Cretáceo Superior, denotándose el paso de un ambiente sedimentario tipo continental a transicional y a marino poco profundo.

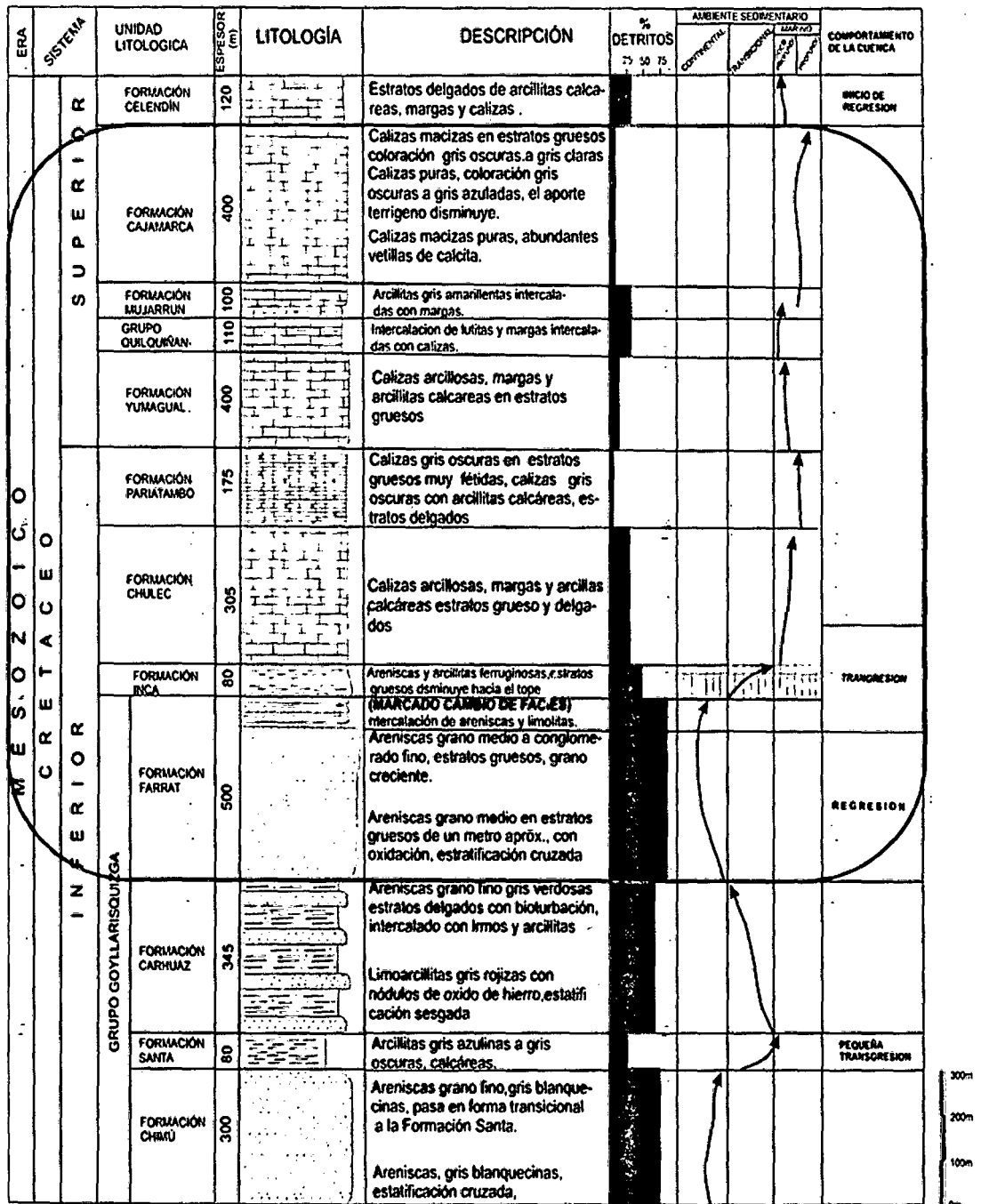


Figura 40. Columna estratigráfica, alrededores de Cajamarca y Baños del Inca.

Fuente: Lagos, 2009

3.8.1 ESTRATIGRAFÍA

3.8.1.1 Serie Sedimentaria

A fines del berriasiano-balanginiano hasta el aptiano, esta depresión sufrió una emersión dando lugar a la depositación del Grupo Goyllarisquizga, en el aptiano superior hasta el santoniano medio se inicia la ransgresión marina probablemente como consecuencia del deshielo de los casquetes glaciares debido al incremento de temperaturas en las regiones polares afectando al Perú meridional y central (Nuñez 1994 y Moulin, 1979).

El estadio aptiano está representado por areniscas curazosas de escasa potencia, Interestratificadas con lutitas y denominado **Formación Farrat**; sobreyace a las lutitas de la Formación Santa - Carhuaz e infrayace a la Formación Inca.

Durante el Albiano inferior, se inicia la transgresión marina de facies playera; en este intervalo, se depositan calizas arenosas y ferruginosas de color gris paduzco, interestratificadas con lutitas verdosas y pardo arnarillentas, astillosas y fosilíferas, denominada **Formación Inca**, ésta formación es bastante ferruginosa, de tal modo que al intemperizarse adopta colores rojo y amarillo brillantes. La formación inca representa el depósito basal de la transgresión marina Albiana.

El estadio Albiano inferior-medio deja, como testigo de esa transgresión, una secuencia de margas, calizas y lutitas con una abundante fauna de equinoideos, gasterópodos y pelecípodos denominada **Formación Chulec**, cuya parte inferior está compuesta de margas amarillentas y pardas, fosilíferas y astillosas, interestratificadas con gruesos banco de calizas grises; la parte media está compuesta de lutitas pardas, astillosas, friables y fosilíferas, interestratificadas con capas de caliza con exógira; la parte superior consiste de margas y calizas en capas delgadas de estratificación ondulada, algo nodular y tizosa.

Hacia el final del Albiano medio un mar de aguas profundas deposita una secuencia de lutitas calcáreas, bituminosas, negras, interestratificadas con calizas también bituminosas de olor fétido, ricamente fosilíferas, principalmente en concreciones grandes, discoideas, con fauna de ammonites y conocida como **Formación Pariatambo**; además, contiene pelecípodos y gasterópodos.

Sobre una marcada discordancia erosional que indica emergencia del eje del Marañón, el estadio albiano - cenomaniano deposita margas de aguas poco profundas y calizas arcillosas de color gris a gris claro, de estratificación ondulada. En la base hay intercalaciones de areniscas finas, de estratificación cruzada. En la parte media, gruesas capas de caliza nodular contienen restos de *Ostrea* e *Inoceramus*. La parte superior se caracteriza por la presencia de ammonites y fósiles pertenecientes a *Exogyra*, lo que permite clasificar a ésta secuencia estratigráfica como **Formación Yumagual**.

Entre el cenomaniano inferior a medio, las condiciones marinas vuelven a ser imperantes, depositando calizas y margas que constituyen la **Formación Mujarrún**, la cual está compuesta de dos miembros: el miembro superior, llamado Culebra (compuesto de margas y calizas de color gris claro, bastante fosilíferas conteniendo exógiras y ammonites mal preservados) y el miembro inferior llamado choro (compuesto de caliza de color gris claro, ligeramente dolomítica de potentes bancos y se caracteriza por su mayor resistencia a la erosión que la formación Yumagual, a la que sobreyace).

Una disminución en la profundidad de los mares, ocurrida entre el cenomaniano y los albores del turoniano deposita una secuencia compuesta de lutitas y margas amarillentas y parduzcas, interestratificadas con delgados estratos de caliza nodular amarillo parduzco denominada **Formación Romirón**. Caracteriza a esta formación la abundancia de fósiles, especialmente el *exogyra olisiponensis*, que forma grandes bancos. Ha sido considerado como integrante del grupo quilquiñan.

La **Formación Coñor** pertenece al mismo evento marino que la infrayacente y se caracteriza por la presencia de margas azulinas, nodulares, interestratificadas con calizas de color gris oscuro a negro y con fauna de cefalópodos que marcan el turoniano inferior.

En el turoniano medio, el mar empieza a profundizar, llegando al máximo a fines del Turoniano superior. Este magno evento tiene como consecuencia la sedimentación de una secuencias de calizas de color gris oscuro a gris azulado, maciza, densa, litográfica y de estratos potentes, denominada **Formación Cajamarca**. Está caracterizada por Intercalaciones de caliza gris azulada, compuesta de detritus calcáreo, menos macizos que las calizas y margas azuladas predominantes y conteniendo una variada fauna de moluscos.

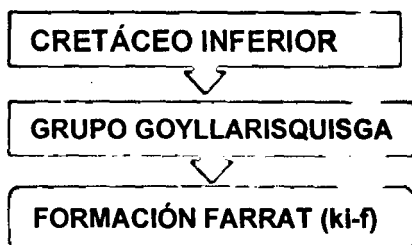
Funte: Onern, 1977

	N AREA DE LA COSTA S			N CUENCA OCCIDENTAL			S N DOMINIO ORIENTAL		CUZCO	PUNO	
	HUARMEY	LIMA	MAZCA	CAJAMARCA	LA OROYA	ABANCAY	AREQUIPA	ORIENTE PERÚ			
MAASTRICHTIANO				FUNDO EL TRIUNFO	CASAPÉCA		TOQUEPALA	USHAYACU CACHAYACU	SAN JERÓNIMO	VIOQUEINCO	
CAMPANIANO							UCHURCA?	VIVIAN			
SANTONIANO							OMOYE				
CONIACIANO	PARARIN			CELENDIN			OLERQUE				
TURONIANO				CILIMAY	YUMASHA	FERROBAMBA	ARCURQUINA	AGUA CALIENTE	YUNCAPATA	YANACO	
CENOZANOICIANO				OCOR							
ALBIANO	LUPIN BREAS	GRUPO CASMA	QUELIANA Y COPARA	YUMAGUI			MATAJQUE				
	LA ZORRA			PARATACED							
APTIANO	COCHAPLANTA			CHILEC							
	PUNTA GRAMADAL										
	HUAMANCAY	CHILCA		YUC: PARAHUANCA			HUAMBO	CUSHABATAY	ANGOSTURA		
				FERRAT							
BARRIEMIANO	CHILA	PAMPLONA	YAUCA	CARUAZ	GOTLLARIBUSCA	SORAYA	MURCO				
HAUTERIVIANO		ATOCONGO									
VALANGINIANO	MARCAVLCA		SANTA								
	CHIMU	HERRADURA SALAD L. FRABLE	CHIMU				HUALHUANI				
BERGASIANO		OYÓN		TINAJONES			SHAYPAYA				

Figura 41. Cuadro de correlaciones entre unidades litoestratigráficas del Cretáceo en la margen peruana.

Fuente: Jacay, 2005

3.8.1.2 Unidades Litoestratigráficas



Área 3D: 0.94 km² - 94.15 has.

Porcentaje: 10.28 %.

Litología: Areniscas cuarzosas blanquesinas de grano fino a medio de gran resistencia a la erosión, teniendo en la base estratos de 10 a 40cm. con estratificación cruzada, aumentando de potencia hacia la parte superior (estratocreciente) con estratos de hasta 1m. y aumentando manera general el tamaño de grano (granocreciente), pasando de manera gradual a la formación inca, presentando el ello intercalaciones de limolitas y litarenitas. sobreyace a las lutitas de la Formación Carhuaz e infrayace a la formación inca.

Potencia: aprox. 550m.

Edad: Aptiano

Ambiente Sediementario: Playero-Deltaico.

Correlación: Localmente con la parte superior de la Formación Llacanora; hacia el norte se extiende con el mismo nombre y hacia el sur con las regiones de Sihuas y Pomabamba.



Figura 42. Fracturamiento en la Formación Farrat.

Coordenada E: 782723, Coordenada N: 9207732

GRUPO ANDINO ALTIPLANO

FORMACIÓN INCA (C3E1)

Área 3D: 0.53 km² - 52.92 has.

Porcentaje: 5.78 %.

Litología: Inicialmente llamada "capas rojas" por Tafur (1950) fue posteriormente definida por Benavides (1956). Consta de areniscas de grano fino ferruginosas en disminución progresivamente hacia el techo con intercalación de limolitas en aumento progresivo en la misma dirección, estratos de 20 a 40 cm. dando una tonalidad fuertemente rojiza, debido al intemperismo y a la oxidación de la hematita. Evidenciándose algunos plegamiento y huellas de fósiles. Sobreyace a la Formación Farrat e infrayace a la formación chúlec.

Potencia: aprox. 100m.

Edad: Albiano inferior

Ambiente Sedimentario: Transicional, de un ambiente marino de poca profundidad con abundante oxigenación.

Correlación: En el área de la costa (Lima) con la Formación Chilca, con la Formaciones Cushabatay en la parte inferior del Grupo Oriente y la Formación Angostura (región de Puno).

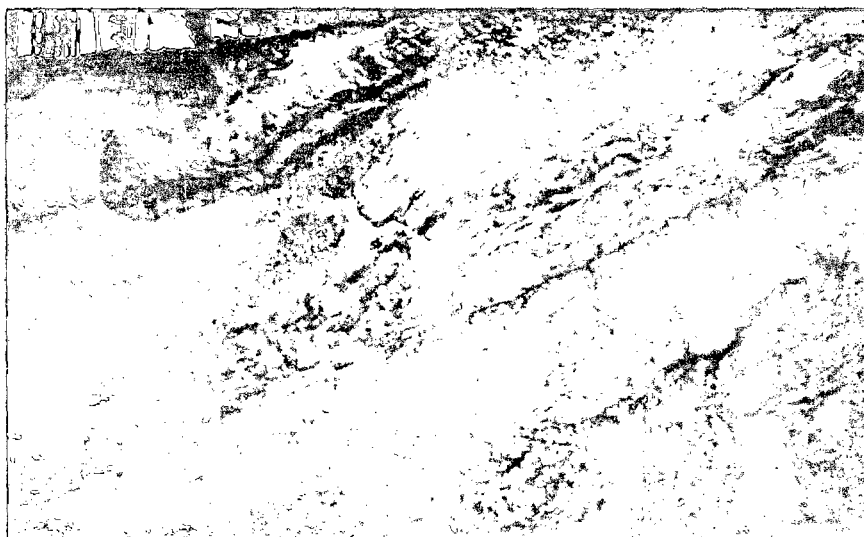


Figura 43. Areniscas grises y rojizas de la Formación Inca.

Coordenada E: 782314, Coordenada N: 9208625

CRETÁCEO INFERIOR

FORMACIÓN CHÚLEC (ki-chu)

Área 3D: 1.94 km² - 193.58 has.

Porcentaje: 21.14 %.

Litología: Fue determinada por Laughlin (1925) y Benavides (1956) la elevó a la categoría de Formación. Ésta Formación es fosilífera por excelencia, consta de: calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas, las que por intemperismo adquieren una textura terrosa de color amarillento (característica para distinguirla en campo). En la parte media encontramos una intercalación de calizas lutáceas en bancos potentes con calizas nodulares de estratos finos. Encontramos fósiles y macrofósiles de: ammonites, exógyras, bivalvos, entre otros equinoideos, gasterópodos y pelecípodos. Sobreyace concordante a la Formación Inca e infrayace concordante a la Formación Pariatambo.

Potencia: aprox. 320m.

Edad: Albiano inferior-medio

Ambiente Sedimentario: Marino poco profundo. Depositado en un ambiente marino somero poco profundo de alta energía de transporte, representa el inicio de la gran transgresión marina del Cretáceo.

Correlación: Se correlaciona con la parte inferior de la Formación Crisnejas que aflora en el valle del Marañón y con la Formación Santa Úrsula.



Figura 44. Macrofósil (ammonite 27x40cm) en la Formación Chúlec.

Coordenada E: 782696, Coordenada N: 9209273

CRETÁCEO INFERIOR

FORMACIÓN PARIATAMBO (ki-pa)

Área 3D: 1.27 km² - 126.86 has.

Porcentaje: 13.86 %.

Litología: Intercalación de lutitas calcáreas con calizas micríticas, nodulares de coloración oscura en estratos delgados con un olor fétido al fracturarlas debido a su contenido de abundante materia orgánica y con presencia de chert (sílice). Los afloramientos de esta unidad muestran un nítido comportamiento estrato creciente. Se caracteriza por la presencia de microfósiles (micritas y esparitas) y presencia de huellas de ammonites. Benavides (1957) determinó una biozona de *oxytropidoceras carbonarium* en la base de esta unidad. Yace concordantemente con la Formación Chulec e infrayace, con suave discordancia la Formación Yumagual.

Potencia: aprox. 185m.

Edad: Albiano medio

Ambiente Sedimentario: Se depositó en un ambiente marino de mayor profundidad que el chulec y en condiciones euxínicas.

Correlación: Se correlaciona con la parte superior de la Formación Crisnejas y con la Formación Yacu Ushco. Se extiende ampliamente en los andes centrales del Perú.

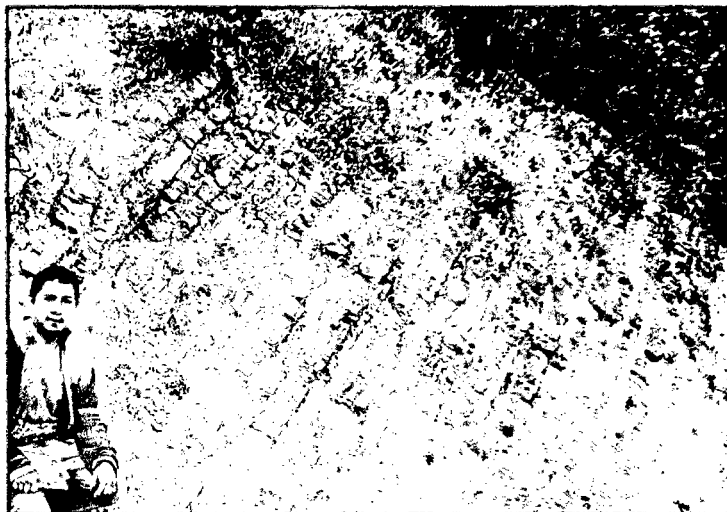


Figura 45. Intercalación de estratos delgados de caliza con lutitas calcáreas de la Formación Pariatambo. Coordenada E: 784488, Coordenada N: 9208575

CRETÁCEO SUPERIOR

FORMACIÓN YUMAGUAL (s-yu)

Área 3D: 3.57 km² - 357.31 has.

Porcentaje: 39.03 %.

Litología: Determinada por Laughlin (1925). Consta de calizas nodulares y margosas de color gris claro a gris amarillento, presencia de calcita secundaria (rellenando las fracturas) y escasos niveles de lutitas. Presenta abundancia de fósiles (exógyras, turrítelas, pelecípodos), como característica principal encontramos biozona de exógyra en el miembro superior de la formación. Sobreyace concordante a la Formación Pariatambo e infrayace concordante a la Formación Mujarrún.

Se la divide en tres periodos de formación de litología:

- a) **Superior:** Secuencia de margas y calizas grises parduscas en bancos más o menos uniformes. Presencia de mineral aragonito en el cerro Coñorpunta.
- b) **Medio:** Miembro lutáceo margoso amarillento, dentro de un conjunto homogéneo, con escarpas alongadas debido a su dureza uniforme.
- c) **Inferior:** Delgado miembro intermedio bastante fosilífero, por lo que litológicamente se puede confundir con la Formación Mujarrun-Quilquiñán.

Potencia: aprox. 625m.

Edad: albio superior-cenomaniano inferior

Ambiente Sediementario: Se depositó en un ambiente marino de poca profundidad.

Correlación: Se correlaciona con la parte inferior del Grupo Pullucana (conformado por las Formaciones Yumagual y Mujarrún, pero para el caso específico de Cajamarca se considera al Grupo Quilquiñán y la Formación Mujarrún como una sola unidad) y con la parte baja de la Formación Jumasha del centro del Perú.



Figura 46. Calizas nodulares margosas con fracturas rellenas de calcita de la Formación Yumagual, cerca al contacto con la Formación Pariatambo.

Coordenada E: 784489, Coordenada N: 9208580

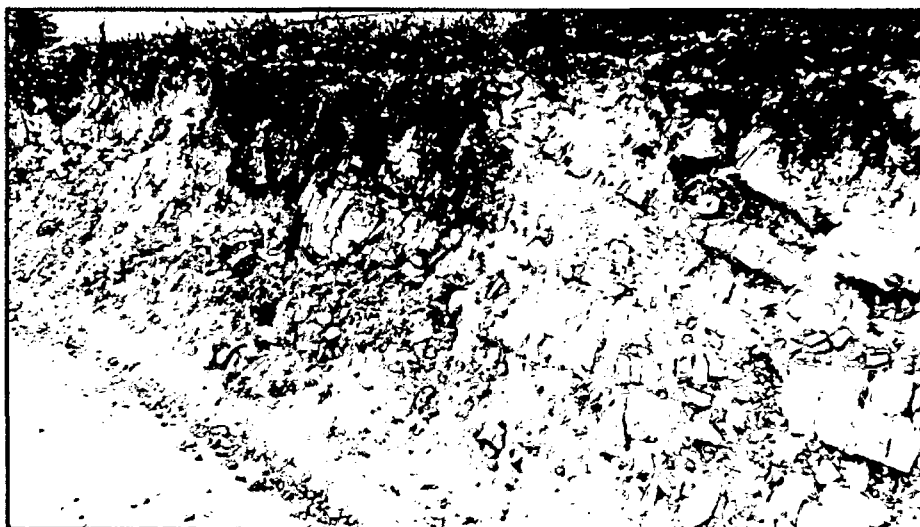


Figura 47. Formación Yumagual evidenciándose un fuerte fracturamiento.

Coordenada E: 784387, Coordenada N: 9208633

CRETÁCEO SUPERIOR

GRUPO QUILQUIÑAN FORMACIÓN MUJARRUN (ks-qm)

Área 3D: 0.65 km² - 65.45 has.

Porcentaje: 7.15 %.

Litología: Determinada por Benavides (1956) que diferencia en la Formación Mujarrún a los miembros Choro y Culebra y el grupo Quilquiñán conformado por las formaciones Romirón y Coñor.

Consta de intercalación de Calizas nodulares, margas, lutitas calcáreas pardo-amarillentas con abundantes fósiles.

En la base encontramos secuencia de calizas nodulares intercaladas con margas y lutitas amarillentas, seguido de lechos de calizas nodulares con margas pardo amarillentas fosilíferas y con bancos de calizas claras con lutitas arenosas y margas delgadas con abundantes fósiles.

Forman suelos de coloración gris marrones y topografías suaves debido a su poca resistencia a la erosión. La parte inferior de la secuencia (Formación Mujarrún) descansa concordantemente sobre la Formación Yumagual, mientras que la parte superior (Formación Quilquiñán), infrayace con discordancia paralela a la Formación Cajamarca.

Potencia: aprox. 140m.

Edad: cenomaniano medio - turoniano inferior

Ambiente Sediementario: Se depositó en un ambiente marino poco profundo, de menor profundidad que la Formación Pariatambo.

Correlación: Se correlaciona con la Formación Jumasha que la encontramos aflorando en Yauyos-Lima en la cual se considera que ésta Formación es la mejor caliza en el Perú para la generación de cuevas.

- a) **Formación Romiron:** Delgados lechos de calizas nodulares margosas pardo-amarillentas también fosilíferas, se caracteriza por presentar abundantes fósiles de exógyras , bivalvos, algunos amonites, gasterópodos, ostreas.



Figura 48. Intercalación de calizas nodulares con margas pardo amarillentas de la Formación Romiron.

Coordenada E: 783665, Coordenada N: 9210026

- b) **Formación Coñor:** La Formación Coñor presenta bancos de calizas claras con lutitas arenosas y margas delgadas con abundantes fósiles.



Figura 49. Contacto Formación Coñor y Formación Cajamarca.

Coordenada E: 783418, Coordenada N: 9210192

CRETÁCICO SUPERIOR

FORMACIÓN CAJAMARCA (ks-ca)

Área 3D: 0.18 km² - 18.12 has.

Porcentaje: 1.98 %.

Litología: Determinada por Benavides (1956).

Consiste generalmente de calizas gris oscuras ha azuladas y macizas con bancos potentes de 3.8 metros, con delgadas capas de lutitas y margas gris amarillentas hacia el techo. Cuyos afloramientos presentan escasos fósiles (ostreas) y exhiben una topografía con abundantes estructuras de disolución como huellas de gotas de lluvia, rizaduras (ripple marks), surcos (lapiaz). Las calizas de esta unidad presentan venillas de calcita de hasta 1cm. siendo consideradas calizas relativamente puras. Sobreyace concordante al Grupo Quilquiñán-Formación Mujarrún e infrayace igualmente a la Formación Celendín.

Potencia: aprox. 530m.

Edad: turoniano medio-superior

Ambiente Sedimentario: Se depositó en un ambiente marino de regular profundidad.

Correlación: Se correlaciona con la parte superior de la Formación Jumasha, corresponde a la parte inferior de la Formación Otuzco.



Figura 50. Calizas de la Formación Cajamarca.

Coordenada E: 767669, Coordenada N: 9210564

CUATERNARIO

HOLOCENO

DEPÓSITO FLUVIAL (Q-fl)

Área 3D: 0.16 km² - 18.29 has.

Porcentaje: 1.78 %.

Litología: Estos depósitos están representados por acumulaciones de material transportado por cursos fluviales depositados en el fondo y riberas de la desembocadura del río Puylucana hacia el río Garnde al NW de la microcuenca en estudio. Consta de cantos rodados angulosos, subangulosos y redondeados con acumulaciones de arenas, limos y arcillas inconsolidadas (gravas y gravillas) formada por acumulación reciente,

Época: Holoceno hasta el presente.

3.8.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Desde un punto de vista mas extenso al área de estudio, tenemos presente un conjunto de anticlinales y sinclinales siguiendo rumbo andino, de pliegues amplios y alargados. Al sector SW del área de estudio abundan los pliegues tumbados y recostados. Al NE y NW del área de estudio los pliegues están cubiertos por las secuencias piroclásticas y tobaceas de los Volcánicos Huambos. Las estructuras poseen una orientación N60W-S60E con una clara inclinación al oeste y es transversal al corredor estructural Chicama-Yanacocha. (Lagos et al, 2006).



Figura 51. Zona estructural- alrededores de Cajamarca, pliegues amplios y alargados

Fuente: Lagos, et al. 2006

Modificado por el tesista

Existen pliegues de amplia longitud de onda como es el caso del anticlinal de Baños del Inca y el sinclinal de Otuzco, dentro de las cuales se encuentra ubicado la microcuenca Puyllucana (figura 51).

El sinclinal de Otuzco es un típico pliegue en abanico con rumbo N75W y el anticlinal de Baños del Inca con rumbo N85W; éstos pliegues son el resultado de fuertes esfuerzos tectónicos de direcciones NE-SW de edad post-Cretácica que se desarrollarán durante la fase orogénica Inca, que afectó prácticamente a

todos los sedimentos Cretácicos en Perú. Los pliegues y fallas se desarrollaron durante la fase compresiva, sin embargo, encontramos fallas profundas pre-existentes (Peña, 2006) como es el caso de la falla Cajamarca.

3.8.2.1 Anticlinal Baños del inca

Los flancos del anticlinal están formados por capas de areniscas cuarzosas de la formación farrat, en le eje se encuentra las lutitas, limolitas y areniscas de la formación carhuaz; más antiguas y menos resistentes a la erosión. El buzamineto del flanco norte del anticlinal tiene ángulos moderados (entre 30°-40°). El flanco sur tiene mayor pendiente (hasta 70°) demostrando el carácter asimétrico de éste anticlinal. (Reyes, 1980)

3.8.2.2 Sinclinal Otuzco

El anticlinal Baños del Inca se va convirtiendo hacia el norte en el sinclinal Otuzco. Se puede observar toda la secuencia de Formaciones Inca, Chúlec, Pariatambo, Yumağual, Quilquiñañ-Mujarrún, Cajamarca y Celendín en el eje de sinclinal. La mayoría de los sedimentos son calizas con intercalaciones de margas y lutitas. Una falla paralela al eje se observa por el centro de sinclinal. Análogicamente al anticlinal de Baños del Inca, la estructura continúa hacia el norte mostrando areniscas resistentes de la Formación Farrat. El centro del anticlinal está erosionado y relleno por los depósitos fluviales con sedimentos de la Formación Carhuaz. Al norte sedimentos Cretácicos se encuentran cubiertos por secuencias de rocas volcánicas (flujos piroclásticos, lahares, tobas) de grupos huambo y san pablo. (Reyes, 1980)

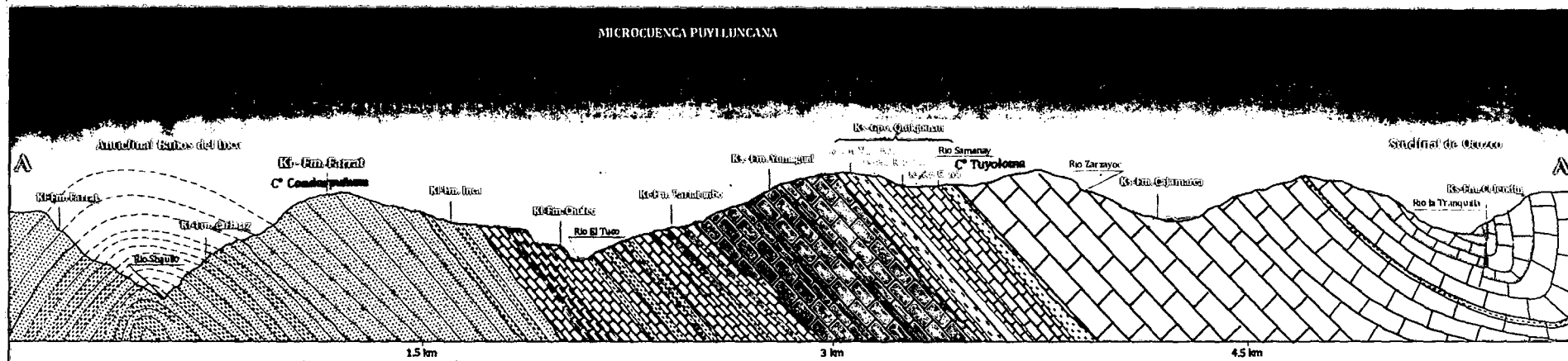


Figura 52. Corte geológico transversal, observando la microcuenca Puyllucana en una zona de plegamiento, entre el anticlinal Baños del Inca y el sinclinal de Otuzco, limitada por los cerros coforputa y tuyoeloma.

3.8.3 HIDROGEOLOGÍA

3.8.3.1 Hidrogeología de Cajamarca y Baños del Inca

De acuerdo a estudios realizados por el INGEMMET, se tiene identificado tres acuíferos potenciales: Las areniscas cuarzosas de la **Formación Chimú** (kichim) tienen un espesor de 600m, forman el **acuífero basal** en rocas fracturadas sin relleno haciéndola muy permeable ($K=de\ 12\ 0\ 83\ m/día$; test de campo; Peña, 2006) yace sobre un acuitardo formado por lutitas laminadas negras con intercalaciones de areniscas finas y grises, pertenecientes al Jurásico (**Formación Chicama, Js-chic**). La parte superior de este acuífero está formado por margas y limolitas de poca permeabilidad de la **Formación Santa** (100-150m) y por areniscas y lutitas de la **formación Carhuaz** (500m), haciendo un espesor de 600-650m; y confinando al acuífero. El **acuífero medio** está formado por areniscas de la **Formación Farrat** y tiene un espesor de 500m. Una secuencia gruesa (1,650-1,750m) de lutitas y margas de escasa permeabilidad con intercalaciones de lutitas y margas de escasa permeabilidad con intercalaciones de areniscas y calizas; separa el acuífero medio del acuífero superior. El **acuífero superior** tiene carácter fracturado-kársticos, formado por calizas de la **Formación Cajamarca**, encima de este se encuentra los sedimentos del Cretáceo superior.

En el área de los Baños del Inca, las secuencias litológicas de las Formaciones Santa, Farrat y Carhuaz forman un anticlinal. En los flancos de ésta estructura aflora las areniscas cuarzosas de la **Formación Farrat**, mientras que en el eje, se encuentran rocas profundamente erosionadas de las Formaciones Santa (margas y limolitas) y Carhuaz (lutitas y areniscas rojas). En el eje del anticlinal y en profundidad; los estratos impermeables de la las Formaciones Santa y Carhuaz fueron sometidos a fracturación intensa donde se produjo una flexión que abrió los caminos para la surgencia del agua subterránea procedente del acuífero confinado Chimú.

(Fuente: Peña, Jiri y Lenka, 2007)

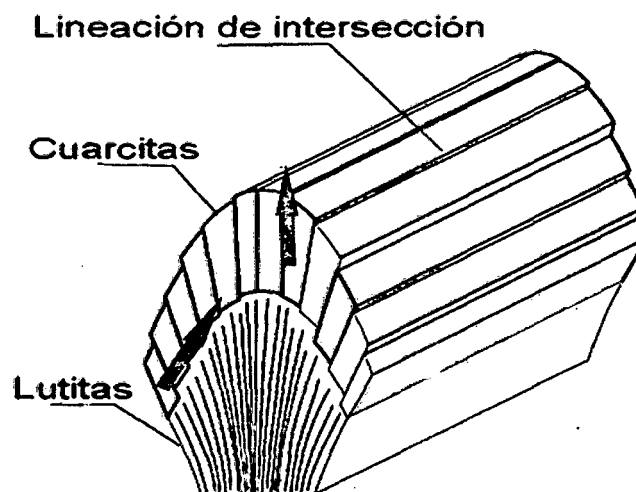


Figura 53. Plegamiento de estructuras geológicas, generando grietas propicias tanto para recarga como para la surgencia de aguas subterráneas.

Fuente: INGEMMET, 2007.

Cuadro 19. Clasificación Hidrogeológica de las rocas, Cajamarca.

Formación	Descripción de la unidad geológica / espesor	Clasificación hidrogeológica
Chimú (Ki-chi)	En la parte inferior secuencia de areniscas, cuarcitas y lutitas, en la parte superior gruesos bancos de cuarcitas blancas / 600 m	Acuífero en rocas fracturadas (caudal mediano)
Santa (Ki-sa)	Secuencias de lutitas, calizas margosas y areniscas gris oscuras / 100-150 m	Acuitardo (caudal pequeño)
Carhuaz (Ki-ca)	Secuencias de areniscas rojas y verdosas y lutitas grises / 500 m	Acuitardo (caudal pequeño)
Farrat (Ki-f)	Cuarcitas y areniscas blancas de grano medio a grueso / 500 m	Acuífero en rocas fracturadas (caudal pequeño)
Inca (Ki-in)	Areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas y estratos de cuarcitas / máx. 100 m	Acuitardo (caudal pequeño)
Chúlec (Ki-chu)	Calizas arenosas fosilíferas, lutitas calcáreas y margas marrón beige / 200-250 m	Acuitardo (caudal pequeño)
Pariatambo (Ki-pa)	Lutitas con calizas negras bituminosas de estratificación delgada, en algunos sitios con nódulos de chert y dolomita / 150-200 m	Acuitardo (caudal pequeño)
Grupo Pulficana Formación Yumagual (Ks-yu)	Secuencia de margas y calizas grises con intercalaciones fosilíferas locales y nódulos de caliza / 700 m	Acuitardo (caudal pequeño)
Quilquiñan (Ks-qm) y Majarrun (Ks-gm)	Calizas nodulares masivas con intercalaciones de margas y lutitas amarillas. Sobre ellas secuencias de calizas nodulares y margas en capas delgadas, y en la parte superior bancos de calizas claras con lutitas y margas con abundantes fósiles / 500 m	Acuitardo (caudal pequeño)
Cajamarca (Ks-ca)	Masivas calizas gris a azulinas con intercalaciones finas de lutitas y margas del mismo color. Crean bancos de morfología acentuada y flancos con fenómenos kársticos / 600-700 m	Acuífero en rocas fracturadas y cársticas (no ha sido estudiado)
Celendín (Ks-ce)	Secuencias de lutitas, margas e intercalaciones finas de calizas claras / 200 m	Acuitardo (caudal pequeño)
Formace Chota (Ks-cho)	Conglomerados calcáreos grises en el oeste, areniscas rojas y arenas tobáceas en el este / 300 m areniscas, en el este areniscas tobáceas / 300 m	?

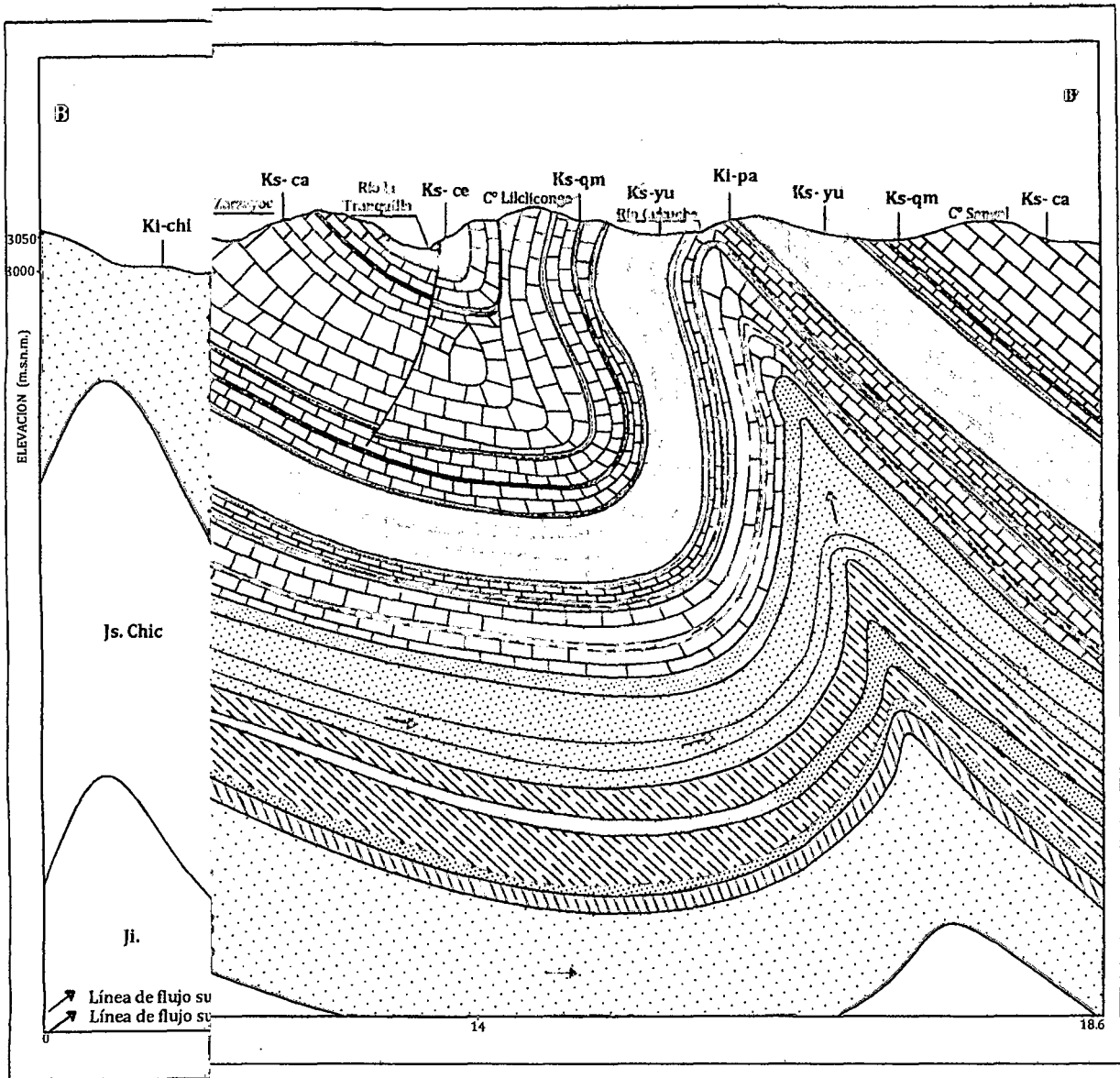
Fuente: INGEMMET, 2007.

3.8.3.2 Modelo hidrogeológico conceptual - microcuenca Puyllucana y alrededores

En el extremo SW de la microcuenca Puyllucana encontramos el acuífero de la formación farrat (clasificación hidrogeológica de las rocas-INGEMMET, 2007) que se encuentra en el flanco derecho (según dirección de corte geológico, Fig. 60) del anticlinal Baños del Inca, éste acuífero que denominaremos **acuífero principal**, se ubica en el cerro Coñorpunta y se compone de areniscas de grano fino a medio en estratos que van aumentando de potencia del piso hacia el techo, se encuentran muy fracturadas teniendo la denominación de acuífero fisurado con una permeabilidad (K) de 10 a 15 m/día (estudios de INGEMMET), lo que permite una buena infiltración descendiendo hasta el límite inferior del acuífero y volviendo muy posiblemente a ascender por las fisuras en profundidad de los acuitardos cretácicos suprayacentes al acuífero Farrat como son los acuitardos de las Formaciones: Inca, Chúlec, Pariatambo, Quilquiñan-Mujarrún, acuífero Cajamarca y acuitardo Celendín, éstas últimas presentan una falla inversa la cual permite un mejor ascenso de las aguas subterráneas. Dichas fisuras son originadas debido al plegamiento en los ejes del sinclinal de Otuzo y el anticlinal de Luichupucro.

Sub-superficialmente, el acuífero principal (acuífero farrat) debido a su gran fracturación sería el mayor aportante de aguas meteóricas y subterráneas hacia la microcuenca Puyllucana, seguido del acuitardo de la formación Yumagual que denominaremos **acuitardo principal**, se ubica casi en la parte central de la microcuenca Puyllucana y está conformado por margas y calizas gris parduzcas con abundancia de fósiles y presentando fracturación en menor proporción que el acuífero principal pero considerable para el paso de aguas.

En el extremo NE de la microcuenca Puyllucana encontramos una parte del acuífero de la Formación Cajamarca (clasificación hidrogeológica de las rocas-INGEMMET, 2007) que denominaremos **acuífero secundario**, ubicándose en el cerro Tuyoloma y se compone de calizas gris oscuras a azuladas con delgadas intercalaciones de lutitas y margas, siendo las calizas poco fracturadas y presentando fenómenos kársticos.



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica	
	Tesis: Caracterización Hidromorfológica de la Microcuenca Puyllucana -Baños del Inca-Cajamarca, Mediante la aplicación ArcGIS	
	Plano: CORTE GEOLÓGICO DIST. CAJAMARCA - DIST. LA ENCAÑADA	
	Tesista: Bach. José Luis Alcántara Membrillo	
	Asesor: Ing. Alejandro C. Lagos Manrique	
Fecha: Julio 2015		C - 1
Escala: Referencial		

3.9 DELIMITACIÓN SEMI-AUTOMÁTICA DE LA MICROCUENCA HIDROGRÁFICA PUYLLUCANA MEDIANTE EL SOFTWARE ARGIS.

3.9.1 Obtención de un DEM

Se puede obtener un DEM (Digital Elevation Model) a partir de un TIN (Triangle Irregular Network) creado por medio de curvas de nivel o descargar un DEM online desde ASTER GDEM.

ASTER GDEM Versión 2, lanzado en Octubre, 2011:

Link de descarga: <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/index.jsp>



Figura 54. ASTER GDEM v2 del Cpp. Puylucana, Baños del Inca, Cajamarca.

Fuente: ASTER GDEM v2.

3.9.2 Definir proyección

Antes de insertar en archivo ASTER GDEM v2. al ArcGIS, es necesario definir en el software el Sistema de Coordenadas a trabajar que de preferencia y por versatilidad se sugiere que sea en el WGS84 y la zona que en este caso se ubica en la zona 17 sur.

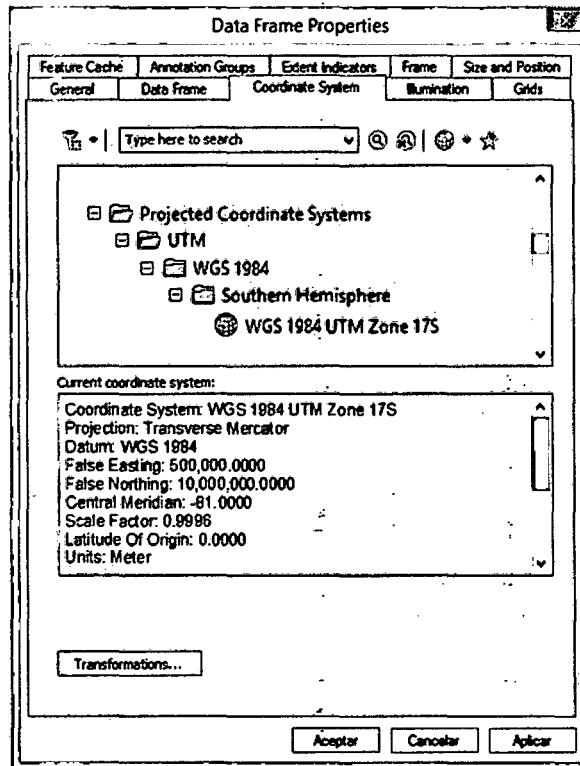


Figura 55. Configuración de Sistema de Coordenadas WGS84 Zona 17S en propiedades del Data Frame.

Fuente: ArcGIS v10.2.

3.9.3 Fill (relleno)

El primer paso es eliminar todas las posibles imperfecciones (como sumideros) del MDE, ya que a veces hay celdas vacías en la superficie del ráster, aplicando para ello la herramienta *Fill* cuya función es analizar toda la información del MDE y readecuar aquellos obstáculos que se presenten para la correcta dirección de la red de drenaje que tiene nuestra área de estudio.

ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Fill

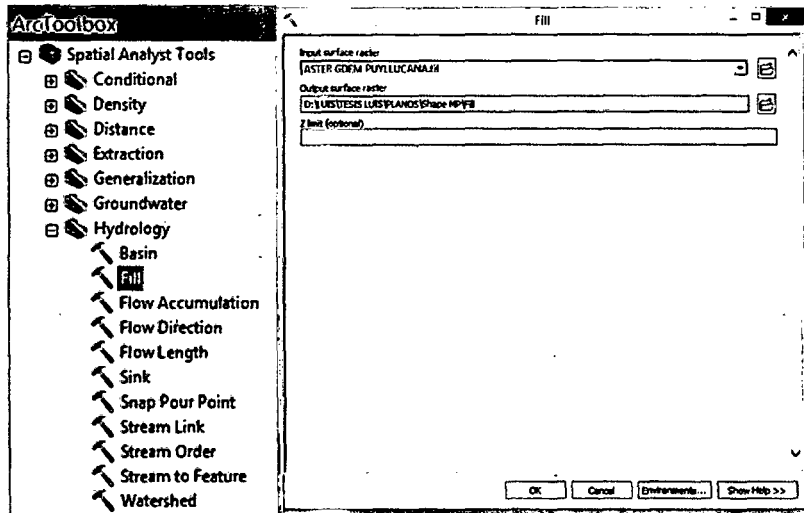


Figura 56. Ubicación del comando *Fill* en ArcToolbox de ArcGIS

Fuente: ArcGIS v10.2.

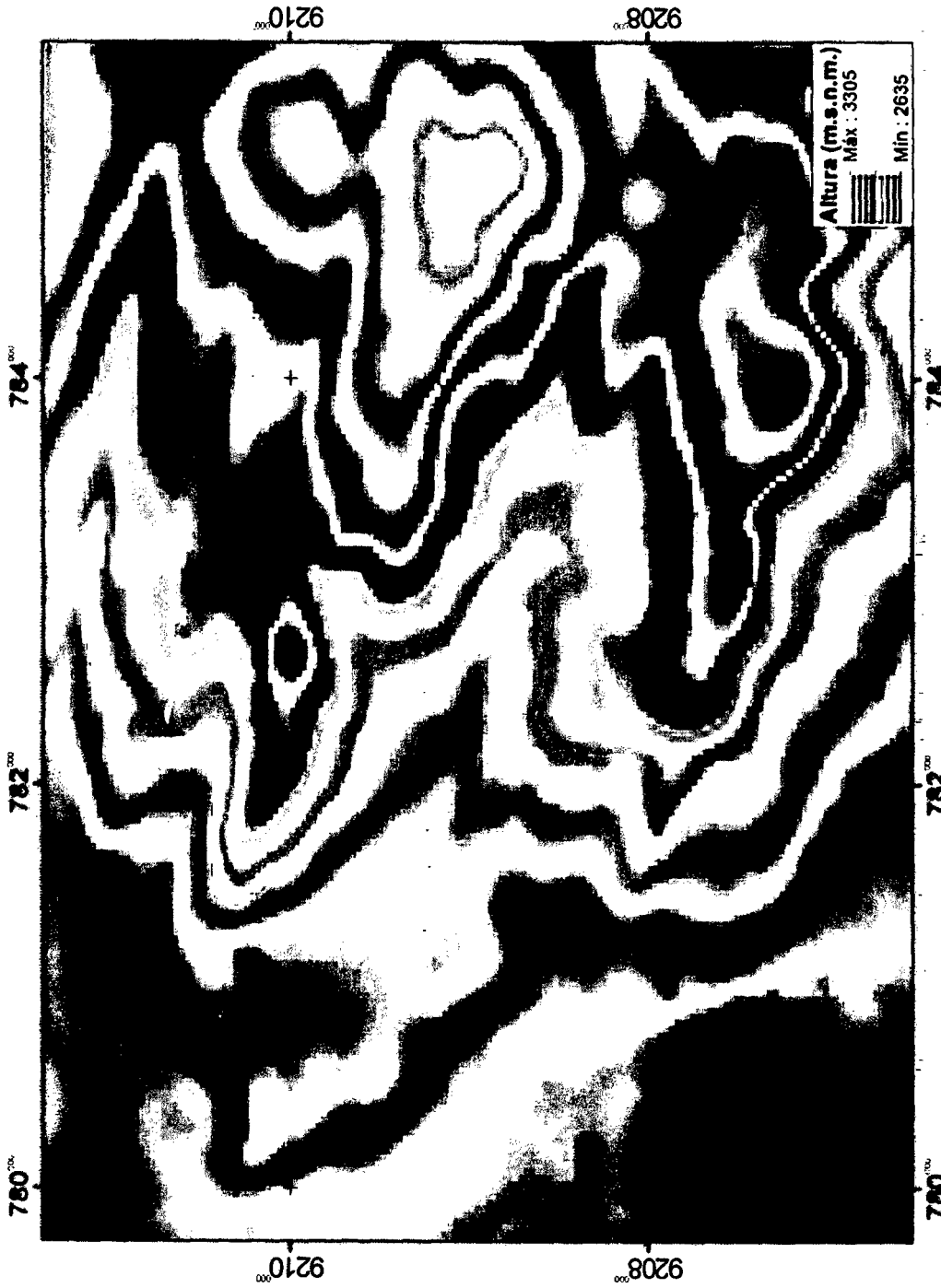


Figura 57. Modelo DEM, corrección de imperfecciones.

Fuente: ASTER GDEM v2.

3.9.4 Flow Direction (dirección de flujo)

Seguidamente hay que definir la dirección de la red hídrica, para ello generamos un ráster que contendrá la dirección de flujos en cada una de sus celdas. (Se utiliza la capa generada con Fill).

La dirección del flujo está determinada por la dirección más empinada de descendencia de cada celda o pixel. Se calcula como:

$$\text{Máxima caída} = \frac{\text{cambio de valor de } Z}{\text{distancia}} * 100$$

La distancia se calcula entre los centros de las celdas. El valor de salida de la dirección del flujo es un número entero (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128). Los valores para cada dirección del centro son los siguientes:

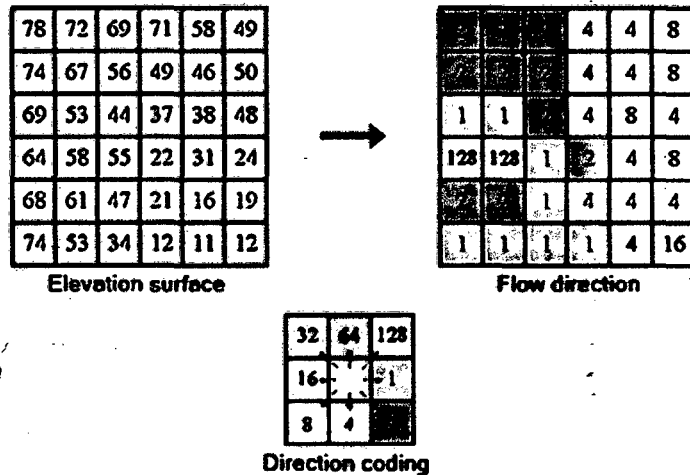


Figura 58. Modelo D8, para determinar dirección de flujo.

Fuente: Greenlee, 1987

Hay ocho direcciones de salida válidas relativas a las ocho celdas adyacentes en las que el flujo podría viajar. Este enfoque se denomina comúnmente como un (D8) modelo de flujo de ocho dirección y sigue un enfoque presentado en Jensen y Domingue (1988).

ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Flow Direction

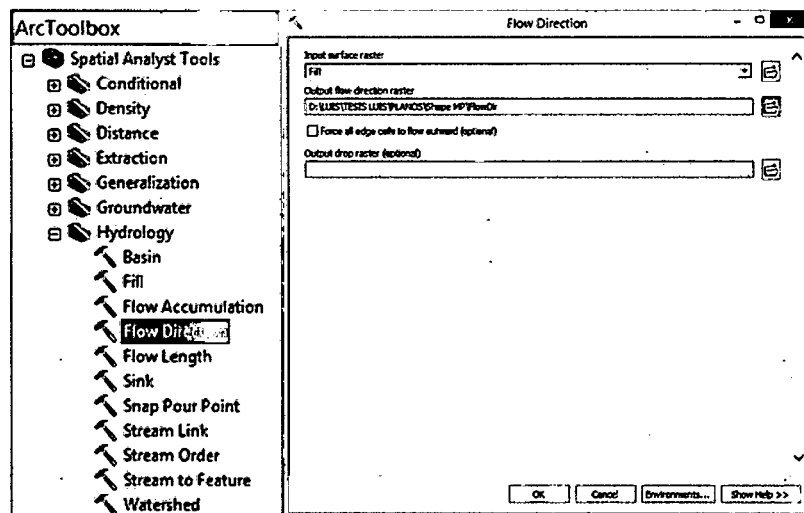


Figura 59. Ubicación del comando *Flow Direction* en ArcToolbox de ArcGIS.

Fuente: ArcGIS v.10.2

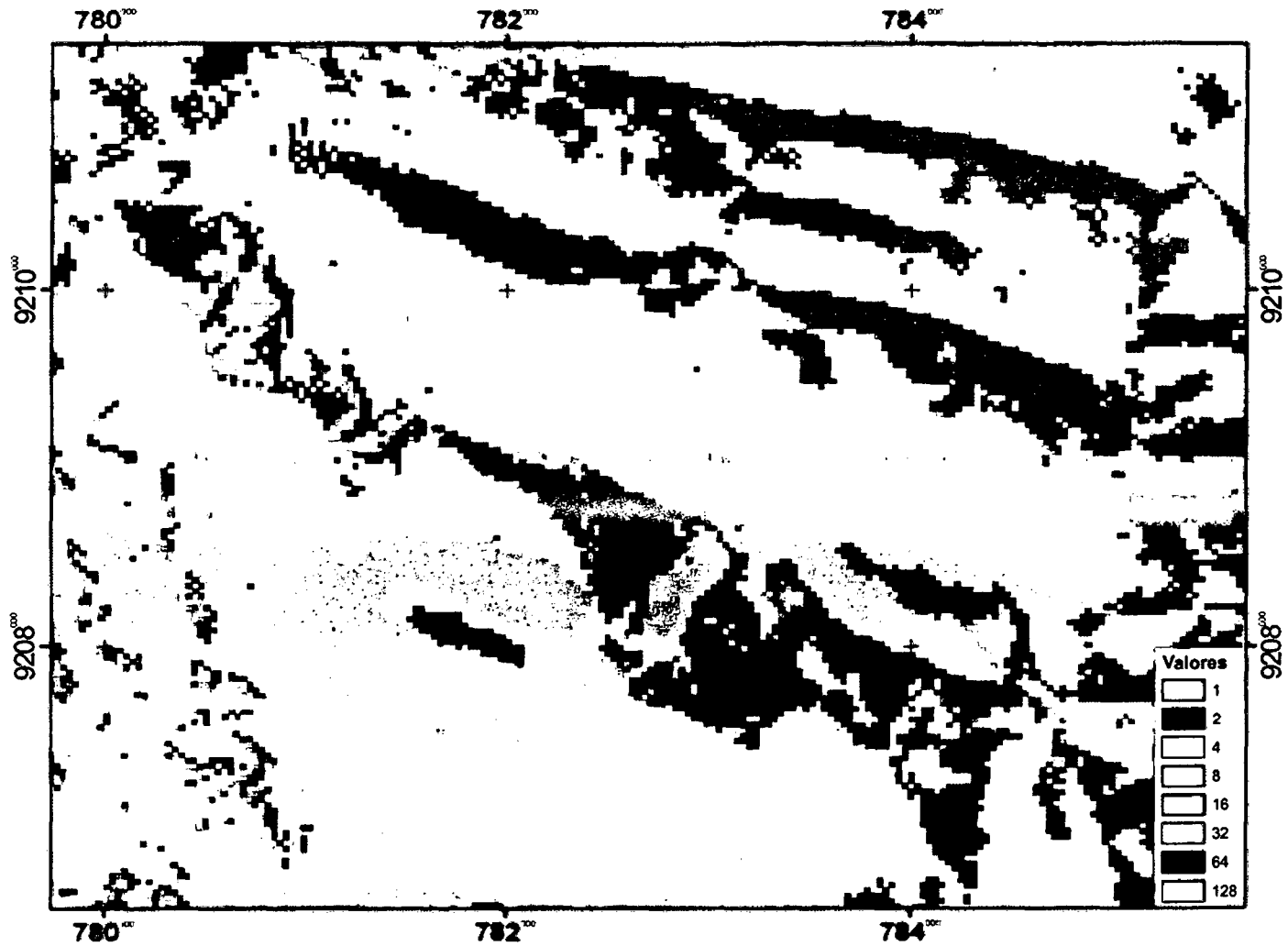


Figura 60. Modelo DEM mostrando direcciones de flujo.

Fuente: ASTER GDEM v2.

3.9.5 Flow Accumulation (acumulación de flujo)

Crea un raster de acumulación de flujo en cada celda, determinando el número de celdas aguas arriba que vierten sobre cada una de las celdas aguas abajo de ella, descendiendo sobre la pendiente. (se utiliza la capa generada con Flow Direction y opcionalmente un "ráster de peso" como corrección en el casillero: Input weight raster).

- Las celdas de salida con una acumulación de flujo alta son áreas de flujo concentrado y se pueden utilizar para identificar canales de arroyo.
- Las celdas de salida con una acumulación de flujo de cero son alturas topográficas locales y se pueden utilizar para identificar crestas.

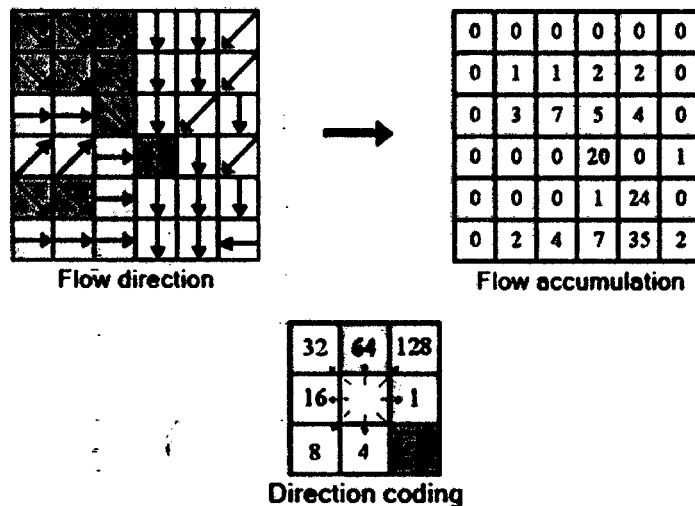


Figura 61. Modelo para determinar acumulación de flujo.

Fuente: Greenlee, 1987

Si se requiere visualizar mejor la red de drenaje, es necesario cambiar el tipo de visualización de Percent Clip (predeterminado) a *Standard Deviations* en la pestaña Symbology de las propiedades del layer "Flow_acc".

*. **El Weight Raster**, representa la escorrentía por cada celda. La podemos obtener digitalizando (formato shape) en ArcGIS y con un Basemap Imagery online (mapa base de imagen en línea) toda la escorrentía ya que la imagen satelital integrada en el AcGIS es de alta resolución. Teniendo en cuenta una previa inspección insitu y posterior conversión en formato Raster.

ArcToolbox > Conversion Tools > To Raster > Polyline to Raster

ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Flow Accumulation

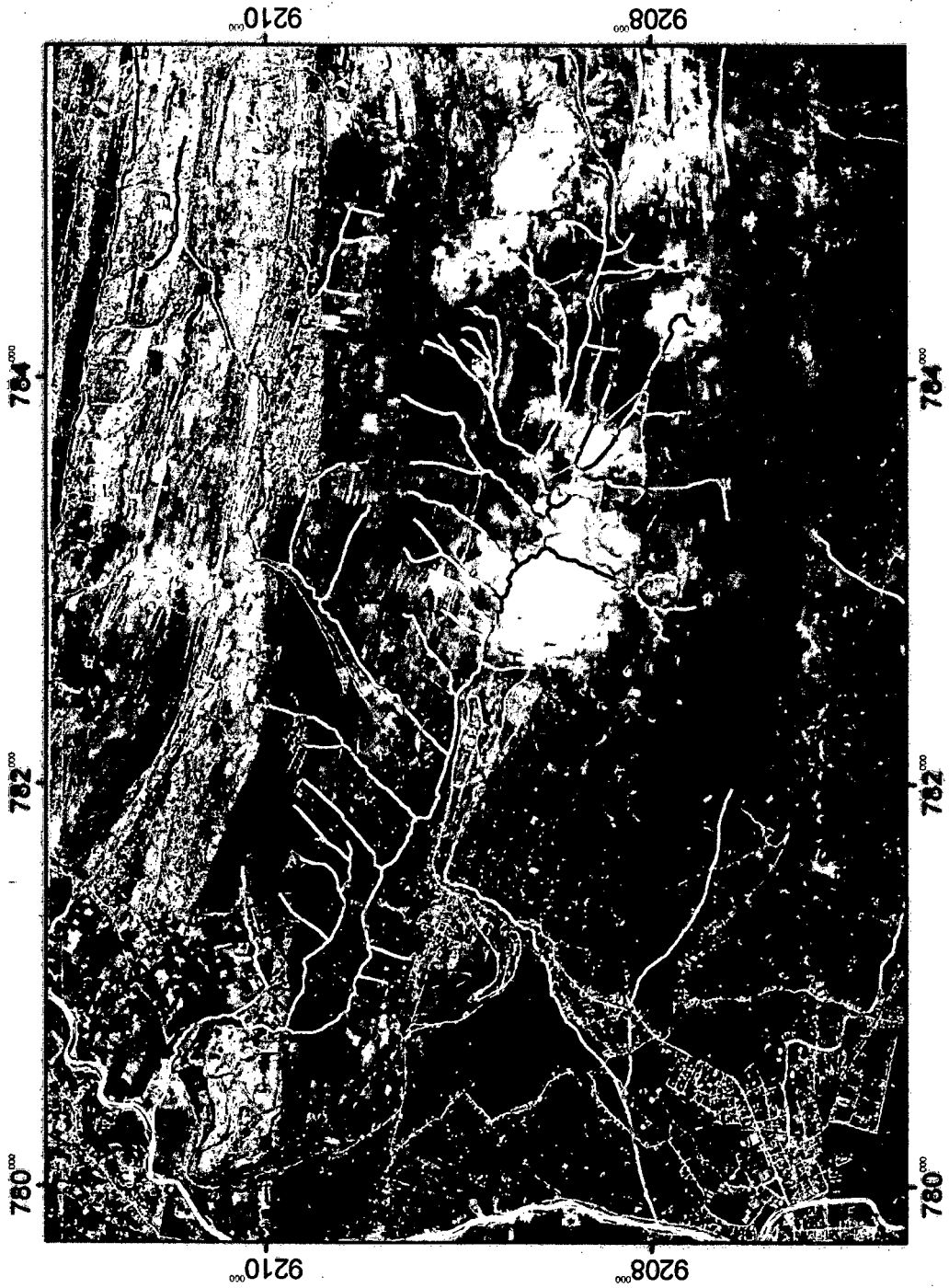


Figura 62. Digitalización de escorrentía sobre imagen satelital.

Fuente: ArcGIS v10.2

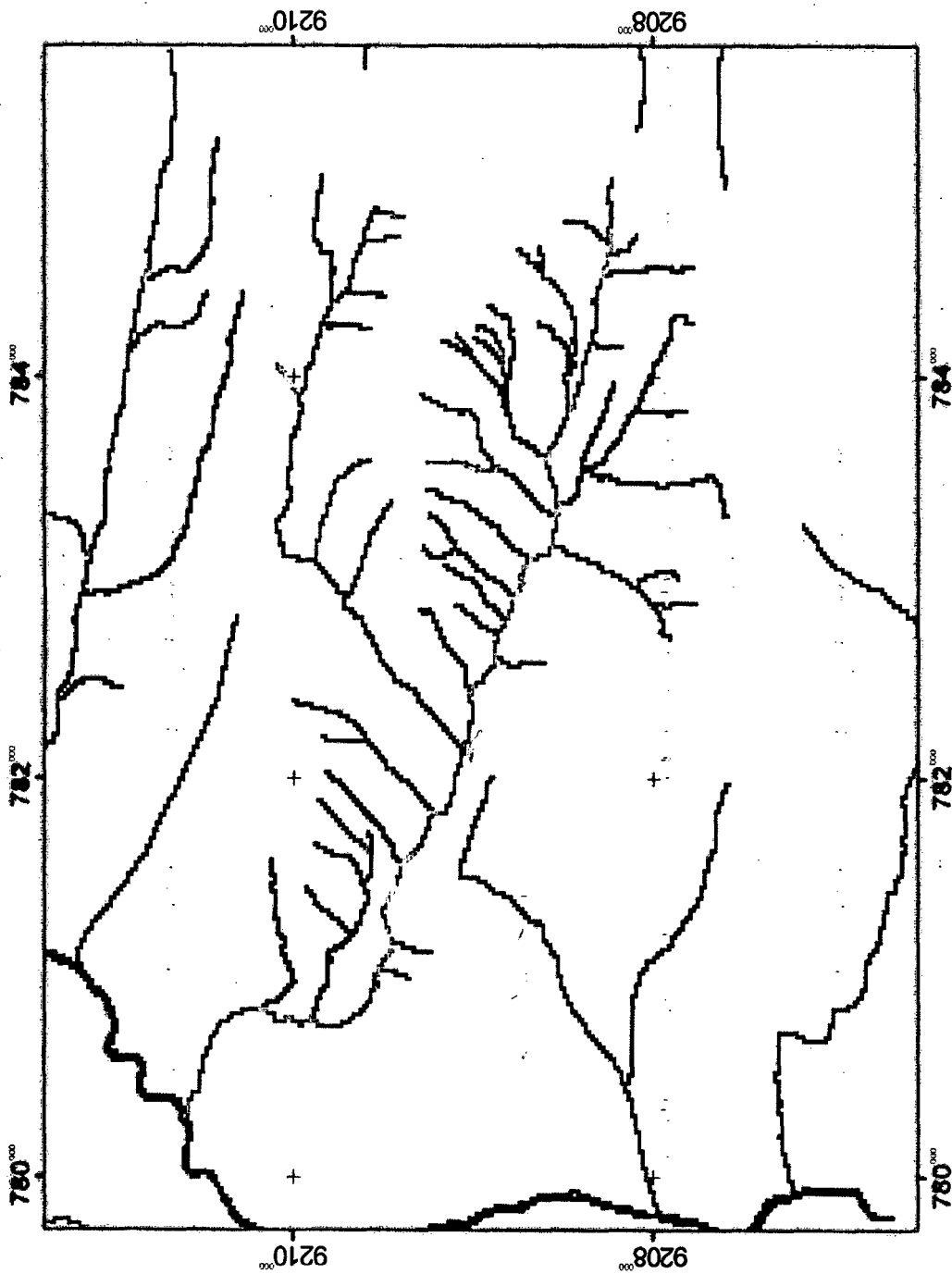


Figura 63. Conversión de la escorrentía en formato ráster (Weight Raster)

Fuente: ArcGIS v10.2

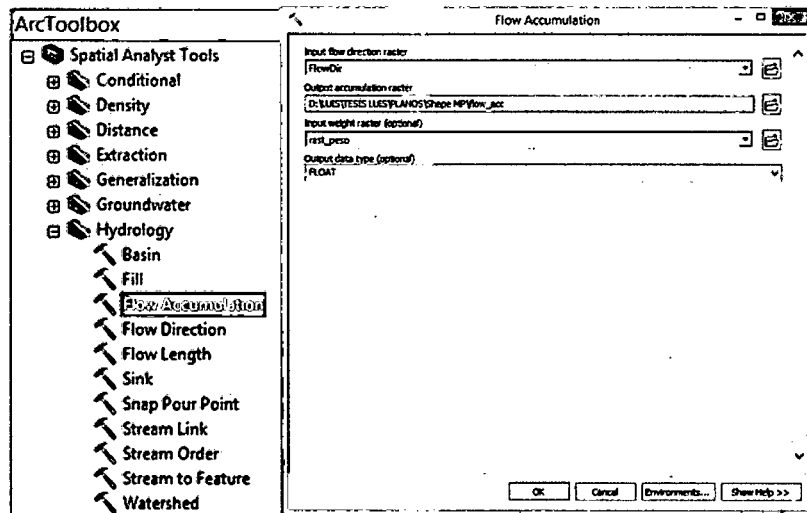


Figura 64. Ubicación del comando *Flow Accumulation* en ArcToolbox de ArcGIS

Fuente: Imágenes capturadas del software ArcGIS.

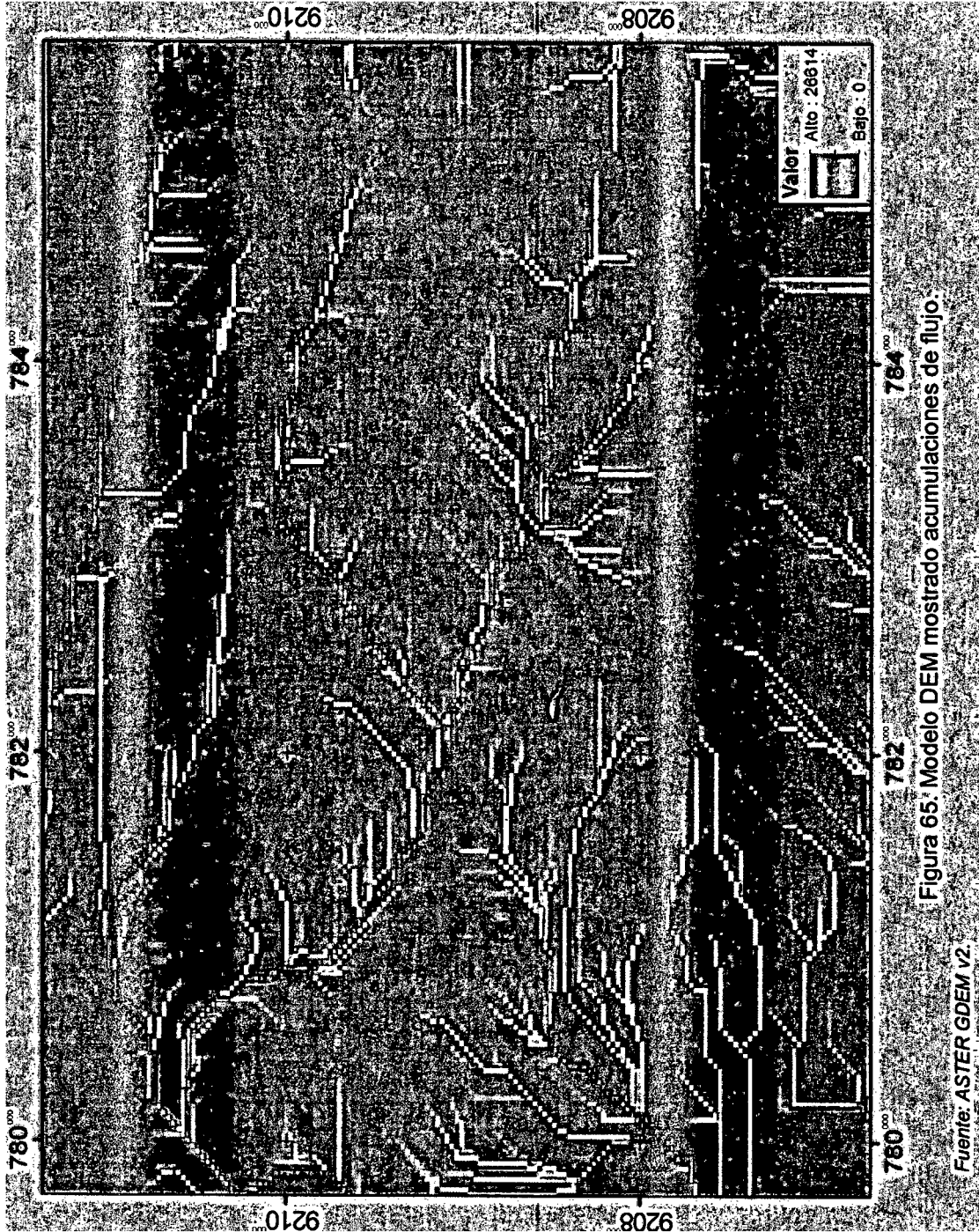


Figura 65. Modelo DEM mostrado acumulaciones de flujo.

Fuente: ASTER GDEM v2.

3.9.6 Pour Point (punto de fluidez)

El Pour Point, punto de fluidez o punto de desfogue, es un punto (*.shp) ubicado en el cauce principal de la zona baja de la cuenca donde toda la escorrentía desemboca hacia un cauce mayor o el mar.

- i. Crear un shape tipo punto en el mismo sistema de coordenadas en la que se está trabajando (WGS84 zona 17S).

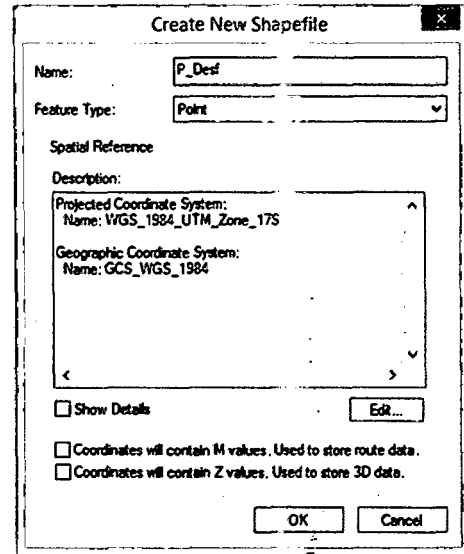


Figura 66. Creación shape tipo punto en ArcGIS.

Fuente: ArcGIS v.10.2

- ii. Luego interpolarlo con el DEM para obtener sus coordenadas en tres dimensiones.

ArcToolbox > 3D Analyst
Tools > Functional Surface >
Interpolate Shape

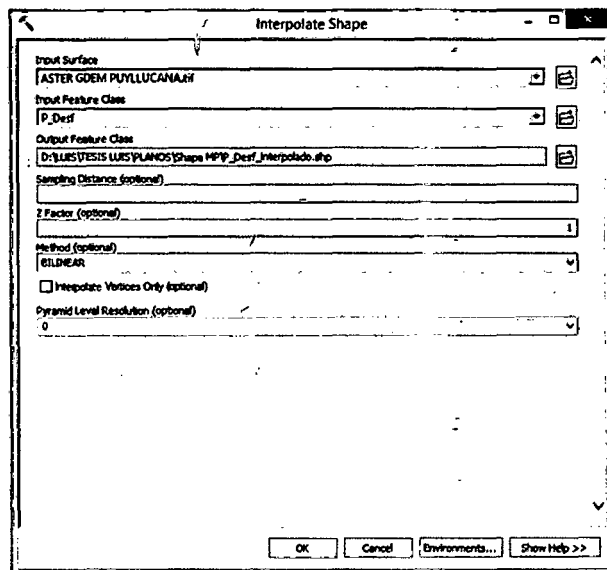


Figura 67. Interpolación del shape tipo punto con el DEM.

Fuente: ArcGIS v.10.2

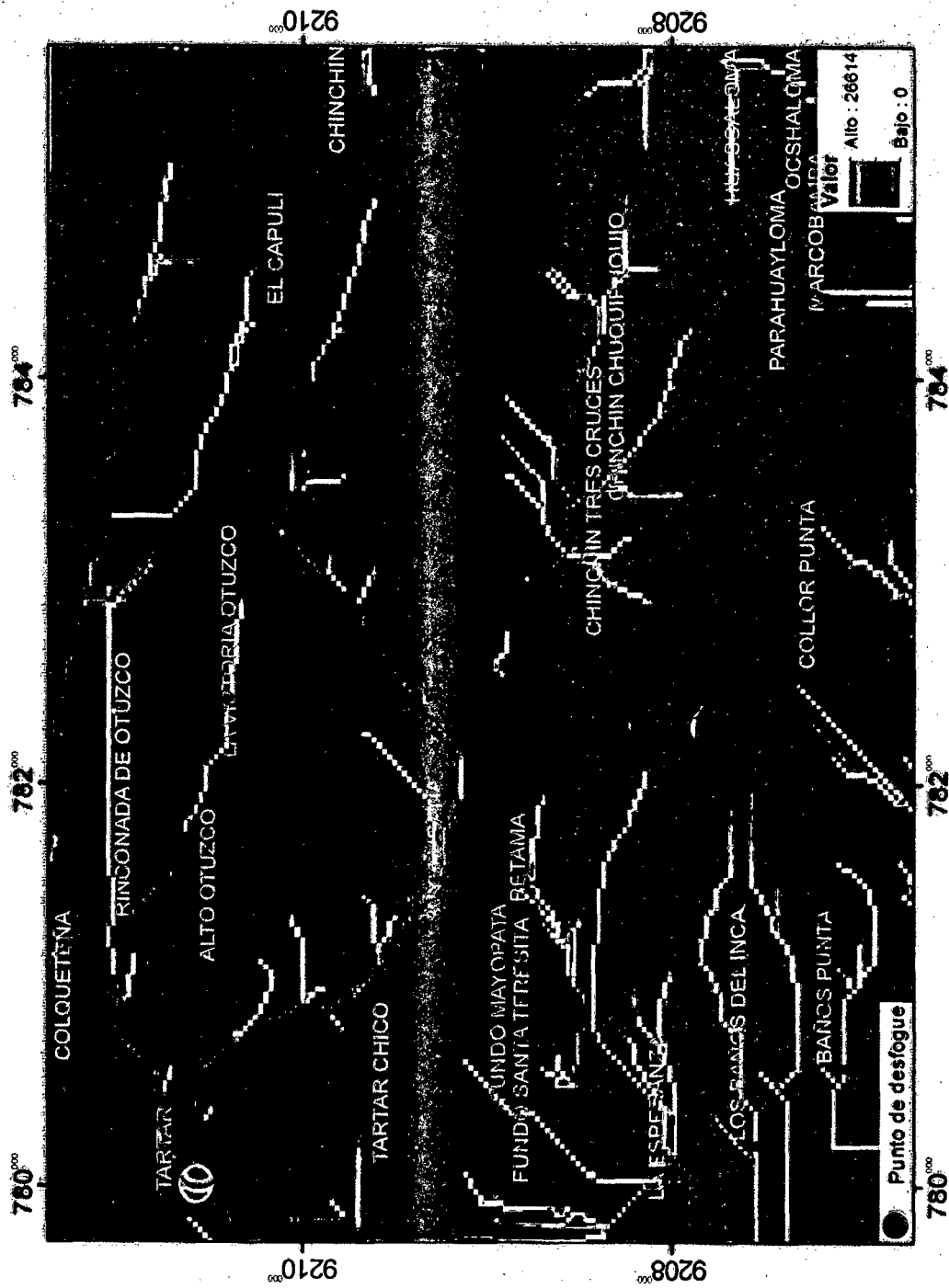


Figura 68. Ubicación del punto de desfogue del río Puyllucana (punto verde).

Fuente: ASTER GDEM v2.

3.9.7 Watershed (cuenca hidrográfica)

Determina el área de contribución por encima de un conjunto de celdas en una matriz. Un watershed es el área en el cual el agua que drena dentro de ella, se concentra en un colector común o principal. El límite entre dos cuencas se conoce como frontera de drenaje o *divortium aquarum* (divisoria de aguas). (se utiliza la capa generada con *Flow Direction* y el punto de desfogue interpolado).

ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Watershed

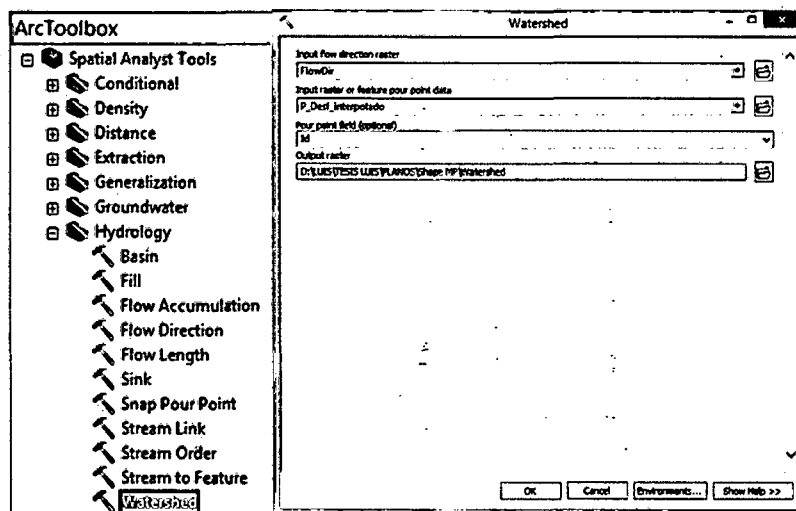


Figura 69. Ubicación del comando *Watershed* en ArcToolbox de ArcGIS

Fuente: ArcGIS v10.2.

Una vez generado el Watershed, debemos transformar este ráster a formato vectorial (shape). Para ello, utilizaremos la herramienta *Raster to Polygon*.

ArcToolbox > Conversion Tools > From Raster > Raster to Polygon

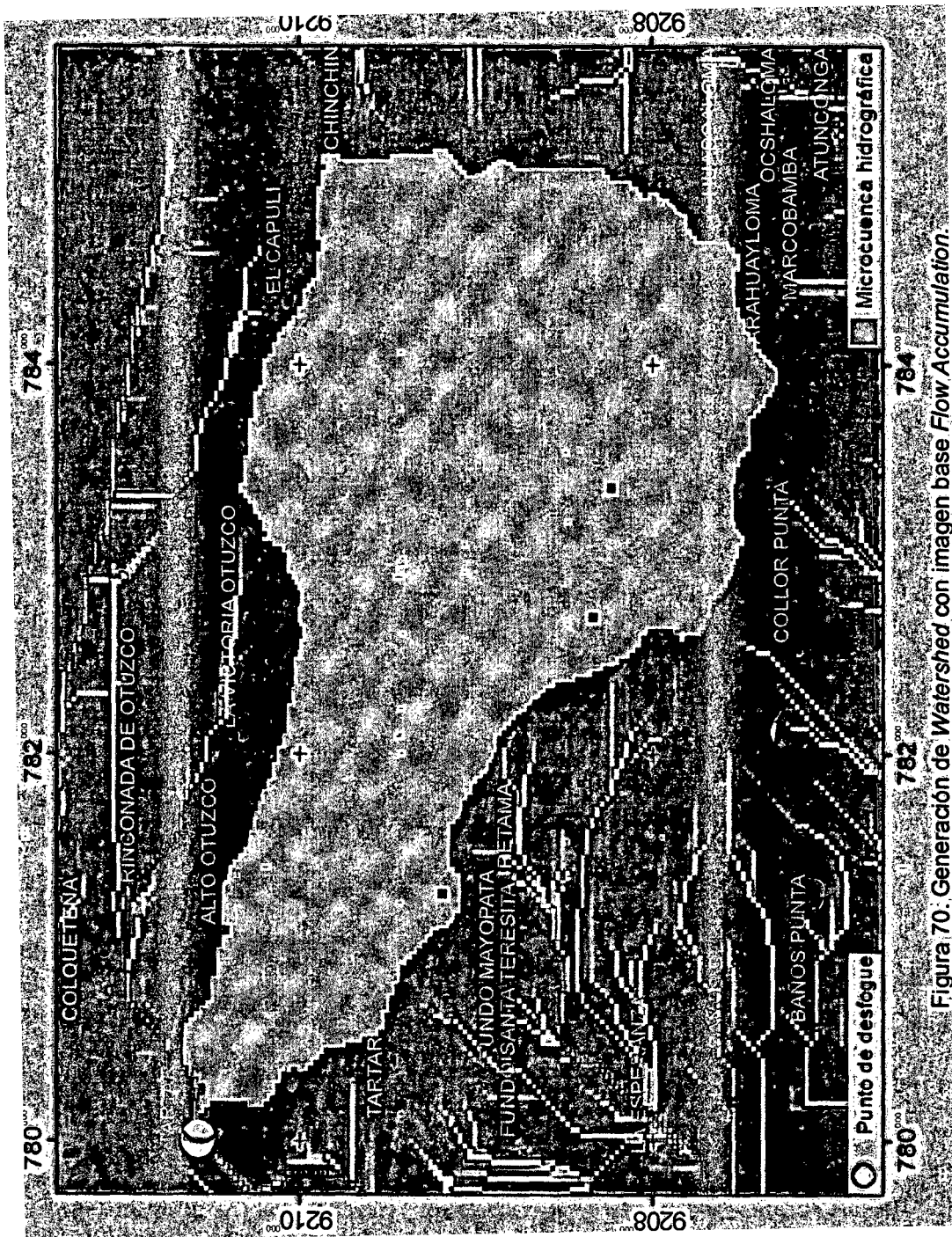


Figura 70: Generación de Watershed con imagen base Flow Accumulation.

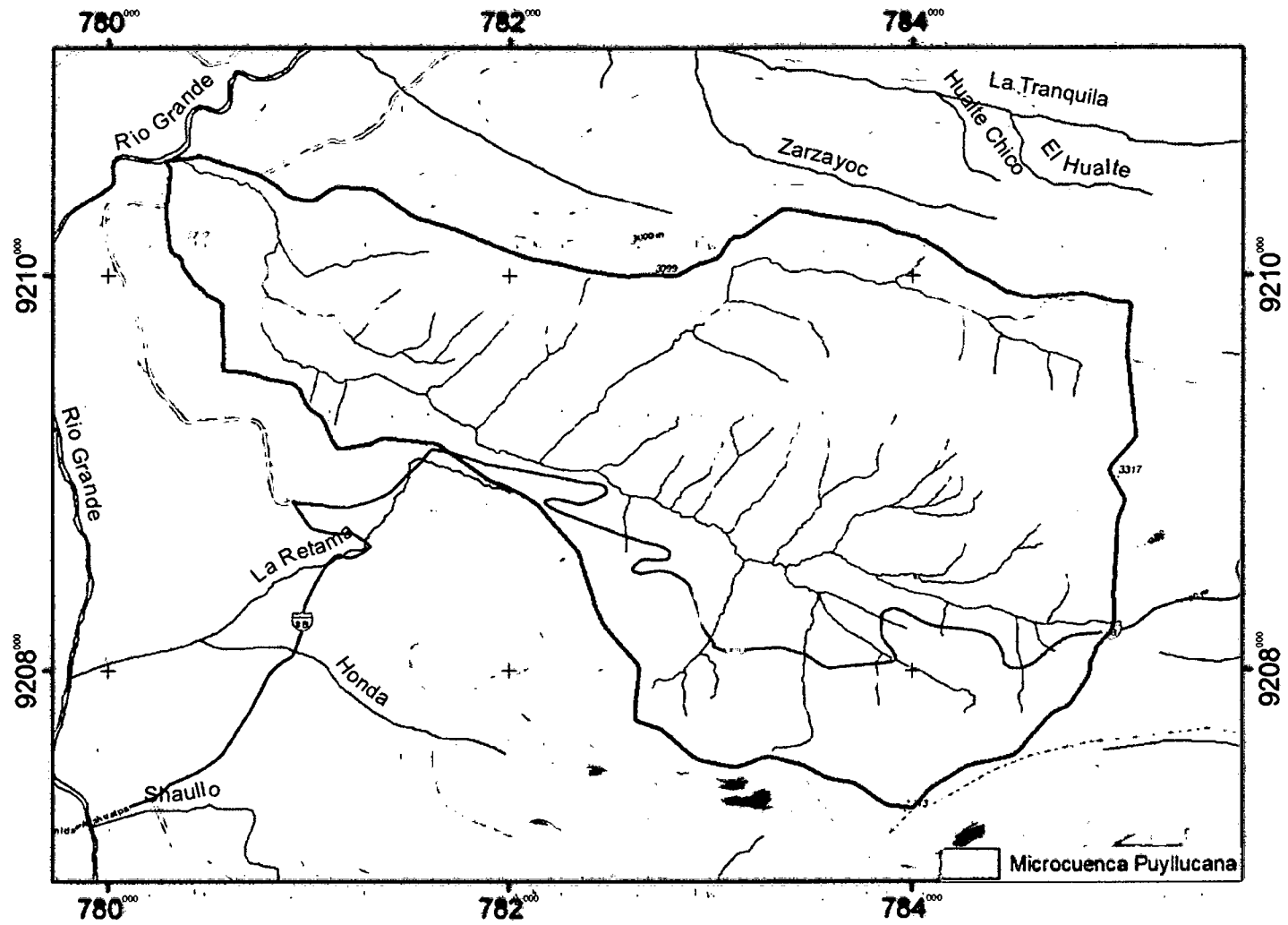


Figura 71. Delimitación Microcuenca Puyllucana con *mapa base* topográfico.

Fuente: ArcGIS v10.2

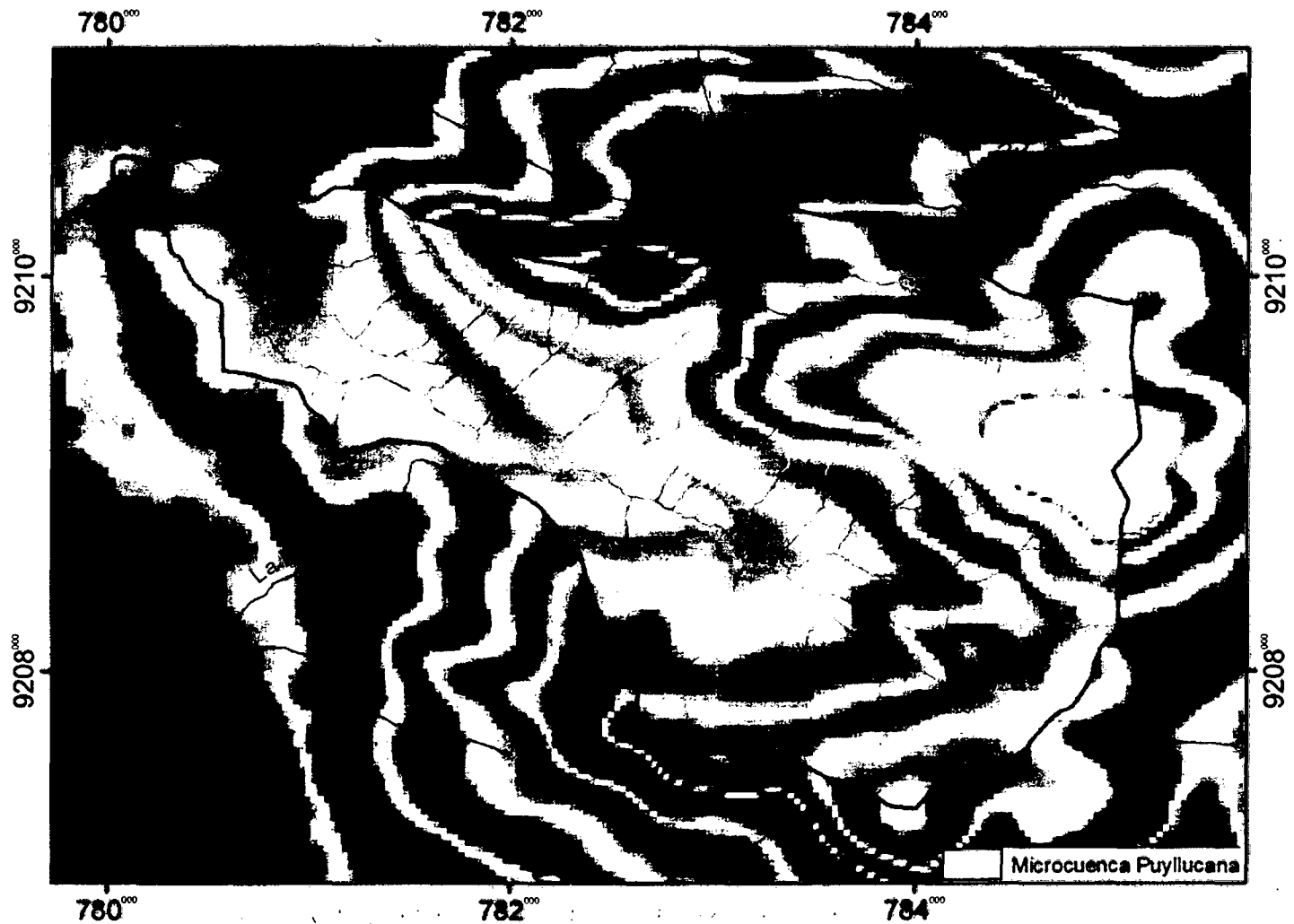
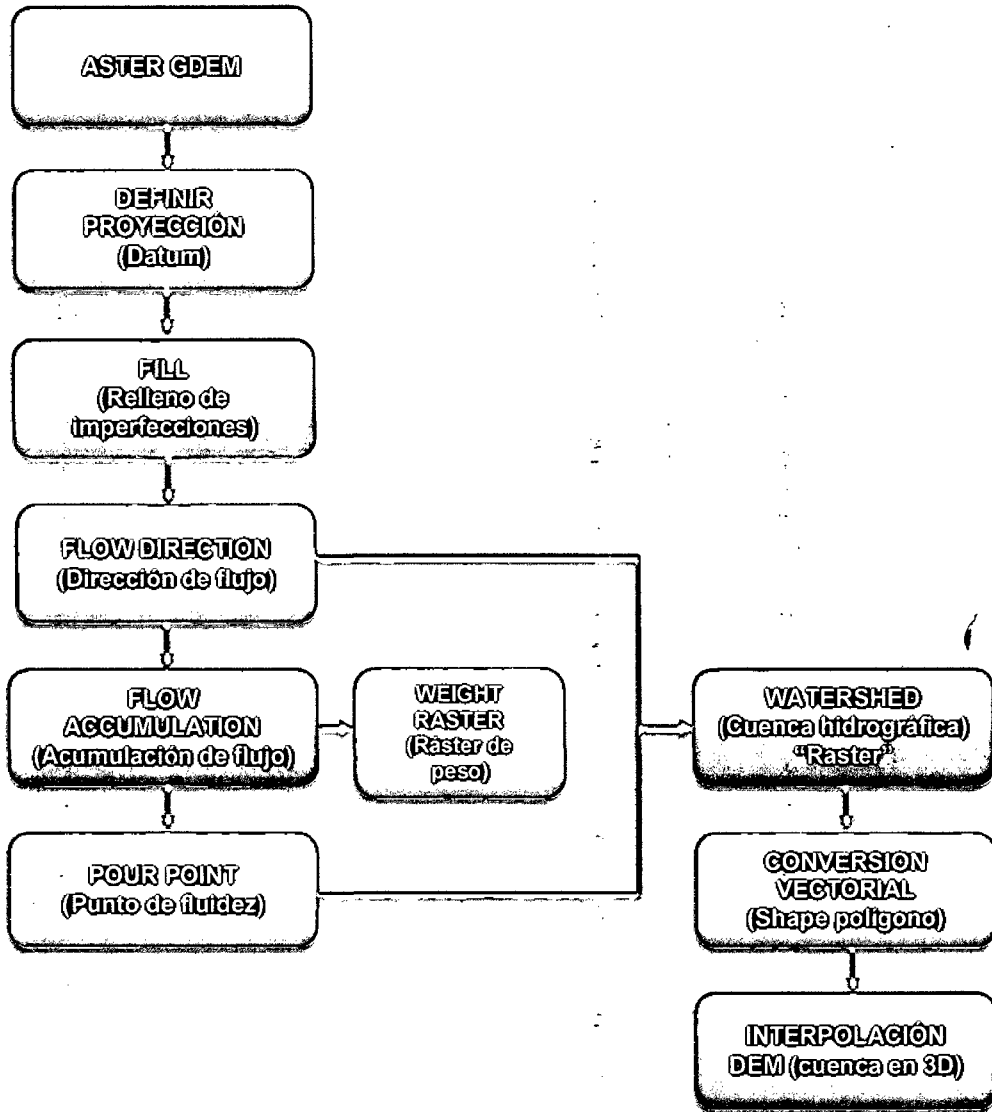


Figura 72. Microcuenca Puyllucana interpolado con el DEM.

Fuente: ASTER GDEM v2.

3.9.8 Diagrama de Flujo

PROPUESTA DE DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL PROCESO DE DELIMITACIÓN SEMIAUTOMÁTICA DE LA MICROCUENCA PUYLLUCANA



3.10 OBTENCIÓN DE PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LA MICROCUENCA HIDROGRÁFICA PUYLLUCANA EMPLEANDO ARGIS.

3.10.1 Descripción General

La microcuenca Puyllucana se localiza en el Ccpp. Puyllucana, Dist. Los Baños del Inca, Prov. y Dep. Cajamarca. Hidrológicamente pertenece a la sub cuenca Chonta, ésta a la cuenca Cajamarca, ésta a la cuenca del Crisnejas, ésta a la gran cuenca del Marañon y ésta a su vez a la Región Hidrográfica del Amazonas.

Cuadro 20. Datos generales de la microcuenca Puyllucana.

Nombre	Ubicación	Altura (msnm)		N° de cuadrícula	Punto de desfogue	
		Min.	Máx.		Este	Norte
Microcuenca Puyllucana	Dep. Cajamarca	2,687	3,305	15-g San Marcos	780277.90	9210586.34

3.10.2 Parámetros Generales

i. Área (A)

El polígono en formato shape generado anteriormente a partir del ráster (watershed), es un vector en forma planimétrica (2D), para tener un resultado mas real en el cálculo del área, es conveniente realizarlo en forma de relieve (3D) mediante la generación de una superficie TIN (Triangle Irregular Network).

MÉTODO:

- Extraer curvas de nivel del ASTER GDEM v2.
ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Raster Surface > Contour
- Crear TIN con las curvas de nivel.
ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Data Management > TIN > Create TIN
- Interpolan Shape de polígono (microcuenca Puyllucana) con en TIN.
ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Functional Surface > Interpolate Shape
- Cortar en TIN con el shape interpolado.
ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Data Management > TIN > Edit TIN
- Calcular el volumen del TIN (brinda datos de: área 2D, área 3D y volúmen).
ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Functional Surface > Surface Volume

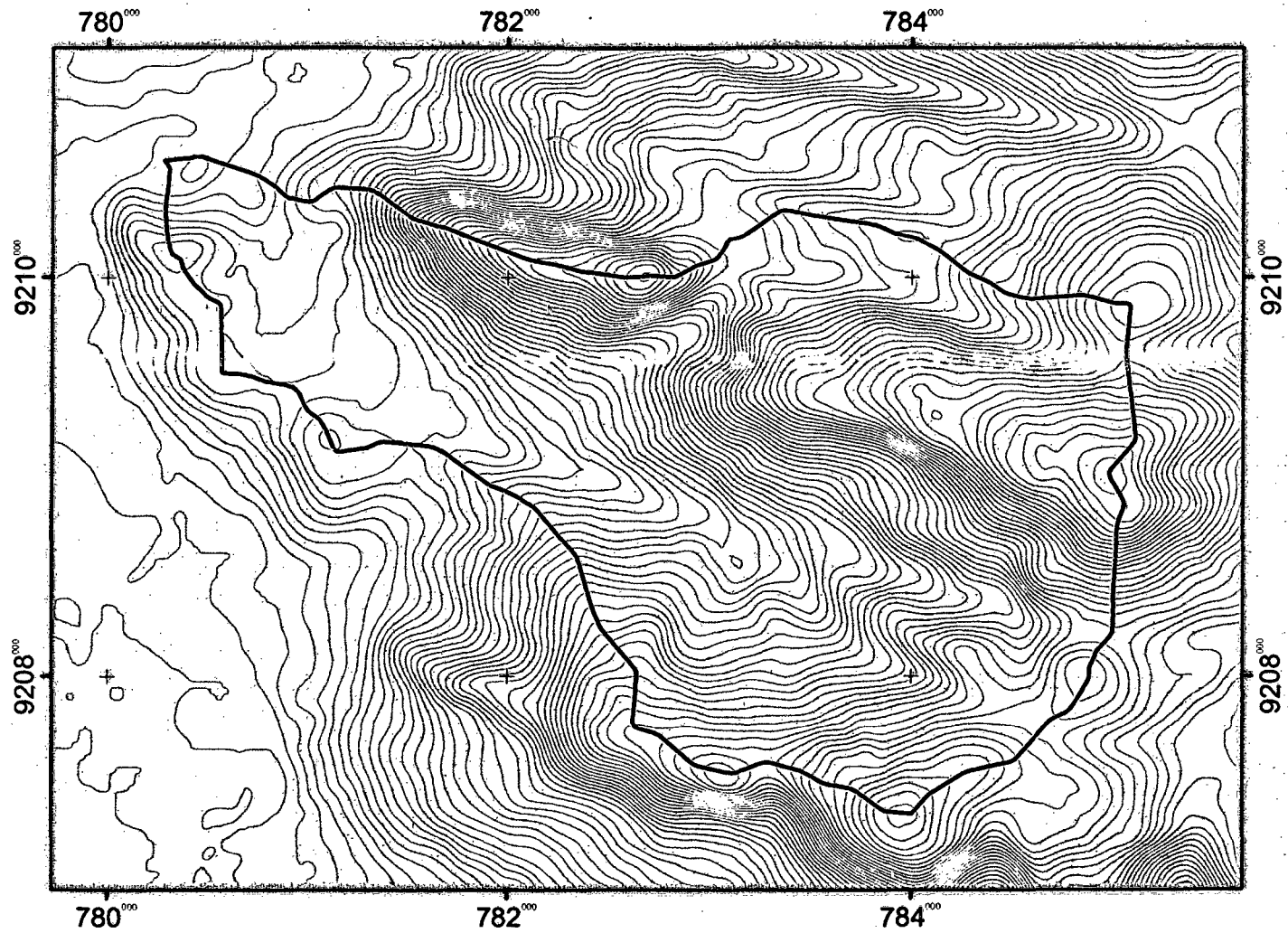


Figura 73. Extracción curvas de nivel del ASTER GDEM v2

Fuente: ASTER GDEM v2.



Figura 74. Creación de TIN e interpolación del shape de la microcuenca.

Fuente: ASTER GDEM v2.

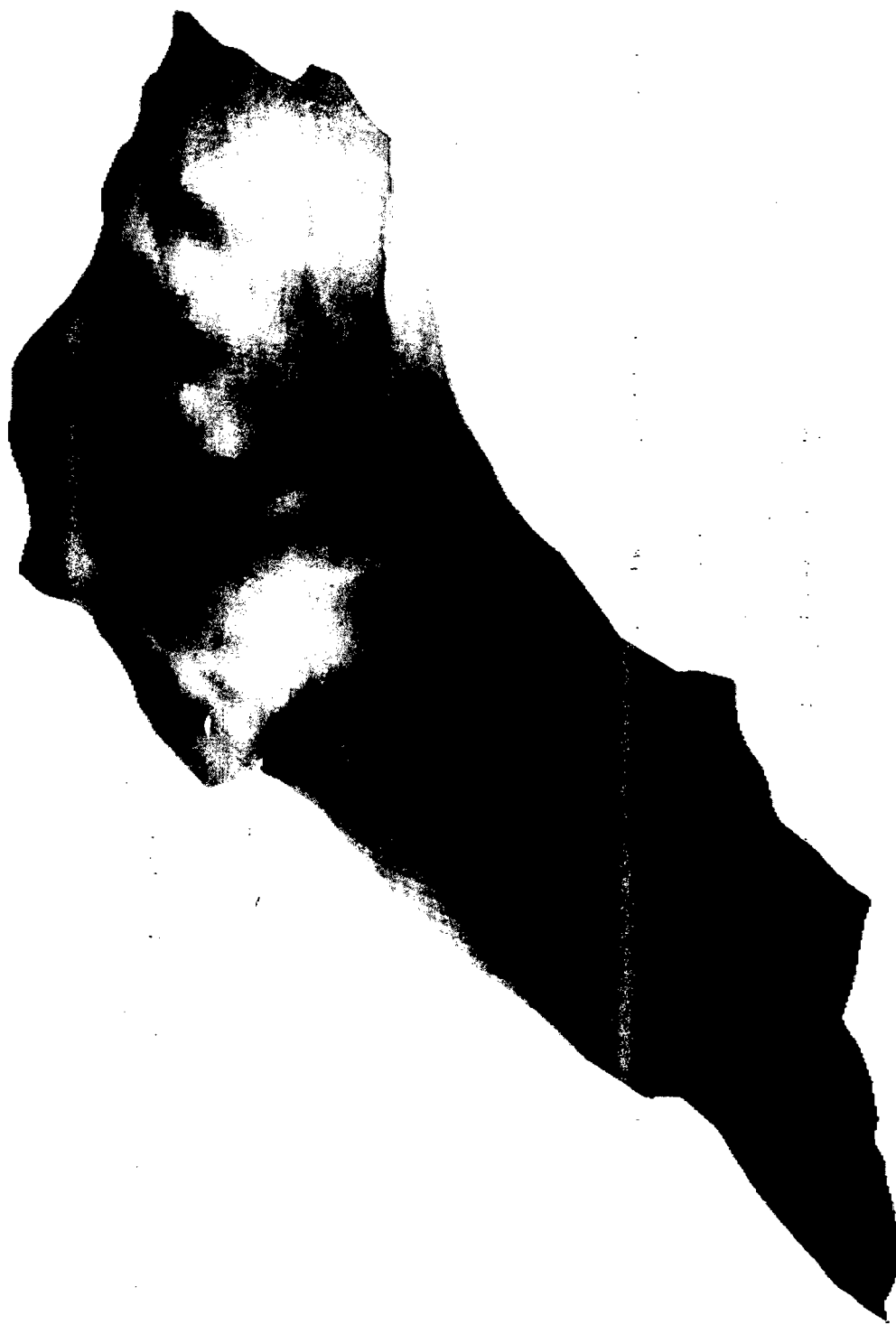


Figura 75. TIN cortado con shape interpolado de la microcuencia.

Fuente: ASTER GDEM v2.

Z_Factor	Area_2D	Area_3D	Volume
1	8793158.204047	9155763.238591	2594850604.2653

Figura 76. Cálculo de volumen, área 2D y 3D de la microcuenca Puyllucana.

Fuente: ArcGIS v10.2.

Entonces, del proceso tenemos:

Cuadro 21. Área y volúmen - microcuenca Puyllucana.

	Unidad de área		Unidad de volúmen	
	m ²	km ²	m ³	km ³
Área 2D	8'793,158.20	8.79		
Área 3D	9'155,763.24	9.16		
Volúmen			2'594'850,604.27	2.59

Área de la Cuenca (A) = 9.16 km²

De acuerdo con autores como: Fautino (1996), Rocha y Kurtz (2001), Campos (1998) y conforme a la extensión del área; ésta recibe la denominación de microcuenca.

ii. **Perímetro (P)**

Éste parámetro se calcula a partir del shape interpolado "microcuenca Puyllucana" para así tener la opción de calcularlo en forma de relieve 3D.

MÉTODO:

- Abrir la tabla de atributos del shape interpolado microcuenca Puyllucana "Open Attribute table" crear un nuevo campo Perímetro y calcular la geometría "Calculate Geometry" escogiendo la propiedad **3D Perimeter**.

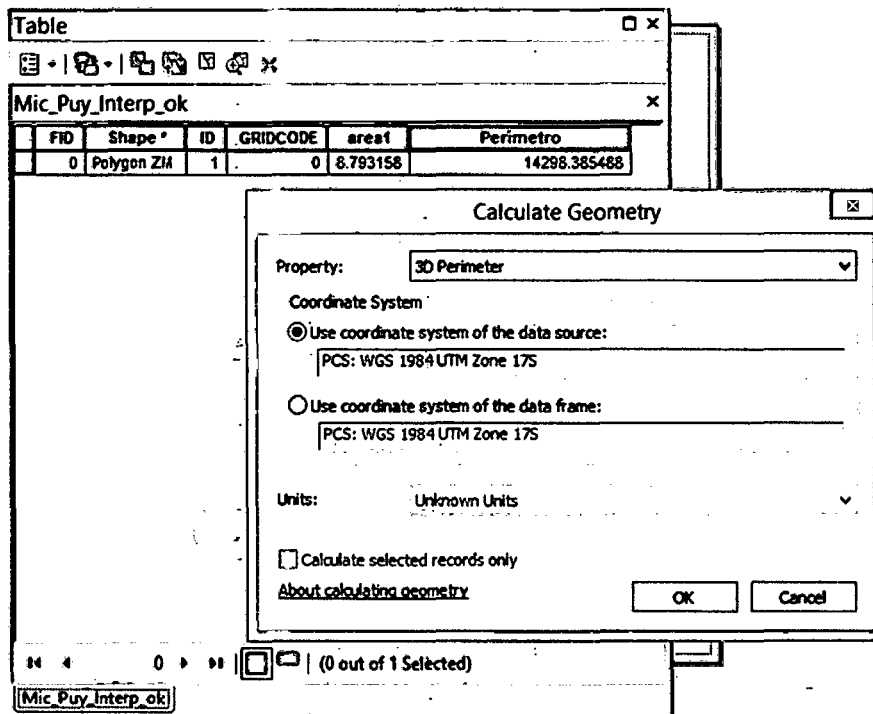


Figura 77. Cálculo del perímetro de cuenca "3D Perimeter".

Fuente: ArcGIS v10.2.

Entonces, del proceso tenemos:

Cuadro 22. Longitud del perímetro - microcuenca Puyllucana.

Unid. Longitud

	m	km
Perímetro 3D	14,298.39	14.30

Perímetro de la Cuenca (P) = 14.30 km

iii. Longitud de La Cuenca (L_b)

Se calcula mediante la interpolación de la línea recta con la superficie TIN, para de esta manera poder obtener una línea de longitud en relieve (3D).

MÉTODO:

- Interpolarse el shape de longitud de la cuenca con la superficie TIN.
ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Functional Surface > Interpolate Shape
- Abrir la tabla de atributos del shape interpolado "Open Attribute table" crear un nuevo campo "Longitud cuenca" y calcular la geometría "Calculate Geometry" escogiendo la propiedad 3D length.

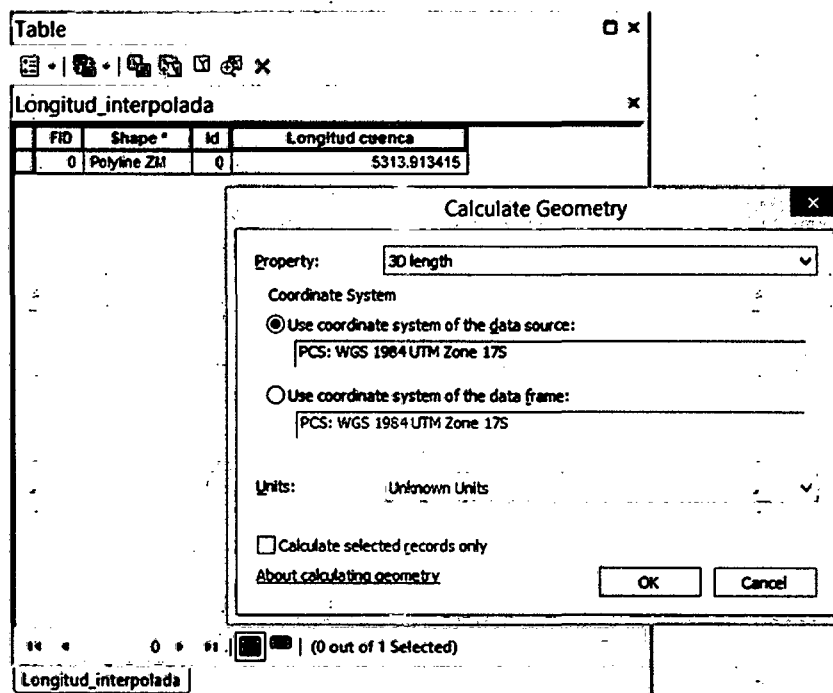


Figura 78. Cálculo de la longitud de cuenca "3D length".

Fuente: ArcGIS v10.2

Entonces, del proceso tenemos:

Cuadro 23. Longitud de la microcuenca Puyllucana.

	Unid. Longitud	
	m	km
Longitud 3D	5,313.91	5.31

Longitud de la Cuenca (L_b) = 5.31 km

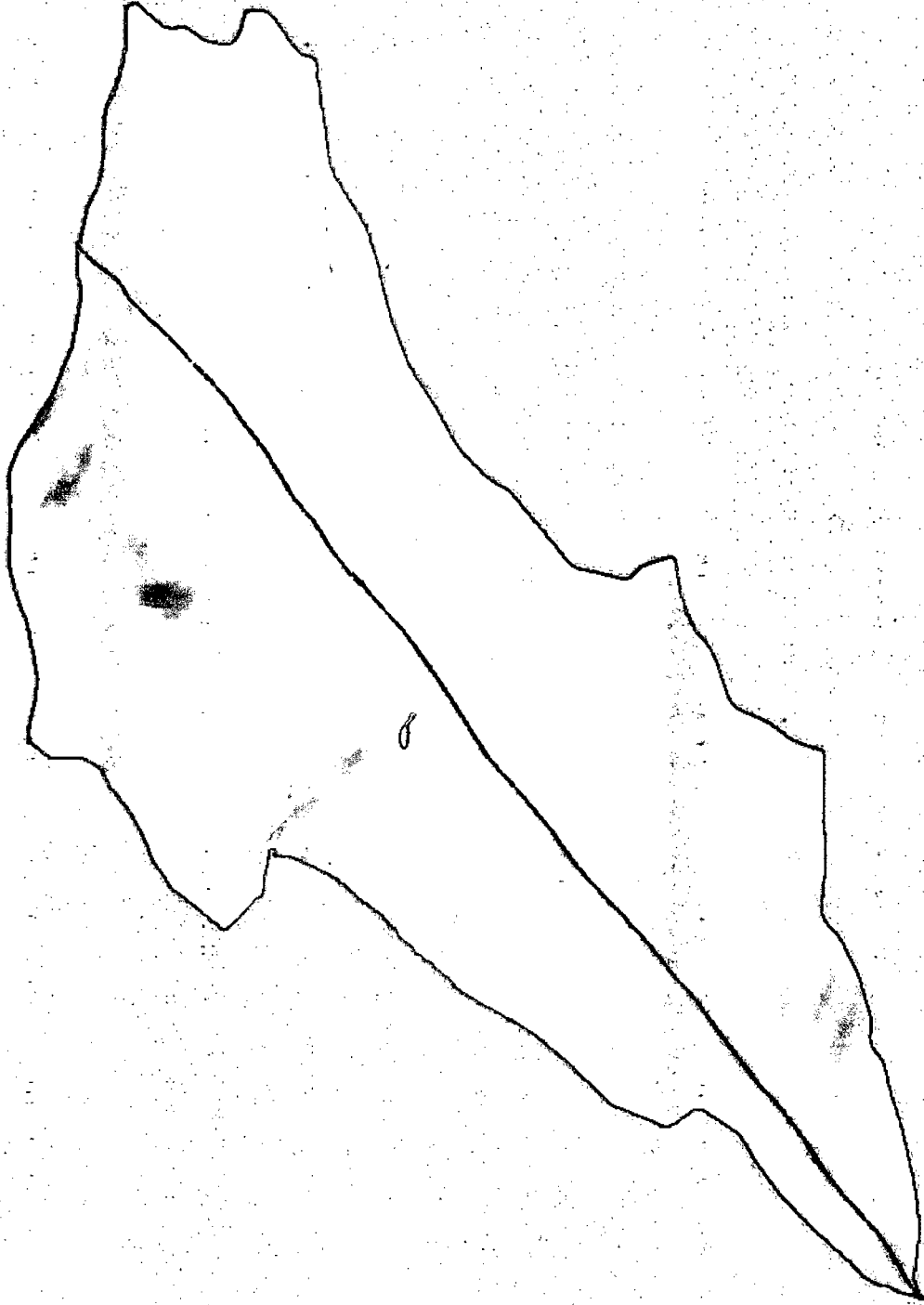


Figura 79. Línea de longitudud de la cuenca en supercie de relieve 3D

Fuente: ArcGIS v10.2

iv. Longitud del Cauce Principal (L_c)

Se calcula mediante la interpolación de la línea curva del cauce principal con la superficie TIN, para de esta manera poder obtener una línea de longitud del cauce principal en relieve (3D).

MÉTODO:

- Generar la red hídrica con la herramienta "Raster Calculator" utilizando el ráster de acumulación de flujo generado anteriormente e introduciendo la condicional: Con ("FlowAccumulation" > 100,1).

*. El valor asignado para la condicional es variable con cada cuenca.

ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Spatial Analyst Tools > Raster Calculator

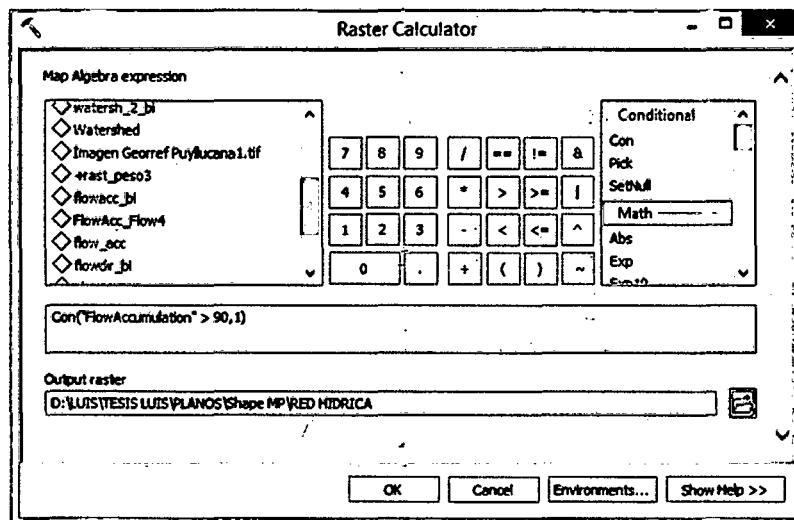


Figura 80. Condicional "Con" en la calculadora raster.

Fuente: ArcGIS v10.2

- Hallar el orden de la red hídrica por el método Strahler con "Stream Order".

ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Stream Order

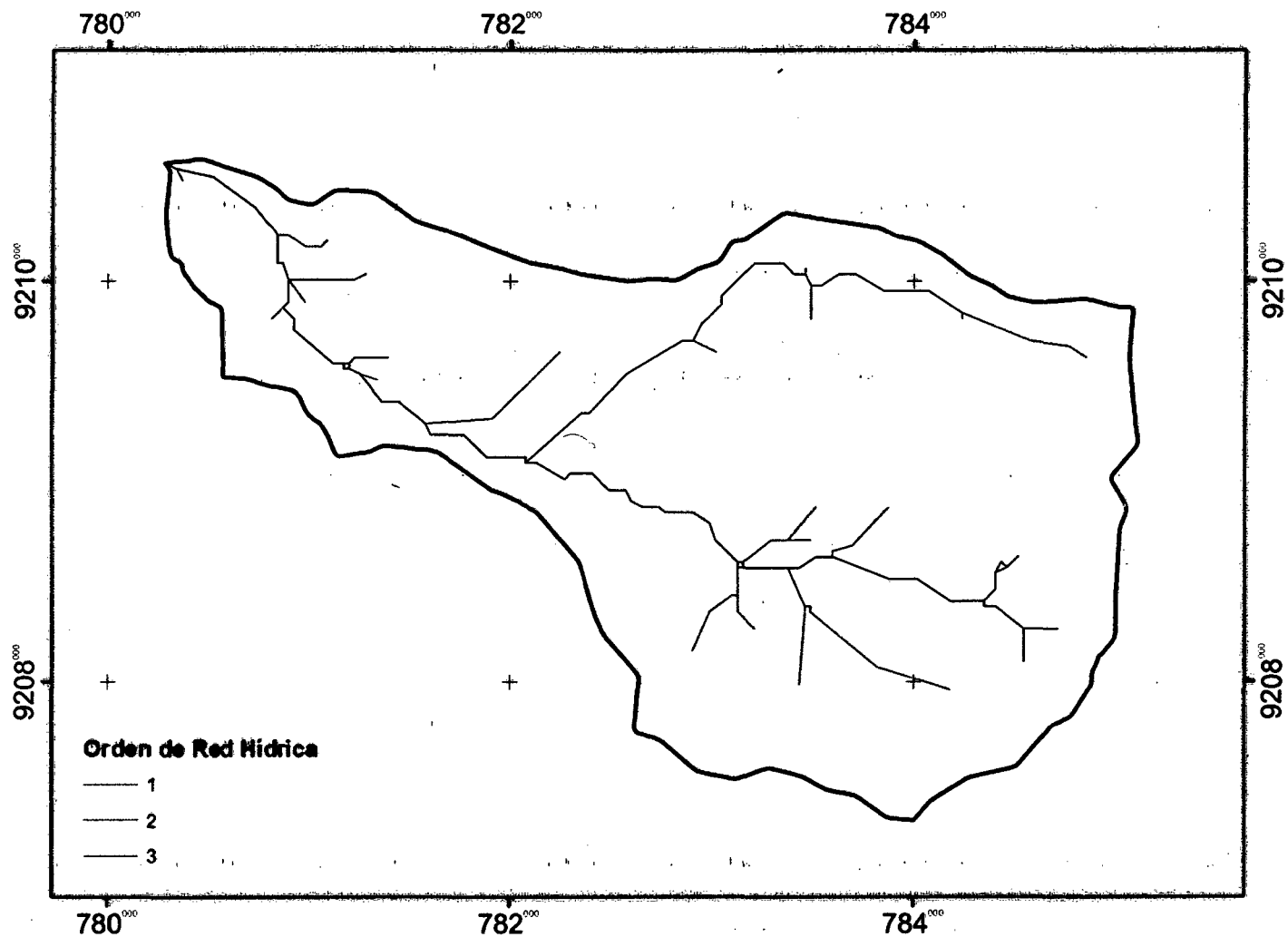


Figura 81. Orden de la red hídrica generada con "Stream Order"

Fuente: ArcGIS v10.2

Nota: Generar la red hídrica en formato ráster y obtener el orden de la cuenca (los dos pasos anteriores), en este caso solo me sirve para determinar cual es mi cauce principal ya que si se hace el cálculo de la longitud con estos datos se tendría mucho error (no coincide con la red hídrica digitalizada de una imagen satelital). Así que utilizaremos un shape tipo línea de la red hídrica digitalizado de una imagen satelital de alta resolución.

- De la red hídrica digitalizada, borramos todos los afluentes (tributarios) y solo dejamos el cauce principal, luego interpolamos con la superficie TIN ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Functional Surface > Interpolate Shape
- Calculamos la geometría "Calculate Geometry" escogiendo la propiedad 3D length. Ya que con la opción de "Flow Length" presenta un pequeño margen de error.

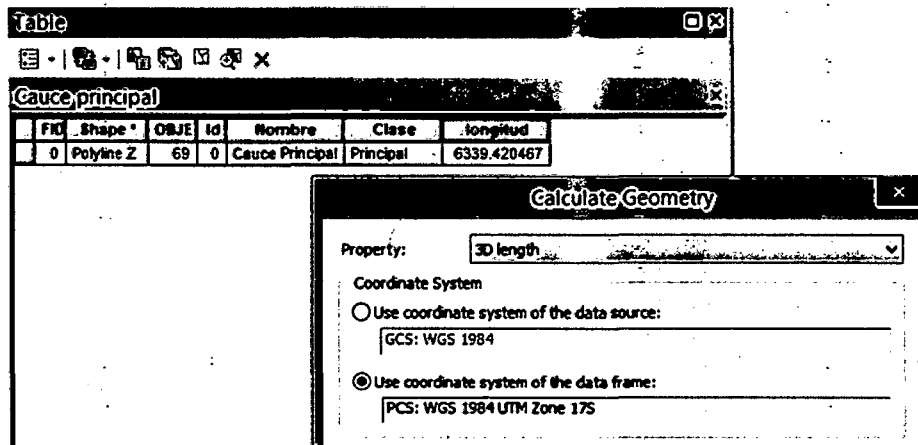


Figura 82. Cálculo del cauce principal de cuenca "3D length".

Fuente: ArcGIS v10.2.

Entonces, del proceso tenemos:

Cuadro 24. Longitud del cauce principal de la microcuenca Puyllucana.

	Unid. Longitud	
	m	km
Longitud 3D	6,339.42	6.34

Longitud del Cauce Principal (L_c) = 6.34 km

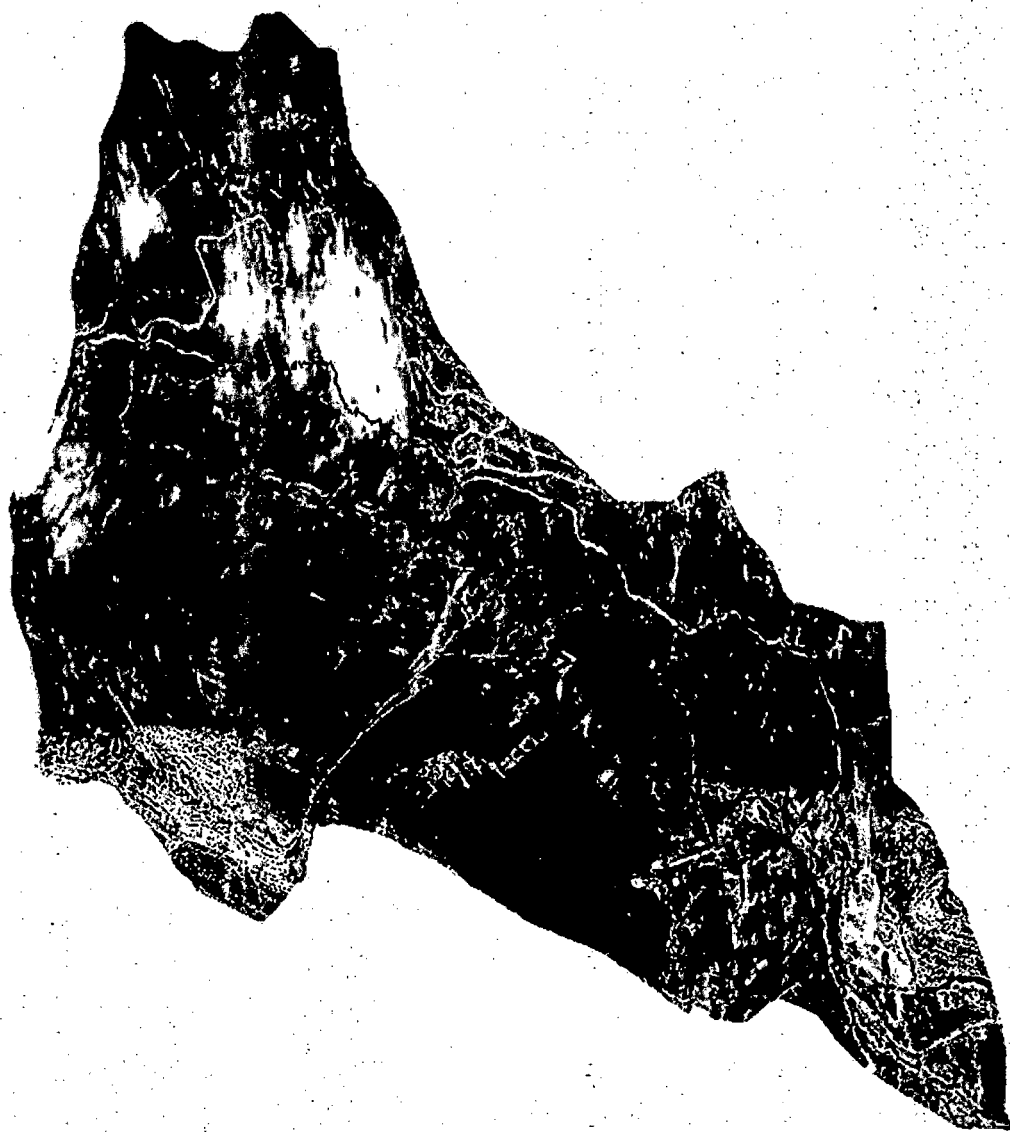


Figura 83. Cauce principal de la cuenca en imagen 3D

Fuente: ArcGIS v10.2

v. Ancho de la Cuenca (W)

Este parámetro está definido como la relación entre el Área en relieve (A) y la longitud en relieve de la cuenca (L).

$$W = \frac{A}{L} = \frac{9.16}{5.31} = 1.73 \text{ km}$$

W: ancho promedio de la cuenca; A: área de la cuenca (km²); L: longitud de la cuenca (km)

Ancho de la Cuenca (W) = 1.73 km



Figura 84. Representación del ancho "W", de la cuenca.

Fuente: ArcGIS v10.2

vi. Desnivel Altitudinal (DA)

Representa la diferencia entre la cota mas baja (H_m) y la cota mas alta (H_M) de la cuenca.

MÉTODO:

- Ingresamos a las propiedades del DEM (recortado solo la microcuenca), en la pestaña Source, en Estadistic, muestra los valores Min y Max de elevación.
- O también ingresamos a las propiedades de la superficie TIN, en la pestaña Source, en el cuadro de Data Source, con el nombre de Z Range.

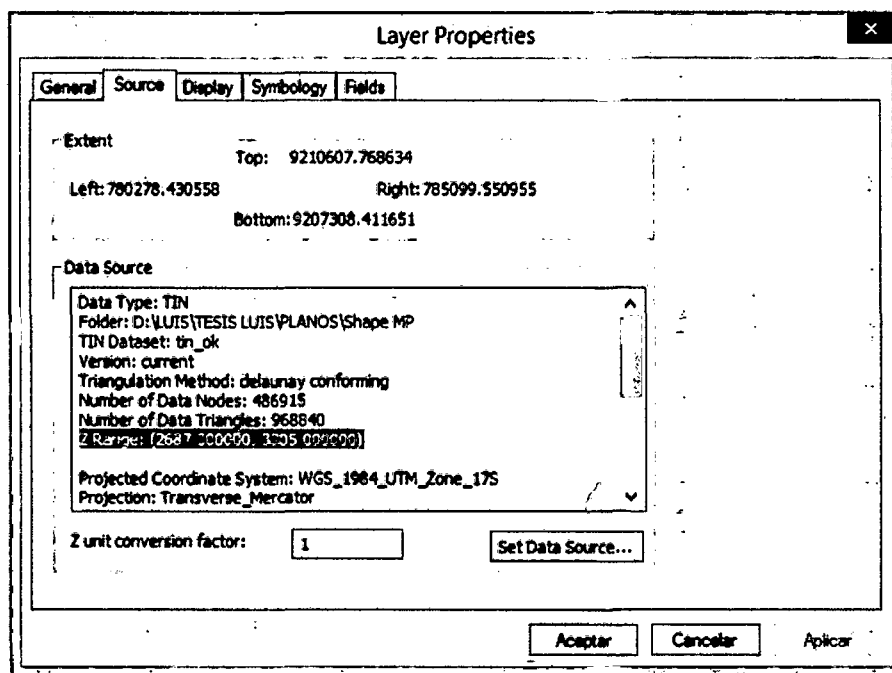


Figura 85. Propiedades del TIN mostrando Rango mínimo y máximo de elevación.

Fuente: ArcGIS v10.2.

$$DA = (H_M=3305) - (H_m=2687) = 618 \text{ m}$$

*. Según el cuadro de las zonas agroecológicas de Cajamarca (Grillo, et al. 1988) la microcuenca Puyllucana se ubica en el REGIÓN QUECHUA PARTE BAJA Y ALTA, abarcando la Z.A. de tuberculosas-cereales y la Z.A del maíz.



Figura 86. Representación de la altura *Máxima* y *Mínima* de la microcuenca.

Fuente: ArcGIS v10.2

vii. Cotas del cauce principal

Está representada por la cota inicial del cauce principal (cicp) y la cota final del cauce principal (cfcp), las que no necesariamente tienen que coincidir con las cotas máxima y mínima de la cuenca.

MÉTODO:

Ingresamos a la tabla de atributos del cauce principal interpolado y creamos dos columnas cicp y cfc, en las cuales calculamos su geometría eligiendo: Z Coordinate of Line Start y Z Coordinate of Line End. Estos me dan las cotas o alturas inicial y final respectivamente del cauce principal.

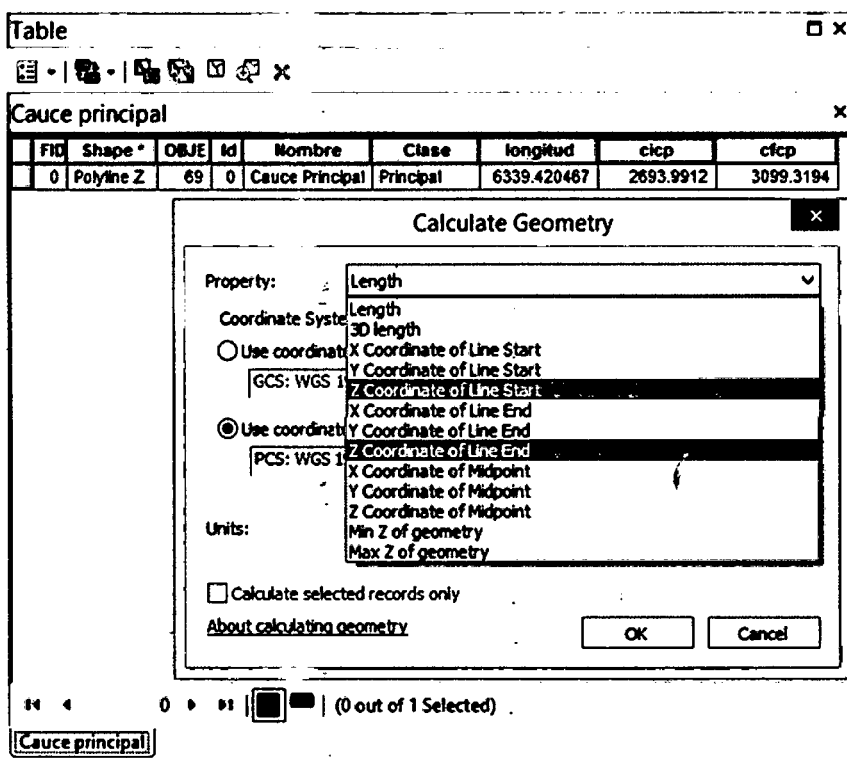


Figura 87. Cálculo de la cota inicial y la cota final del cauce principal.

Fuente: ArcGIS v10.2.

Cota inicial del cauce principal (cicp) = 2693.99 msnm
Cota final del cauce principal (cfcp) = 3099.32 msnm

viii. Longitud total de cauces

Es la sumatoria total de toda la red hídrica en relieve (3D) de la cuenca.

MÉTODO:

Ingresamos a la tabla de atributos de toda la red hídrica interpolada y creamos un nuevo campo en la cual al calcular la geometría escogemos *3D Length*. Y luego en la tabla calculada ingresamos a opción *Statistic*, en la cual en *Sum* tengo la sumatoria total de todos los shape dibujados que representa la red hídrica de la cuenca.

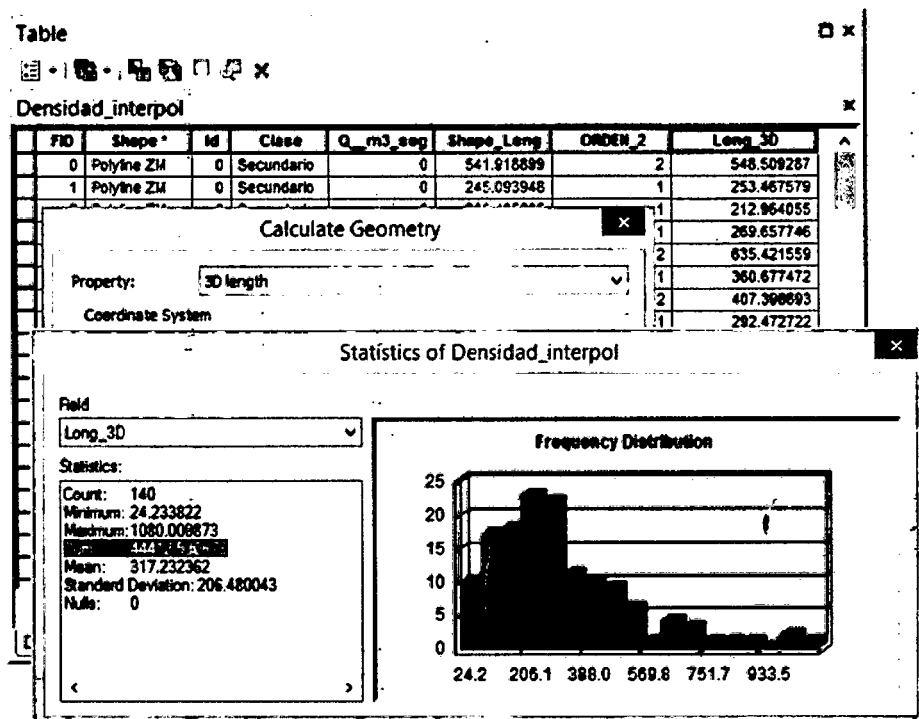


Figura 88. Cálculo de la sumatoria de toda la red hídrica de la cuenca.

Fuente: ArcGIS v10.2.

Longitud total de cauces = 44.41 km

3.10.3 Parámetros de Forma

i. Factor de Forma (RF)

Se expresa como la relación entre el ancho en relieve 3D de la cuenca y su longitud en relieve 3D.

$$RF = \frac{W}{L} = \frac{1.73}{5.31} = 0.33$$

W: ancho promedio de la cuenca (km); L: longitud de la cuenca (km)

Factor de forma (RF) = 0.32

*. Según cuadro 04, la microcuenca queda clasificada como Cuenca Alargada.

ii. Coeficiente de Compacidad (KC)

Se expresa como la relación entre el perímetro (en relieve 3D) de la cuenca y el perímetro de un círculo de área equivalente. Indica la tendencia a concentrar volúmenes de agua.

$$KC = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}} = 0.282 \frac{14.30}{3.03} = 1.33$$

P: perímetro de la cuenca (km); A: Área de la cuenca (km²)

Coeficiente de Compacidad (KC) = 1.33

*. Según Cuadro 05, la microcuenca se encuentra en la clase kc2 de forma oval-alargada con tendencia a crecida media.

iii. Rectángulo Equivalente

Es un rectángulo que tiene igual superficie, perímetro, coeficiente de compacidad y distribución hipsométrica que la cuenca en cuestión. además de facilitar la comparación geométrica de las cuencas, permite ver la influencia de sus características sobre la escorrentía.

- Para el cálculo de los lados mayor y menor se aplica las siguientes fórmulas:

$$\text{Lado Mayor: } L = \frac{kc \sqrt{A}}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{kc} \right)^2} \right] \rightarrow L = 5.46 \text{ km}$$

$$\text{Lado Menor: } l = \frac{kc \sqrt{A}}{1.128} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{kc} \right)^2} \right] \rightarrow l = 1.68 \text{ km}$$

Kc : Coeficiente de compacidad de Gravelius; A = Area de la cuenca (km²)

- Lo siguiente es reclasificar el ráster de la cuenca en intervalos de elevación para calcular el área 3D entre cada intervalo y obtener el área acumulada sobre la superficie, que me sirve para graficarlo.
- Convertimos el TIN a Ráster: (figura 89)
ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Conversion > From TIN > TIN to Raster
- Reclasificamos en intervalos definidos (07 clases para éste caso): (figura 90)
ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify
- Interpolamos y separamos cada área de intervalo de reclasificación para calcular su superficie en relieve 3D de forma individualmente, con la opción de "Surface Volume" (brinda datos de: área 2D, área 3D y volúmen). (figura 91)
ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Functional Surface > Surface Volume
- Con los datos obtenidos llenamos el siguiente cuadro en Microsoft Excel y realizamos los cálculos correspondientes:

Cuadro 25. Áreas entre curvas de nivel de la Microcuenca Puyllucana.

Nº CLASE	COTA Mín. (msn m)	COTA Máx. (msn m)	Área 3D Parcial (km ²)	Área 3D Acumulada (km ²)	Área 3D sobre la superficie (km ²)	% de area entre C.N.	% de área sobre C.N.
1	2687	2700	0.09	0.09	9.16	1.02%	100.00%
2	2700	2800	1.48	1.57	9.07	16.15%	98.98%
3	2800	2900	1.32	2.89	7.59	14.41%	82.83%
4	2900	3000	1.78	4.67	6.27	19.40%	68.42%
5	3000	3100	2.33	7.01	4.49	25.48%	49.01%
6	3100	3200	1.43	8.44	2.16	15.62%	23.54%
7	3200	3305	0.73	9.16	0.73	7.92%	7.92%
			9.16			100%	

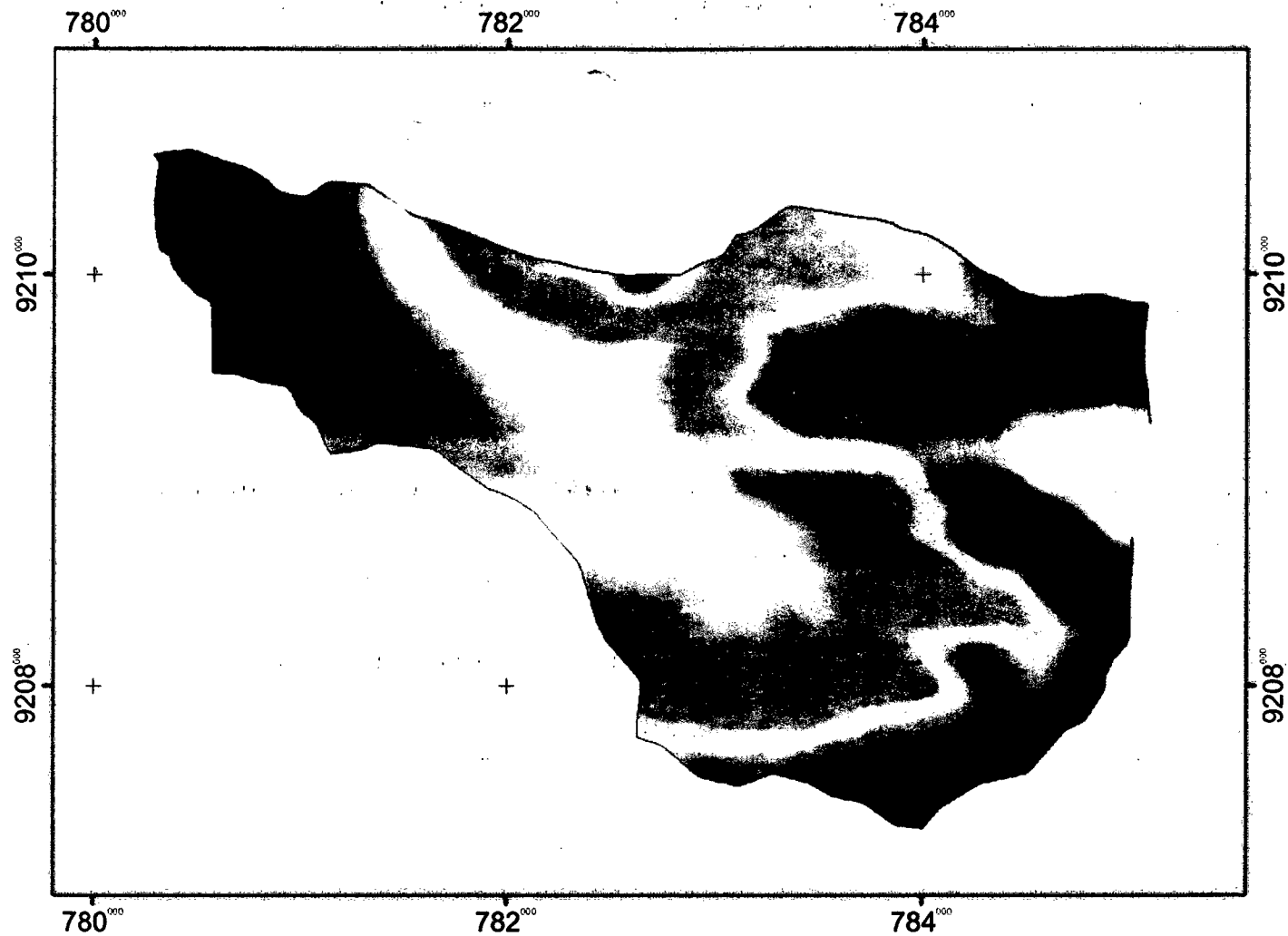


Figura 89. . Conversión de TIN a formato Ráster.

Fuente: ArcGIS v10.2

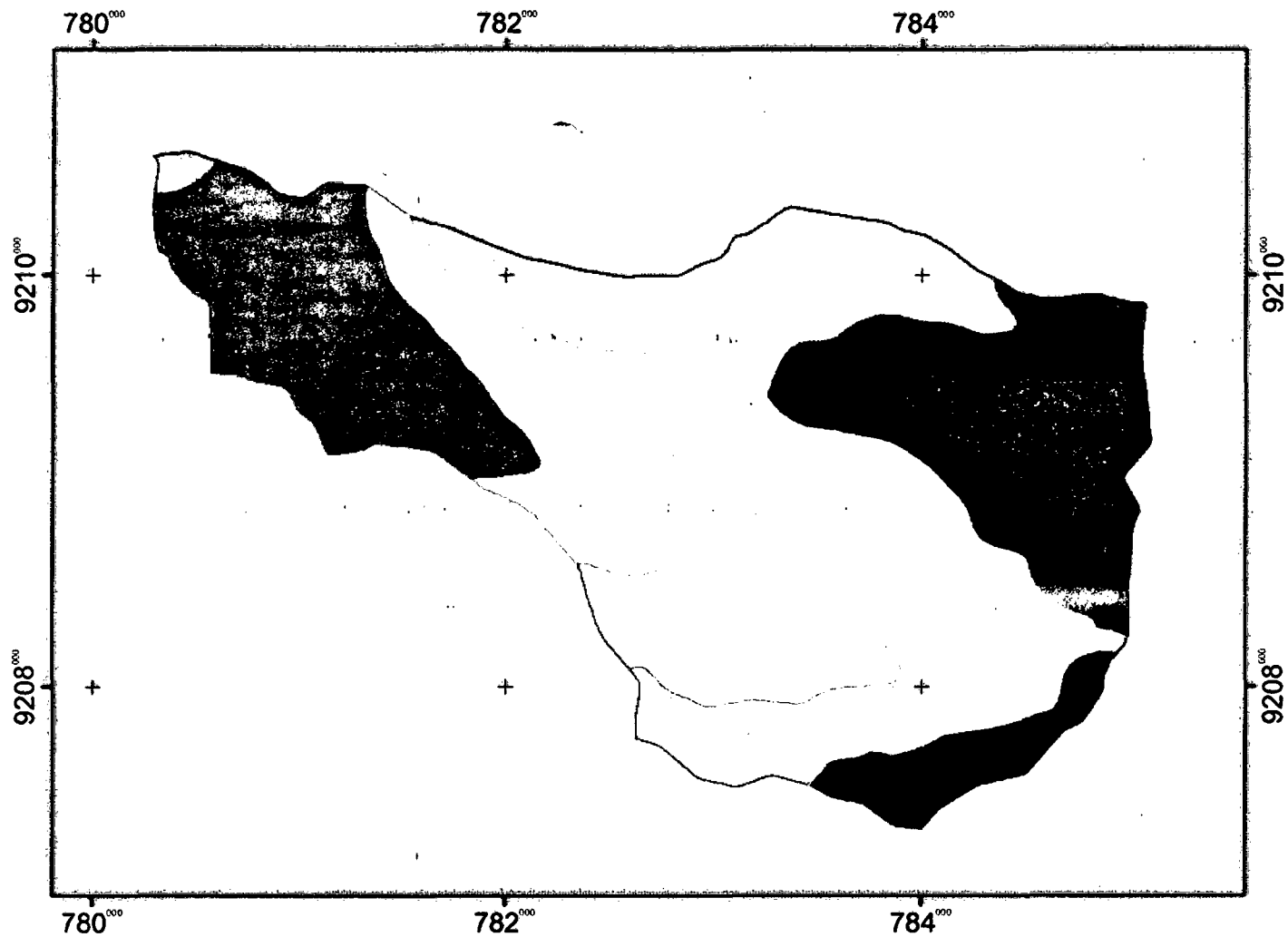


Figura 90. Reclasificación en 07 intervalos del Ráster.

Fuente: ArcGIS v10.2

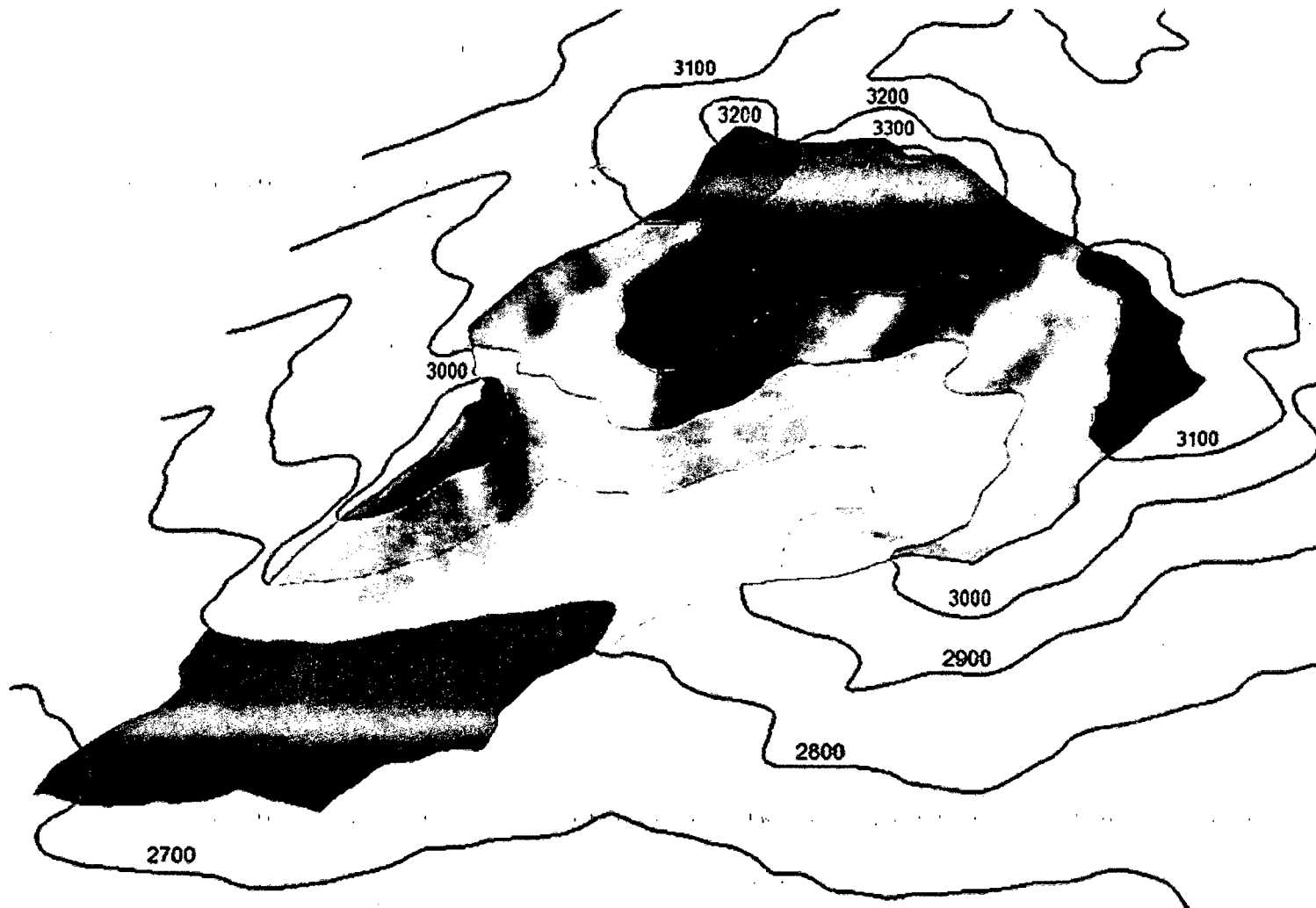


Figura 91. Superficies 3D de rangos de elevación reclasificados.

Fuente: ArcGIS v10.2

- Para el cálculo de las distancias de separación (d_i) de curvas de nivel, se aplica la siguiente fórmula:

$$d_i = \frac{A_{acss}}{A} * L$$

A_{acss} = Área acum. sobre la superficie km^2 ; A = Área de la cuenca km^2 ; L = Lado mayor

→ $d_{i_1(A7)} = 0.44km$; $d_{i_2(A6)} = 1.29km$; $d_{i_3(A5)} = 2.68km$; $d_{i_4(A4)} = 3.74km$;

$d_{i_5(A3)} = 4.52km$; $d_{i_6(A2)} = 5.41km$; $d_{i_7(A1)} = 5.46km$.

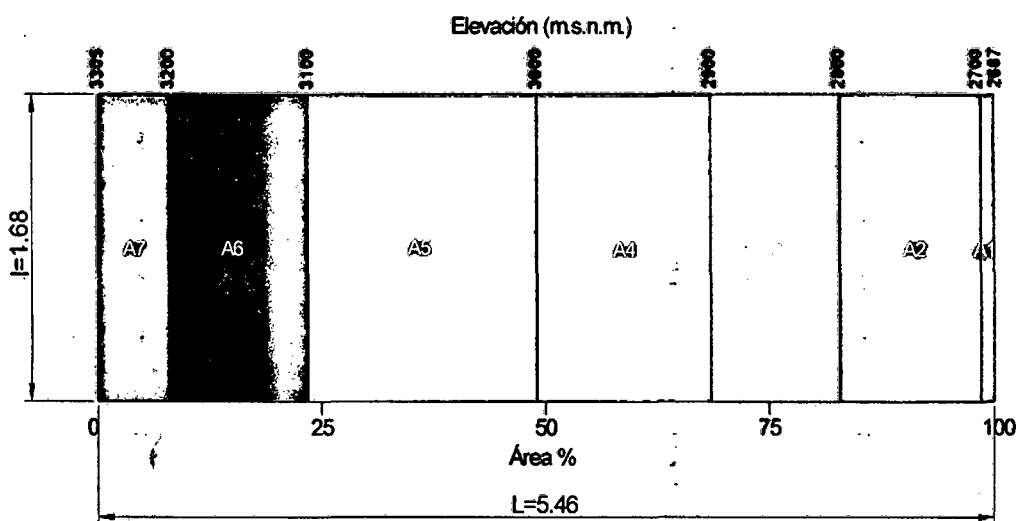


Figura 92. Rectángulo equivalente de la Microcuenca Puyllucana.

*. Del rectángulo equivalente podemos deducir que las mayores áreas referente a la altitud (en msnm) se ubican entre los rangos de 2900 a 3000 y de 3000 a 3100, representando un 19% y 25% respectivamente; situados en la parte media de la microcuenca Puyllucana.

3.10.4 Parámetros de Relieve

i. Pendiente Media de la Cuenca (S_m)

A una mayor pendiente corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes al curso principal.

- Se obtiene a partir del modelo ráster, utilizando la herramienta "Slope"
ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Raster Surface > Slope
- Ingresando a las propiedades del ráster de pendientes, tenemos una estadística rápida donde encontramos el valor de la pendiente media.

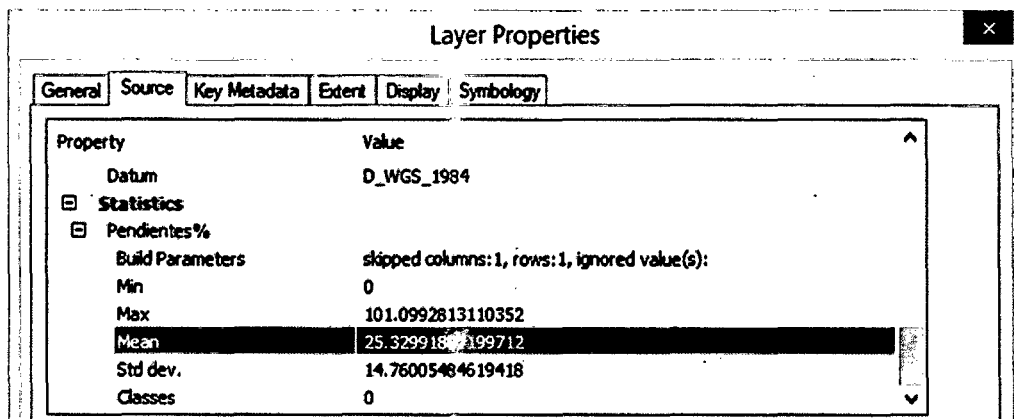


Figura 93. Valor de la pendiente media en el cuadro de propiedades.

Fuente: ArcGIS v10.2.

Pendiente Media de la cuenca (Sm) = 25.33%

*. Según cuadro 06, la microcuenca se encuentra en el rango de 25% a 50% clasificándola como una cuenca empinada.

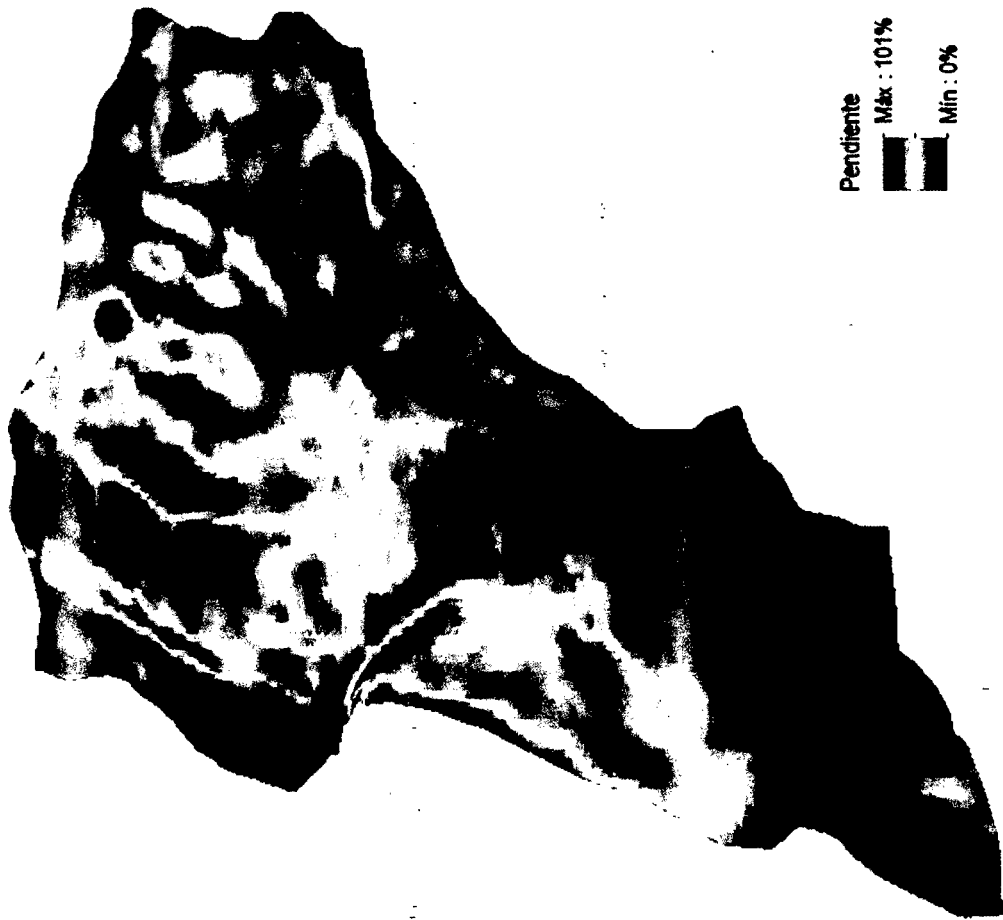


Figura 94. Ráster de pendientes de la microcuenca Puyllucana.

Fuente: ArcGIS v10.2

ii. Pendiente Media del Cauce Principal (Sc)

- Interpolamos el shape tipo línea del cauce principal con el ráster de pendientes:

ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Functional Surface > Interpolate Shape

- Generamos una tabla de estadística zonal con "Zonal Statistics as Table", utilizando el cauce interpolado anteriormente y el ráster de pendiente.

ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Zonal > Zonal Statistics as Table

OID	OBJECTID	COUNT	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD
0	69	2642	0	45.812889	45.812889	11.775634	8.799666

Figura 95. Valor de la pendiente media del cauce principal.

Fuente: ArcGIS v10.2

Pendiente media del cauce principal = 11.8%

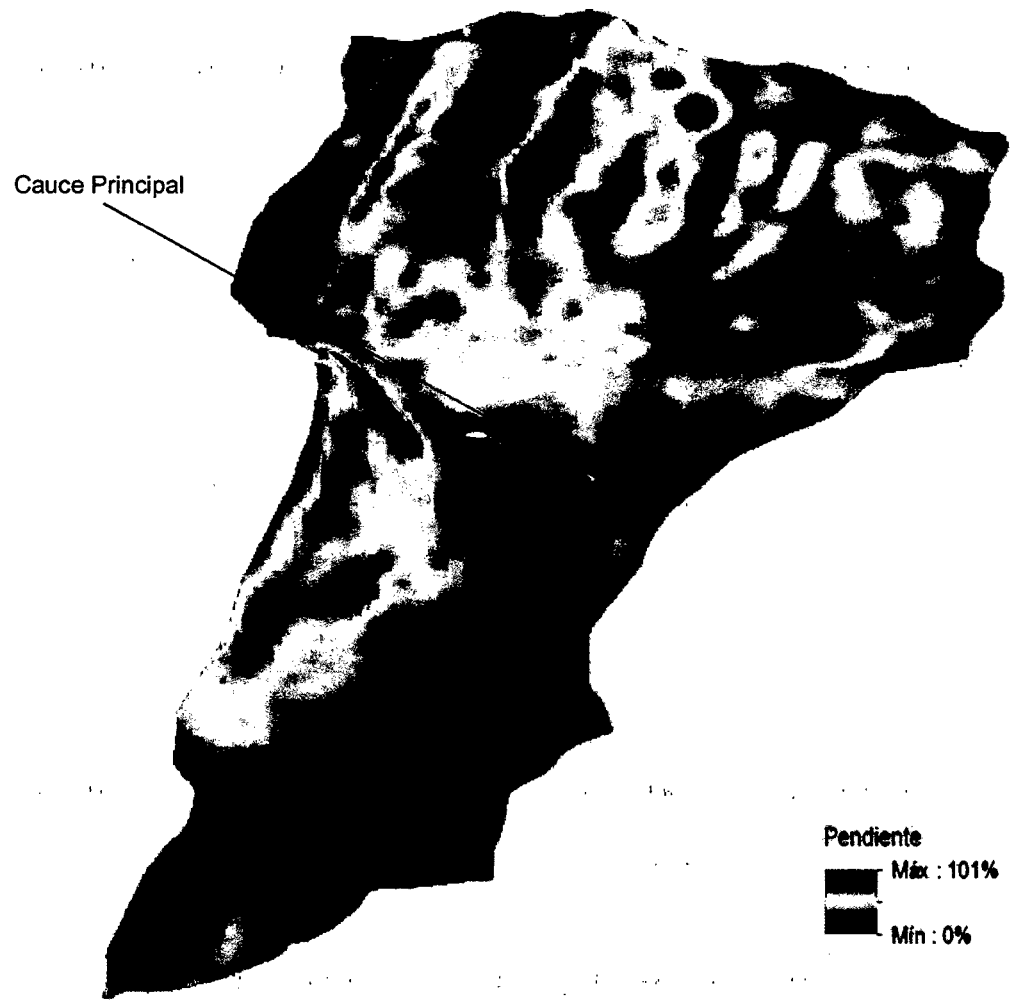


Figura 96. Cauce principal interpolado con el ráster de pendientes.

Fuente: ArcGIS v10.2

iii. Curva Hipsométrica

La curva hipsométrica, permite conocer la distribución de masa en la cuenca desde arriba hacia abajo.

- Del cuadro 25 tomamos los datos de las columnas: % de área sobre C.N. (curva de nivel) y N° Clase (que corresponde a rangos de elevación).

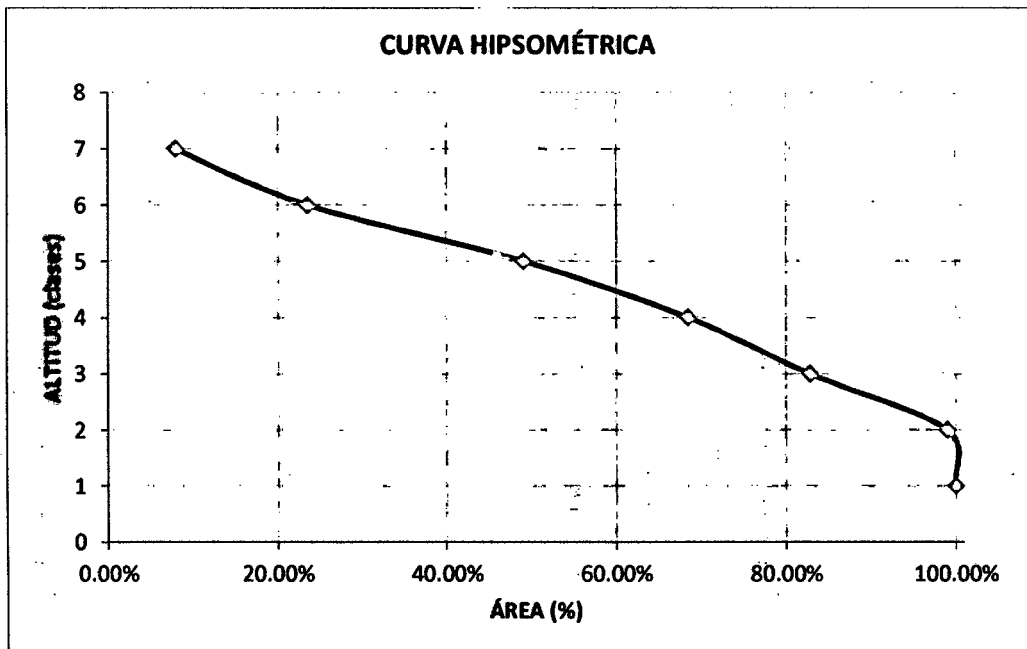


Figura 97. Curva hipsométrica de la microcuenca Puylucana.

*. Según la forma de la gráfica, podemos señalar que la microcuenca Puylucana se encuentra en una fase de madurez, en una etapa de Equilibrio que corresponde a una cuenca geológicamente madura. Ello implicaría; sin embargo, un potencial erosivo que no debe despreciarse.

iv. Histograma de Frecuencias Altimétricas

Contienen la misma información que la curva hipsométrica pero con una representación diferente, dando una idea probabilística de la variación de la altura en la cuenca.

- Del cuadro 25, tomamos los datos de las columnas: % de área entre curva de nivel y N° Clase (que corresponde a rangos de elevación).

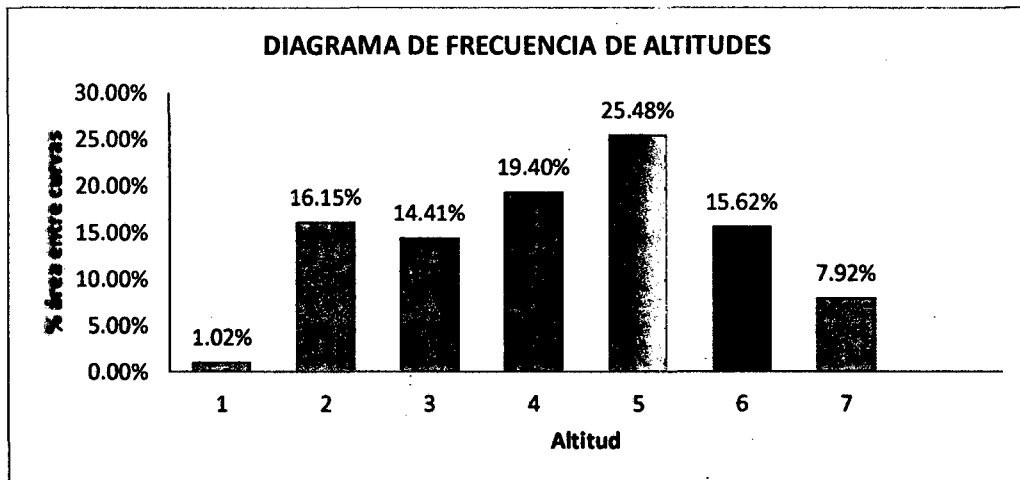


Figura 98. Diagrama de frecuencia de altitudes, microcuenca Puyllucana.

*. Según el gráfico obtenido, la altitud mas frecuente se ubica en la clase n°5 que corresponde a un rango entre 3000 y 3100 m.s.n.m.

v. Altitudes Características:

Nos permite identificar los valores mas representativos de las alturas:

- Altitud media (media):

Corresponde al valor altitudinal en la posición central de la microcuenca en relieve 3D. Se lo obtiene ingresando a las propiedades del Ráster.

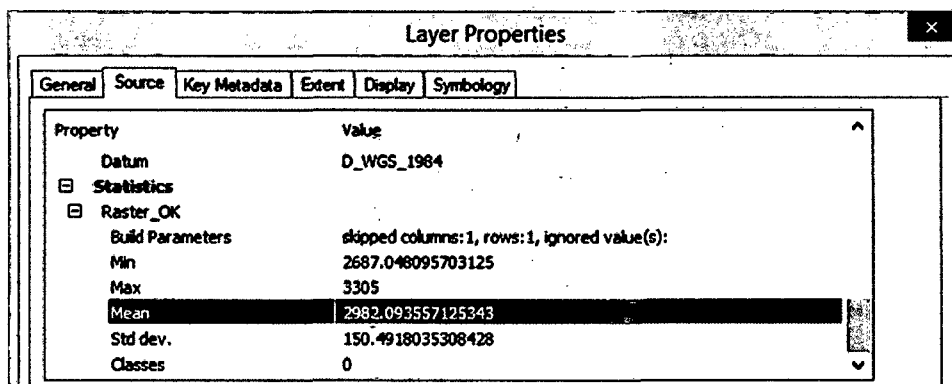


Figura 99. Valor de la altitud media de la microcuenca Puyllucana.

Fuente: ArcGIS v10.2



Altitud media = 2,982.09 msnm

*. Este valor nos indica el promedio de la alturas de la microcuenca Puyllucana.

- Altitud mas frecuente (moda):

Se lo realiza obteniendo el promedio del rango de altitud clase n°5 que según la figura n°99 es la mas frecuente. Para ello generamos un ráster solamente de la clase n°5 e ingresando a sus propiedades obtenemos el valor buscado.

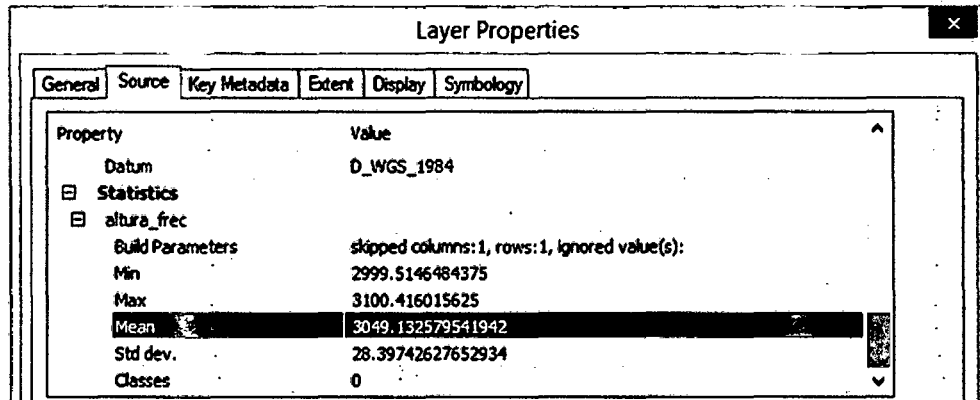


Figura 100. Valor de la altitud mas frecuente de la microcuenca Puyllucana.

Fuente: Imágen capturada del software ArcGIS.



Altitud mas frecuente = 3,049.13 msnm

*. Este dato nos indica el valor de la alturas que mas se repite en la microcuenca Puyllucana.



Figura 101. Raster de clase n°5 (300 a 3100 mm) = 25.45%.

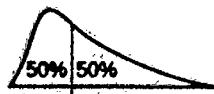
Fuente: ArcGIS v10.2

- Altitud frecuencia media (mediana):

Valor de la altitud ubicada al 50% de las alturas en relieve 3D de la microcuenca. Lo obtenemos interpolando al 50% los datos del cuadro n°29 las elevaciones promedio (de las cotas min y max) con % de área sobre curvas de nivel.

Cuadro 26. Valores de interpolación para el 50% de las alturas.

X1	68.42 %	Y1	2950 msnm
X2	49.01 %	Y2	3050 msnm
X	50.00 %		



Altitud frecuencia media = 3,044.90 msnm

*. Este valor nos informa la altura que separa la microcuenca en dos partes iguales, cada una de las cuales cuenta con el cincuenta porciento de los datos.

- Perfil del cauce principal:

Para esto convertimos el shape del cauce principal (feature) en 3D con la herramienta "Convert Feature to 3D" y de superficies utilizamos el ráster.

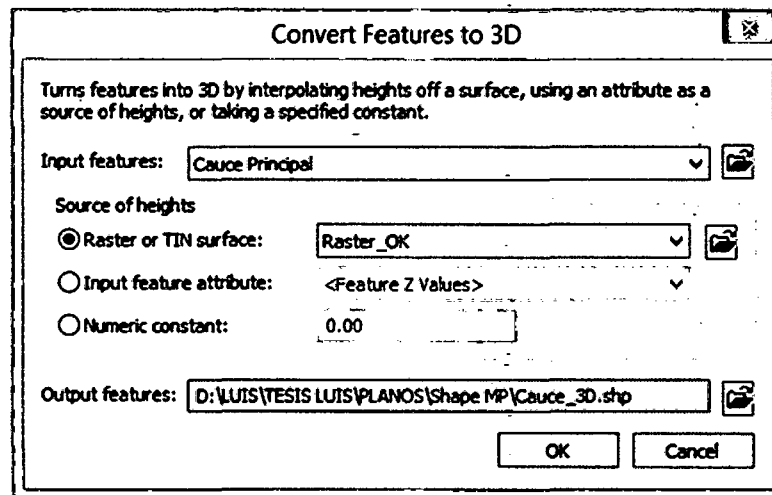


Figura 102. Conversión del cauce principal a 3D.

Fuente: ArcGIS v10.2

Teniendo activa la edición el cauce 3D creado y con la herramienta "Profile Graph" de la barra 3D Analyst, nos crea el perfil del cauce principal.

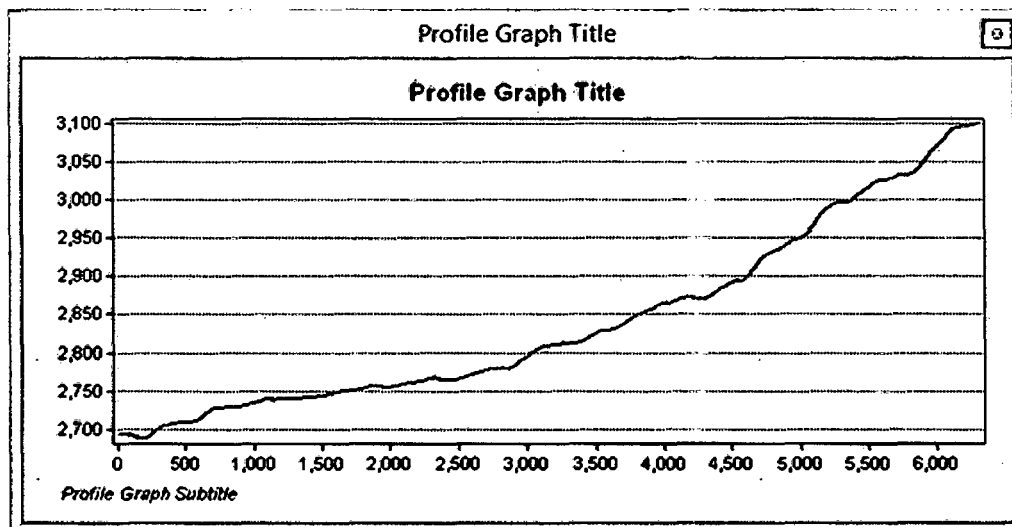


Figura 103. Perfil longitudinal del cauce principal, microcuenca Puyllucana.

Fuente: ArcGIS v10.2

3.10.5 Parámetros de la Red Hidrológica

Ordenación de Horton-Strahler

Corrientes de mayor orden en la jerarquía de Horton-Strahler corresponderán a una red más densa y comunicada y por ende a cuencas de menor tiempo de respuesta hidrológica.

Teniendo como base la red hidrológica digitalizada en formato shape y estando ésta en relieve 3D, procedemos a colocar manualmente el orden para cada línea dibujada; ya que con la herramienta para la generación automática del orden "Stream Order" se pierde precisión tanto en la ubicación de las corrientes como en su longitud.

Procedimiento para definir orden a las corrientes de la red hídrica:

- se asigna el orden 1 a las corrientes que no presentan ningún tributario, comúnmente en las cabeceras de la red de drenaje.
- Al juntarse dos corrientes de orden "n" da lugar a una corriente de orden "n+1".
- Cuando se juntan corrientes de diferentes órdenes, la corriente resultante tomará el valor de mayor orden.

*. Ya que el orden máximo define el orden de la cuenca, entonces se tiene un grado de ramificación o bifurcación dentro de la microcuenca de orden 3.

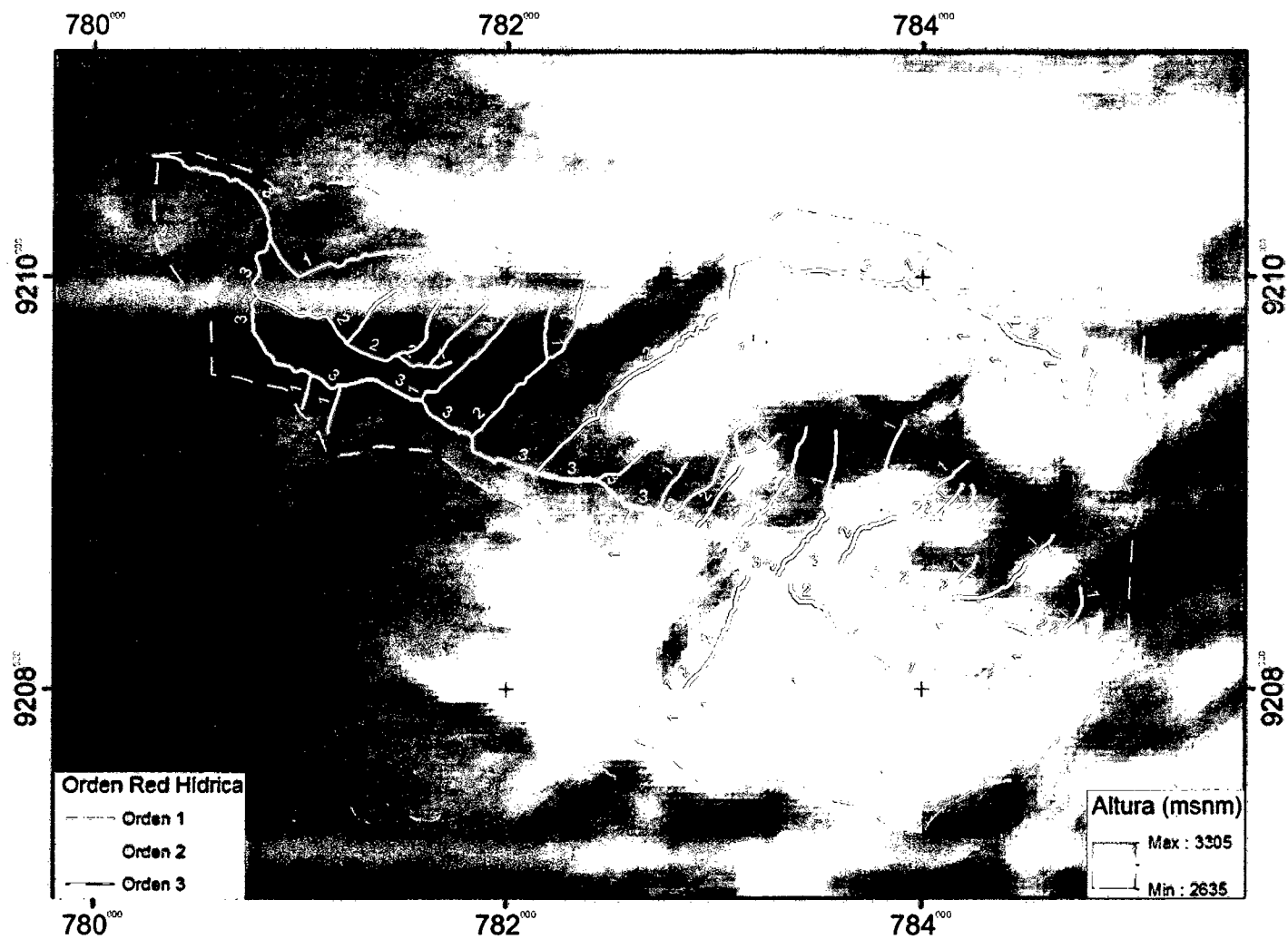


Figura 104. Ordenación Horton-Strahler del drenaje tipo dendrítico.

Fuente: ArcGIS v10.2

i. Densidad de la Red de Drenaje (Dd)

Se expresa como el cociente entre la longitud total de los cauces (perennes, intermitentes y efímeros) que conforman el sistema fluvial de la cuenca, y el área total de la cuenca.

- Con base de los shape topográfico, de orden, acumulación de flujo e imagen satelital, se realiza la digitalización de todos los posibles drenajes (permanentes, intermitentes y efímeros).
- Se expresa como la relación entre la sumatoria de la longitud en relieve 3D de los cauces y su área en relieve 3D.

$$Dd = \frac{Li}{A}$$

Li: L longitud de los cauces (km); A: Área de la cuenca (km²)

- Calculamos la sumatoria de la longitud en relieve 3D de los cauces en km, ingresando a *Statistics* de la columna *Longitud 3D* en la tabla de atributos.

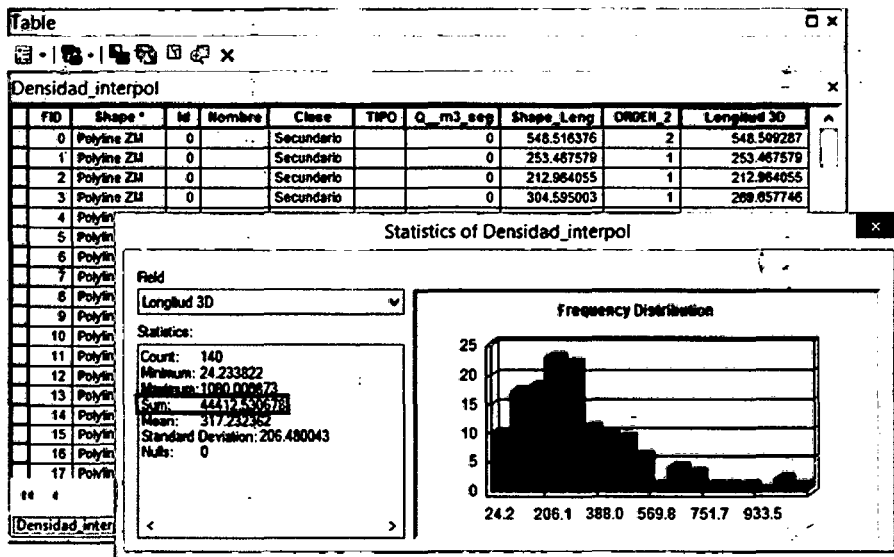


Figura 105. Cálculo de la sumatoria de las longitudes 3D.

Fuente: ArcGIS v10.2

- Aplicamos la fórmula para hallar la densidad: $Dd=44.41/9.16=4.85$

Densidad de la red hídrica (Dd) = 4.85 km/km²

*. Según cuadro 10, la microcuenca queda clasificada como una cuenca bien drenada, fácilmente erosionable y conformada por arenas y gravas. El resultado corresponde a un valor alto, por lo que según Villon (2002), representaría una zona con poca cobertura vegetal y suelos fácilmente erosionables.

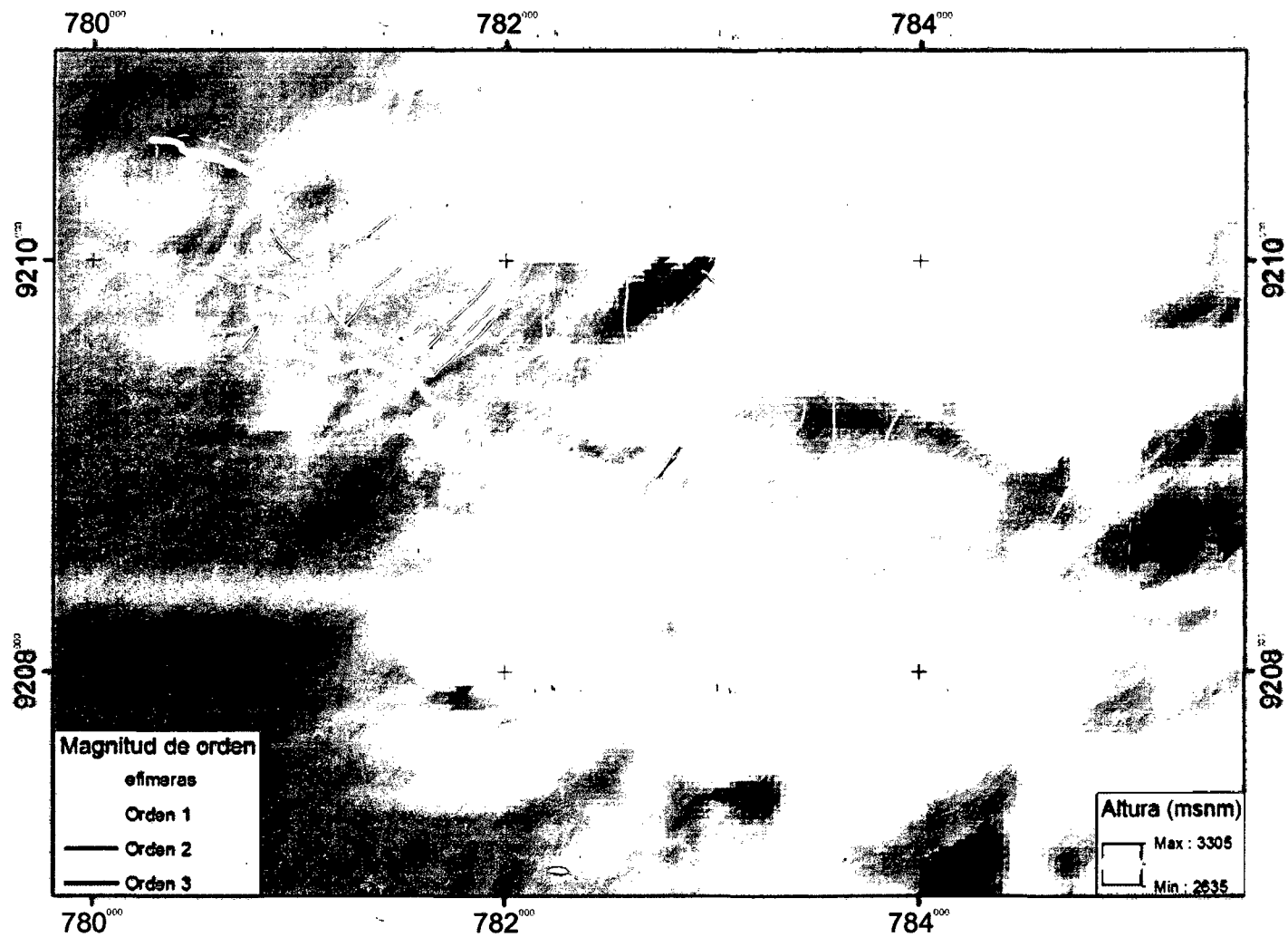


Figura 106. Representación densidad drenaje en función de su magnitud de orden.

Fuente: ArcGIS v10.2

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

No cabe duda que el desarrollo tecnológico ha tenido un impacto muy significativo en el desarrollo de actividades del quehacer cotidiano, académico y profesional, lo que ha revolucionado las tareas de las diferentes disciplinas; la aparición de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) vino a revolucionar la manera en que se realizan los análisis espaciales, convirtiendo a éstos en un componente indispensable en casi cualquier área.

ArcGIS es uno de los software's más completos y robustos del mercado, considerado como un SIG completo y por ende, unos de los más usados a nivel mundial; por tal motivo debe emplearse este software correctamente ya que no discierne si los datos ingresados son correctos o no, para ello debemos hacer uso de nuestro conocimiento, lógica, criterio y experiencia.

4.1 ANÁLISIS GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

En el área de estratigrafía, se ha complementado y corregido el cuadro estratigráfico de Cajamarca (ver figura 107) propuesto por el INGEMMET 1980 y modificada por estudios de Tesis anteriores (año 2012 y año 2013) de acuerdo a la información analizada de:

- Serie sedimentaria de Cajamarca (Inventario, Evaluación y Uso Racional de los Recursos Naturales de la Zona Norte de Cajamarca, ONERN, 1977).
- Cuadro de correlaciones entre unidades litoestratigráficas del cretáceo en la margen peruana (Análisis de la sedimentación del sistema cretáceo de los andes del Perú central, Jacay, 2005).
- Para las eras, periodos, épocas y edades se ha utilizado el código de colores RGB de acuerdo a la Comisión de Mapeo Geológico para el Mundo, París-Francia (enero, 2012); y para las unidades litoestratigráficas se utilizó el código de colores RGB empleada por INGEMMET-Perú.
- El tiempo Ma (en millones de años) ha sido tomado de "International Chronostratigraphic Chart" v.2015.

Geológicamente los tipos de rocas que conforman la microcuenca Puyllucana está representada por una secuencia sedimentaria que en mayor proporción lo conforman rocas calcáreas (Formaciones: Chúlec y Pariatambo, Yumagual, Quilquiñan-Mujarrun y Cajamarca) representado un 83.2% del total del área 3D y en menor proporción rocas clásticas (Formaciones: Farrat e Inca) representado un 16.1% del total del área 3D de la microcuenca. (ver figura 37).

Nota: Para el cálculo de las áreas de las formaciones geológicas cada polígono fue interpolado con la imagen ASTER GDEM para poder hallar el área en relieve 3D y de esta manera tener un resultado mas exacto.

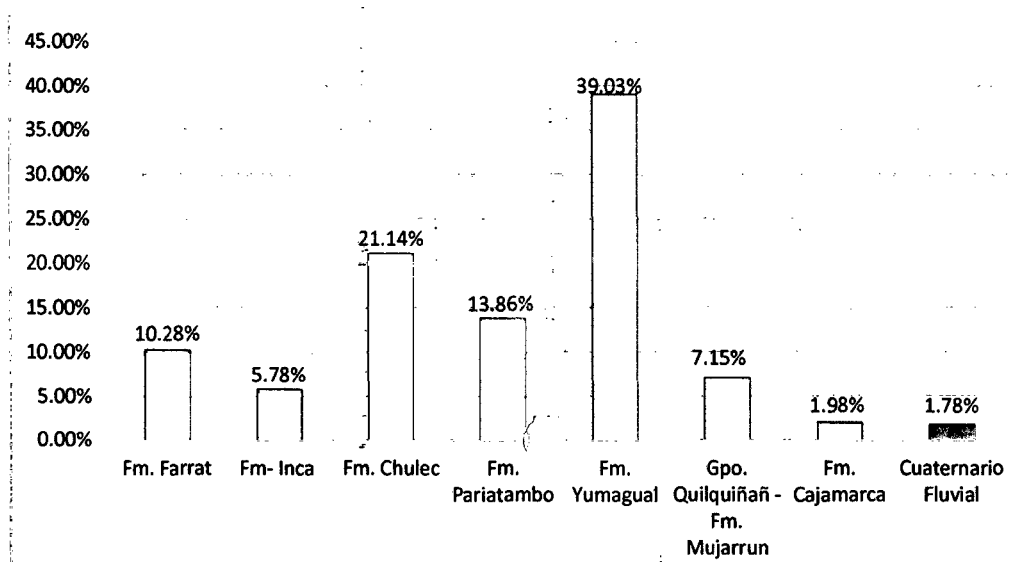


Figura 108. Porcentaje área de Formaciones Geológicas - microcuenca Puyllucana.

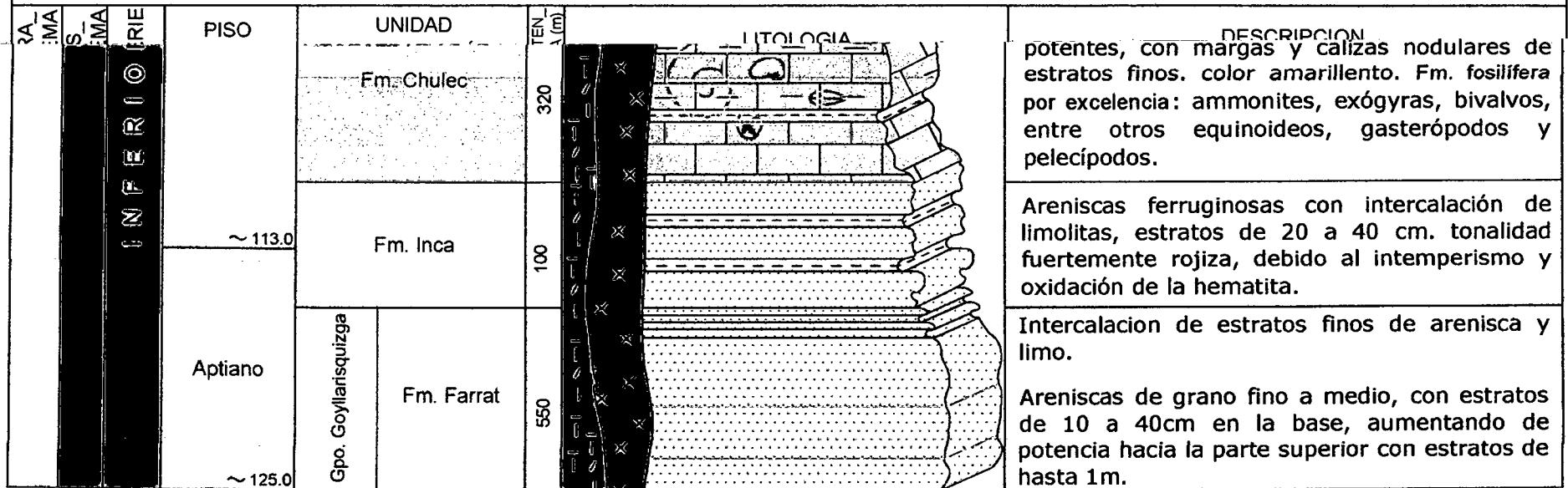
Fuente: ArcGIS v10.2



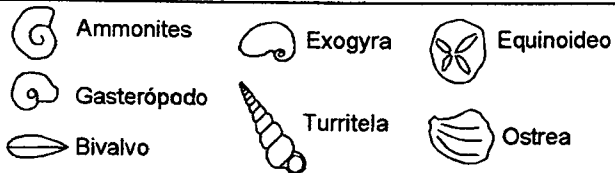
Figura 109. Superficie de la geología en 3D.

Fuente: ArcGIS v10.2

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA - MICROCUENCA PUYLLUCANA



LEYENDA DE FÓSILES



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tesista: BACH. JOSÉ LUIS ALCÁNTARA MEMBRILLO

Escala: 1:100

Asesor: ING. ALEJANDRO C. LAGOS MANRIQUE

Fecha: Julio del 2015

N°:

CE

Las edades geológicas de las rocas que conforman la microcuenca van desde el Aptiano (125 millones de años atrás) al Turoniano (89.8 ± 0.3 millones de años atrás) y el aporte cuaternario reciente de edad Holocena (11,700 años atrás).

Estructuralmente la microcuenca se encuentra en una zona de plegamiento que se originaron como resultado de fuertes esfuerzos tectónicos de direcciones NE-SW de edad post-cretácica y presentan amplia longitud de onda, entre el anticlinal Baños de Inca y el sinclinal de Otuzco, el primero presenta una inclinación hacia el SW con rumbo N85E, y el segundo es un típico pliegue en abanico con rumbo N75W.

Con éstos datos se ha logrado mejorar el corte geológico Cajamarca. Baños del Inca, elaborado por el INGEMMET y presentado en: **MODELO HIDROGEOLOGICO DE LAS FUENTES TERMALES DE BAÑOS DE INCA – CAJAMARCA, 2015.** (ver plano C-1: corte geológico dist. Cajamarca-dist. La Encañada).

Hidrogeológicamente se ha clasificado acuíferos pertenecientes a la microcuenca Puyllucana como:

- *. Acuífero principal → Formación Farrat
- *. Acuífero secundario → Formación Cajamarca
- *. Acuífero principal → Formación Yumagual

Y como resultado se ha elaborado un cuadro de Clasificación Hidrogeológica de las rocas (ver cuadro 27) y el plano hidrogeológico de la microcuenca Puyllucana (ver plano 06).



Figura 110. Modelo hidrogeológico fuentes termales Baños del Inca - Cajamarca.

Fuente: INGEMMET, 2015

Cuadro 27. Clasificación Hidrogeológica de las rocas - Microcuenca Puyllucana.

FORMACIÓN GEOLÓGICA	LITOLÓGÍA	TECTÓNICA	CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA
Fm. Farrat	Areniscas cuarzosas de grano fino a medio aumentando de potencia en la parte hacia el techo.	Muy fracturado Fisuras abiertas	ACUITARDO
Fm. Inca	Areniscas, arcillas ferruginosas con intercalación de limilitas. Tonalidad fuertemente rojiza.	Poco fracturado	ACUITARDO
Fm. Chulec	Intercalación calizas lutáceas en bancos potentes con margas y calizas nodulares en estratos finos. Muy fosilífera	Poco fracturado	ACUITARDO
Fm. Paratambo	Intercalación de lutitas calcáreas con calizas nodulares oscuras en estratos delgados. Olor fétido al fracturarlas.	Poco fracturado	ACUITARDO
Fm. Yungay	Secuencia de margas en estratos potentes, calizas gris parduscas y lutitas amarillentas.	Fracturado Fisuras abiertas	ACUITARDO
Gpo. Quilquifan y Fm. Mujarrún	Secuencia de Calizas nodulares, margas y lutitas pardo-amarillentas.	Poco fracturado	ACUITARDO
Fm. Cajamarca	Calizas puras y portentes de gris oscuras a gris azuladas.	Fisuras abiertas Procesos karsticos	

Fuente: INGEMMET, 2015
Modificada por el tesista

4.2 ANÁLISIS EN LA DELIMITACIÓN DE MICROCUENCAS HIDROGRÁFICAS

Lo comúnmente usado y no recomendable:

- i. Curvas de nivel a escala 1:100,000 en descarga libre de todo el Perú presentada en por cuadrículas y en formato Shape (*.shp) del Ministerio de Educación del Perú, sobre la base de la Carta Nacional IGN, 2002. Con intervalos entre curvas de 50m y de 25m en algunos casos.

Link para descarga de curvas de nivel:

<http://sigmed.minedu.gob.pe/descargas/>

- ii. ASTER GDEM v1 (Aster Global Digital Elevation Model, Version 1), lanzado en Junio, 2009. La version 1 del ASTER GDEM contiene ciertas anomalías que afectan la precisión del producto y puede ser impedimentos para la utilización eficaz para ciertas aplicaciones. En consecuencia, el METI y la NASA reconocen que la versión 1 del ASTER GDEM debe de ser visto como "experimental" o "grado de investigación". ASTER GDEM v1, lanzado en Junio, 2009:

Link para descarga de ASTER GDEM v1:

http://geoservidor.minam.gob.pe/geoservidor/download_raster.aspx

Lo recomendable:

Utilizar una imagen ASTER GDEM v2 (Aster Global Digital Elevation Model, Version 2), en formato GeoTIFF, previo registro es libre de descarga (contribución del Ministerio de Economía, Comercio e Industria METI de Japón y la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de Estados Unidos NASA). De la cual se pueden obtener curvas de nivel mas detalladas con intervalos de hasta 10m. ASTER GDEM v2, lanzado en Octubre, 2011:

Link para descarga de ASTER GDEM v2:

<http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/index.jsp>

- *. Lo mejorado GDEM V2 añade 260.000 estéreo-pares adicionales, mejora la cobertura y la reducción de la aparición de artefactos. El algoritmo de la producción refinada proporciona una mejor resolución espacial, una mayor precisión horizontal y vertical, y la cobertura del cuerpo de agua superior y la detección. El ASTER GDEM V2 mantiene el formato GeoTIFF y la misma estructura grillaado y azulejos como V1, con envíos de 30 metros y 1x1 azulejos grado.

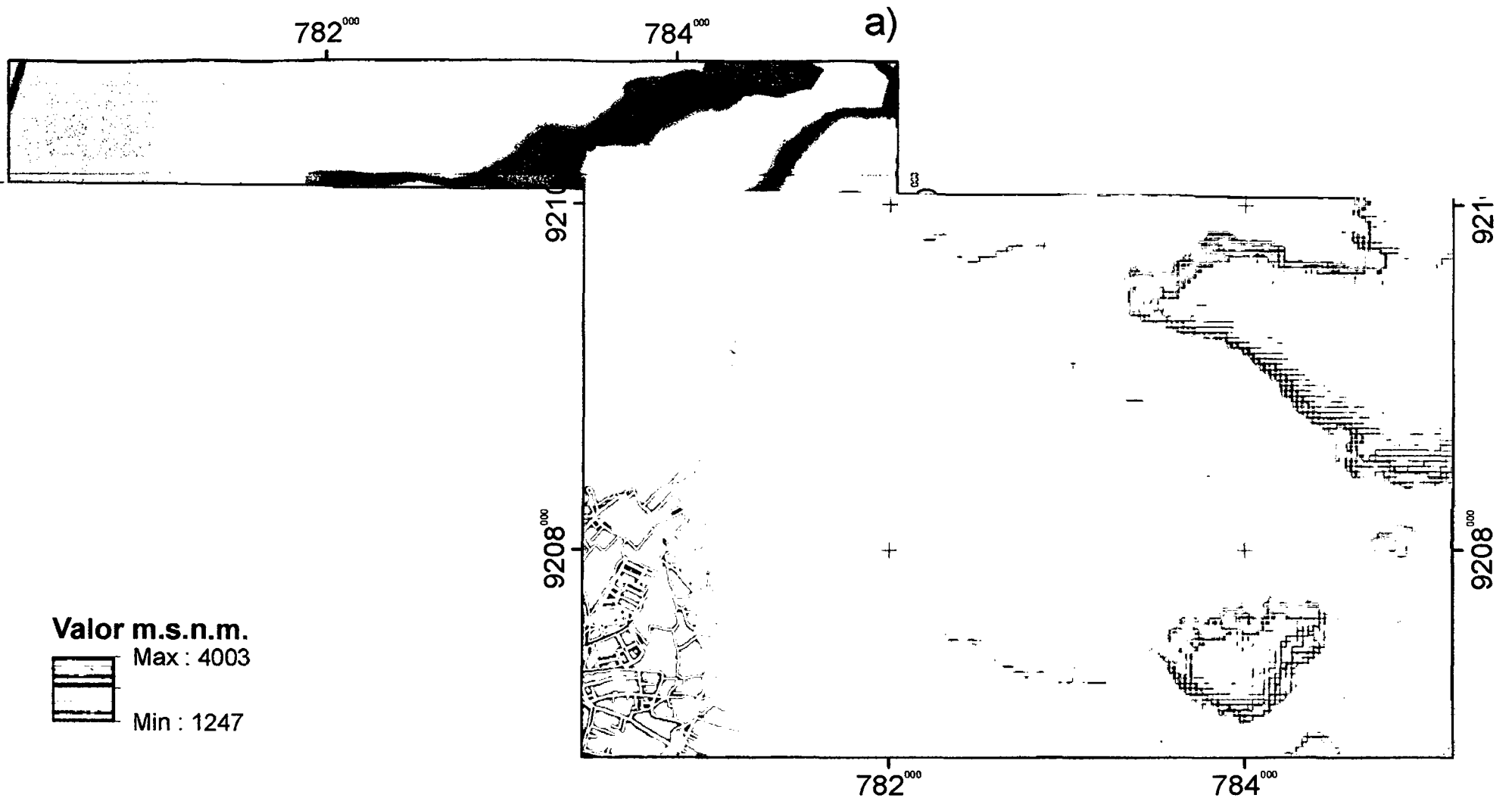


Figura 111. Comparación visual entre la obtención de distintos Raster de la zona de estudio.
 (a) curvas de nivel 50m; (b) ASTER GDEM v1 y (c) ASTER GDEM v2

Fuente: ArcGIS v10.2

Para la obtención del ráster de acumulación de flujo (flow accumulation) es preferible utilizar para la creación un raster de peso (weight raster) como medida de control ya que con esto ayudamos a definir mucho mejor la esorrentía por celdas y así evitar errores como juntas entre líneas de acumulaciones de fujo que no existen el la realidad.

Este raster de peso se debe realizar insitu y antes de empezar con la delimitación de la microcuenca ya que sirve para una serie de procesos como control para acumulación de flujo, para definir los cauces tributarios, definir y medir la longitud mas real de toda la red hídrica, el cauce principal, entre otras.

4.3 ANÁLISIS EN LA OBTENCIÓN DE PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS

Para el siguiente análisis se realiza la comparación de los parámetros morfométricos de la Microcuenca Puyllucana entre el formato tradicional (2D) y el propuesto en el presente estudio de tesis (3D) y de ésta manera interpretar la diferencia entre ambos resultados.

Cuadro 28. Parámetros morfométricos 2D de la microcuenca Puyllucana.

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS 2D - MICROCUENCA PUYLLUCANA	
Descripción General	
Nombre	Microcuenca Puyllucana
Ubicación	Ccpp.Puyllucana, Dits. Los Baños del Inca, Prov. Y Dep. Cajamarca.
Altura	Mínima=2,687 y máxima: 3,303 m.s.n.m.
N° cuadrícula	15g – San Marcos
Punto de salida	UTM Este: 780277.90; Norte: 9210586.34
Datum	WGS84 – Zona 17 sur

Parámetros Generales

	Símbolo	Definición	Valor	Interpretación
Área	A	Representación de la superficie de la cuenca	8.79 km ²	Microcuenca
Perímetro	P	Medición del parteaguas de la cuenca	14.11km	Perímetro de la cuenca
Longitud de la cuenca	L_b	Línea recta desde la salida de la cuenca hasta el parteaguas en su punto más alejado.	5.28 km	Influye en la generación de escorrentía
Longitud del cauce principal		Longitud desde el punto de salida hasta su cabecera	6.31 km	Influyente en el tiempo de concentración
Ancho de la cuenca	W	Relación entre el área 3D y la longitud 3D de la cuenca	1.66 km	Ancho promedio de la cuenca
Desnivel Altitudinal	DA	Representa por la cota mas baja (Hm) y la cota mas alta (HM) de la cuenca.	Hm: 3,303 y HM: 2,687 msnm	Ubicada en el Región Quechua Baja que representa la zona agroecológica del maíz.
Cotas del cauce principal		Representada por la cota inicial del cauce principal (cicp) y la cota final del cauce principal (cfcp).	Cicp: 2,687.15 y Cfcp: 3,100.04 msnm	Valor de altura mínimo y máximo del cauce principal.

	Símbolo	Definición	Valor	Interpretación
Longitud total de cauces		Sumatoria total de todas las longitudes de la red hídrica.	42.98 km	Longitud de toda la red hídrica de la cuenca.
Parámetros de Forma				
Factor de Forma	RF	Relación entre el ancho de la cuenca y su longitud.	0.31	Cuenca alargada
Coeficiente de Compacidad	KC	Relación perímetro de la cuenca y perímetro de círculo de área equivalente.	1.34	Forma oval alargada con tendencia a crecida media.
Rectángulo Equivalente		Rectángulo que tiene igual superficie, perímetro, coeficiente de compacidad y distribución hipsométrica que la cuenca en cuestión.	L: 5.42km l: 1.62km	Las mayores áreas referente a la altitud se ubican entre los rangos de 2900 a 3000 y de 3000 a 3100, representando un 19% y 25% respectivamente
Parámetros de Relieve				
Pendiente media de la cuenca	Sm	Valor cuantitativo pendiente media de la cuenca.	24.53%	Cuenca empinada
Pendiente media del cauce principal	Sc	Valor cuantitativo pendiente media del cauce principal.	10.24%	Ligeramente inclinada a moderadamente empinada.

	Símbolo	Definición	Valor	Interpretación
Curva Hipsométrica		Permite conocer la distribución de masa en la cuenca desde arriba hacia abajo.		Se encuentra en fase de madurez temprana, en la Etapa de Equilibrio. Cuenca madura.
Histograma de Frecuencias Altimétricas		Contienen la misma información que la curva hipsométrica, dando una idea probabilística de la variación de la altura en la cuenca.		La altitud mas frecuente corresponde a un rango entre 3000 y 3100 m.s.n.m.
Altitud media de la cuenca (media)		Corresponde al valor altitudinal en la posición central de la cuenca.	2,995.00 msnm	Nos indica el promedio de la alturas de la microcuenca Puyllucana
Altitud mas frecuente de la cuenca (moda)		Corresponde al valor altitudinal mas frecuente de la cuenca.	3,050.00 msnm	Nos indica el valor de la alturas que mas se repite en la microcuenca Puyllucana.
Altitud frecuencia media (mediana)		Valor de la altitud ubicada al 50% de las alturas de la cuenca.	2,981.82 msnm	Altura que separa la microcuenca en dos partes iguales, cada una cuenta con el cincuenta porciento de los datos.

Parámetros de la Red Hidrológica				
	Símbolo	Definición	Valor	Interpretación
Ordenación Horton - Strahler		Sistema de jerarquización que subdivide la red de drenaje superficial en segmentos de cauce en función del orden de magnitud de los mismos.	Orden 3	Grado de vifurcación de la red hídrica de tercer orden.
Densidad de Drenaje	Dd	Se expresa como el cociente entre la longitud total de los cauces (perennes, intermitentes y efimeros) y el área total de la cuenca.	3.04 km/km ²	Cuenca normalmente drenada, con poca resistencia a la erosión y conformada por materiales blandos.

Cuadro 29. Parámetros morfométricos 3D de la microcuenca Puyllucana.

PARAMETROS MORFOMETRICOS 3D - MICROCUENCA PUYLLUCANA	
Descripción General	
Nombre	Microcuenca Puyllucana
Ubicación	Ccpp.Puyllucana, Dits. Los Baños del Inca, Prov. Y Dep. Cajamarca.
Altura	Mínima=2,687 y máxima: 3,305 m.s.n.m.
N° cuadrícula	15g – San Marcos
Punto de salida	UTM Este: 780277.90; Norte: 9210586.34
Datum	WGS84 – Zona 17 sur

Parámetros Generales				
	Símbolo	Definición	Valor	Interpretación
Área	A	Representación de la superficie de relieve 3D de la cuenca	9.16 km ²	Microcuenca
Perímetro	P	Medición del parteaguas en relieve 3D de la cuenca	14.30km	Perímetro 3D de la cuenca
Longitud de la cuenca	L _b	Línea recta en relieve 3D desde la salida de la cuenca hasta el parteaguas en su punto más alejado.	5.31 km	Influye en la generación de escorrentía
Longitud del cauce principal		Longitud en relieve 3D desde el punto de salida hasta su cabecera	6.34 km	Influyente en el tiempo de concentración
Ancho de la cuenca	W	Relación entre el área 3D y la longitud 3D de la cuenca	1.73 km	Ancho promedio de la cuenca
Desnivel Altitudinal	DA	Representa por la cota mas baja (Hm) y la cota mas alta (HM) de la cuenca.	Hm: 3,305 y HM: 2,687 msnm	Ubicada en el Región Quechua Baja que representa la zona agroecológica del maíz.
Cotas del cauce principal		Representada por la cota inicial del cauce principal (cicp) y la cota final del cauce principal (cfcp).	Cicp: 2,693.99 y Cfcp: 3,099.32 msnm	Valor de altura mínimo y máximo del cauce principal 3D.

	Símbolo	Definición	Valor	Interpretación
Longitud total de cauces		Sumatoria total de todas las longitudes en relieve 3D de la red hídrica.	44.41 km	Longitud 3D de toda la red hídrica de la cuenca.
Parámetros de Forma				
Factor de Forma	RF	relación entre el ancho 3D de la cuenca y su longitud 3D.	0.33	Cuenca alargada
Coefficiente de Compacidad	KC	Relación perímetro 3D de la cuenca y perímetro de círculo de área equivalente.	1.33	Forma oval alargada con tendencia a crecida media.
Rectángulo Equivalente		rectángulo que tiene igual superficie, perímetro, coeficiente de compacidad y distribución hipsométrica que la cuenca en cuestión.	L: 5.46km l: 1.68km	Las mayores áreas referente a la altitud se ubican entre los rangos de 2900 a 3000 y de 3000 a 3100, representando un 19% y 25% respectivamente
Parámetros de Relieve				
Pendiente media de la cuenca	Sm	Valor cuantitativo pendiente media de la cuenca.	25.33%	Cuenca empinada
Pendiente media del cauce principal	Sc	Valor cuantitativo pendiente media del cauce principal.	11.80%	Ligeramente inclinada a moderadamente empinada.

	Símbolo	Definición	Valor	Interpretación
Curva Hipsométrica		Permite conocer la distribución de masa en la cuenca desde arriba hacia abajo.		Se encuentra en fase de madurez temprana, en la Etapa de Equilibrio. Cuenca madura.
Histograma de Frecuencias Altimétricas		Contienen la misma información que la curva hipsométrica, dando una idea probabilística de la variación de la altura en la cuenca.		La altitud mas frecuente corresponde a un rango entre 3000 y 3100 m.s.n.m.
Altitud media de la cuenca (media)		Corresponde al valor altitudinal en la posición central de la cuenca en relieve 3D.	2,982.09 msnm	Nos indica el promedio de la alturas de la microcuenca Puyllucana
Altitud mas frecuente de la cuenca (moda)		Corresponde al valor altitudinal mas frecuente de la cuenca en relieve 3D.	3,049.13 msnm	Nos indica el valor de la alturas que mas se repite en la microcuenca Puyllucana.
Altitud frecuencia media (mediana)		Valor de la altitud ubicada al 50% de las alturas en relieve 3D de la cuenca.	3,044.90 msnm	Altura que separa la microcuenca en dos partes iguales, cada una cuenta con el cincuenta porciento de los datos.

Parámetros de la Red Hidrológica				
	Símbolo	Definición	Valor	Interpretación
Ordenación Horton - Strahler		Sistema de jerarquización que subdivide la red de drenaje superficial en segmentos de cauce en función del orden de magnitud de los mismos.	Orden 3	Grado de vifurcacion de la red hídrica de tercer orden.
Densidad de Drenaje	Dd	Se expresa como el cociente entre la longitud total de los cauces (perennes, intermitentes y efímeros) y el área total de la cuenca 3D.	4.85 km/km ²	Cuenca bien drenada, fácilmente erosionalble y conformada por materiales permeables.

Cuadro 30. Comparación: parámetros morfométricos 2D y 3D - microcuenca Puyllucana.

COMPARACIÓN: PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS 2D Y 3D - MICROCUENCA PUYLLUCANA	
Descripción General	
Nombre	Microcuenca Puyllucana
Ubicación	Ccpp.Puyllucana, Dits. Los Baños del Inca, Prov. Y Dep. Cajamarca.
Altura	Mínima=2,687 y máxima: 3,305 m.s.n.m.
N° cuadrícula	15g – San Marcos
Punto de salida	UTM Este: 780277.90; Norte: 9210586.34
Datum	WGS84 – Zona 17 sur

Parámetros Generales					
	Sím bolo	Valor 2D	Valor 3D	Variación	Interpretación
Área	A	8.79 km ²	9.16 km ²	0.37 km ²	4.21% adicional por la forma del relieve. No varía la clasificación (Microcuenca)
Perímetro	P	14.11 km	14.30 km	190 m	1.35% adicional por la forma del parteaguas en el relieve.
Longitu de la cuenca	L _b	5.28 km	5.31 km	30 m	0.57% adicional en la influencia de generación de escorrentía.
Longitud del cauce principal		6.31 km	6.34 km	30 m	0.48% adicional en la influencia del tiempo de concentración.
Ancho de la cuenca	W	1.66 km	1.73 km	70 m	4.22% adicional por la forma del relieve
Desnivel Altitudinal	DA	Hm: 3,303 y HM: 2,687 msnm	Hm: 3,305 y HM: 2,687 msnm	Hm: 2 y HM: 0 msnm	0.06% adicional por el DEM utilizado
Cotas del cauce principal		Cicp: 2,687.15 y Cfcp: 3,100.04 msnm	Cicp: 2,693.99 y Cfcp: 3,099.32 msnm	Cicp: 6.84 y Cfcp: 0.72 msnm	0.25% adicional por el DEM utilizado
Longitud total de cauces		42.98 km	44.41 km	1.43 km	3.33% adicional en el 3D por el DEM utilizado

Parámetros de Forma					
	Sím bolo	Valor 2D	Valor 3D	Variación	Interpretación
Factor de Forma	RF	0.31	0.33	0.02	6.45% adicional. No varía la clasificación. (Cuenca alargada)
Coefficiente de Compacidad	KC	1.34	1.33	0.01	0.75% restante. No varía la clasificación. (Forma oval alargada con tendencia a crecida media.
Rectángulo Equivalente		L:5.42km l:1.62km	L:5.46km l:1.68km	L: 40m l: 60m	3.70% adicional. No varía la distribución.
Parámetros de Relieve					
	Sím bolo	Valor 2D	Valor 3D	Variación	Interpretación
Pendiente media de la cuenca	Sm	24.53 %	25.33 %	0.8 %	3.26% adicional. Si varía la clasificación. (de empinada a moderadamente empinada)
Pendiente media del cauce principal	Sc	10.24 %	11.80 %	1.56 %	15.23% adicional. No varía la clasificación. (ligeramente inclinada a moderadamente empinada)
Curva Hipsométrica					No varía la clasificación. (cuenca madura)
Histograma de Frecuencias Altimétricas					No varía la distribución. (rango entre 3000 y 3100 m.s.n.m.)
Altitud media de la cuenca (media)		2,995.00 msnm	2,982.09 msnm	12.91 msnm	0.43% restante por el DEM utilizado
Altitud mas frecuente de la cuenca (moda)		3,050.00 msnm	3,049.13 msnm	0.99 msnm	0.03% restante DEM utilizado
Altitud frecuencia media (mediana)		2,981.82 msnm	3,044.90 msnm	63.08 msnm	2.12% adicional. por el DEM utilizado

Parámetros de la Red Hidrológica					
	Sím bolo	Valor 2D	Valor 3D	Variación	Interpretación
Ordenación Horton - Strahler		Orden 3	Orden 3		No varía la clasificación.
Densidad de Drenaje	Dd	3.04 km/km ²	4.85 km/km ²	1.81 km/km ²	Si varía la clasificación. (de normalmente drenada y poco resistente a la erosión a bien drenada y fácilmente erosionable)

4.4 CÁLCULO DE LA OFERTA HÍDRICA DEL CAUDAL

4.4.1 Fórmula Racional

El método racional se utiliza en hidrología para determinar el Caudal Instantáneo Máximo de descarga de una cuenca hidrográfica. (Linsley y Franzini, 2012)

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

Donde:

Q = caudal de escorrentía (m³/s)

C = coeficiente de escorrentía

I = intensidad de la precipitación (mm/h)

A = superficie de la cuenca (ha)

Cuadro 31. Coeficiente de escorrentía para el método racional.

COBERTURA DEL SUELO	TIPO DE SUELO	PENDIENTE (%)				
		> 50	20-50	5-20	1-5	0-1
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Fuente: Benites, et. al. 1980, citado por Lemus y Navarro, 2003.

Cuadro 32. Precipitación mensual en Cajamarca.

Mes	PRECIPITACIÓN MENSUAL (1981-2010)				
	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Rango de Precipitación (mm)	50-100	100-200	100-200	100-200	50-100

Fuente: SENAMHI, 2013

Tenemos precipitación máxima ($P_{m\acute{a}x}$). = 200mm/día = 8.33 mm/h

Oferta hídrica del caudal en 2D:

$$Q_{2D} = \frac{(0.50)(8.33 \text{ mm/h})(879 \text{ ha})}{360} = 10.17 \text{ m}^3/\text{s} = 10,170 \text{ l/s}$$

Oferta hídrica del caudal en 3D:

$$Q_{3D} = \frac{(0.50)(8.33 \text{ mm/h})(916 \text{ ha})}{360} = 10.60 \text{ m}^3/\text{s} = 10,600 \text{ l/s}$$

Diferencia entre caudal 3D y 2D:

$$Q_{3D} - Q_{2D} = 430 \text{ l/s}$$

Por lo tanto, se concluye que existe un déficit en el cálculo que corresponde al 4.23% del caudal aportado en la zona de estudio.

4.5 IDENTIFICACIÓN DE POTENCIALES ÁREAS DE RECARGA ACUÍFERA DENTRO DE LA MICROCUENCA PUYLLUCANA

Intersectando los resultados hidrológicos (flow direction), hidrogeológicos (acuífero principal, acuífero secundario, acuitardo principal) y a la clasificación de pendientes (rango 0-8%), se ha elaborado un plano donde nos indica cuales serían las áreas puntuales mas probables de que ocurra recarga acuífera. (ver plano 07). Las cuales quedarían identificadas (una vez comprobadas por algún método insitu) para preservar y proteger de posibles contaminantes antrópicos.

Cuadro 33. Zonas de recarga acuífera.

Zona	Cerro	Lugar
Norte 1	C° Tuyoloma	El Capullí
Norte 2	C° Mojarron	Chinchin tres cruces
Sur	C° Condorpuñuna	Chinchin tres cruces
Este	C° Coñorpunta	Puyllucana y Alto Otuzco

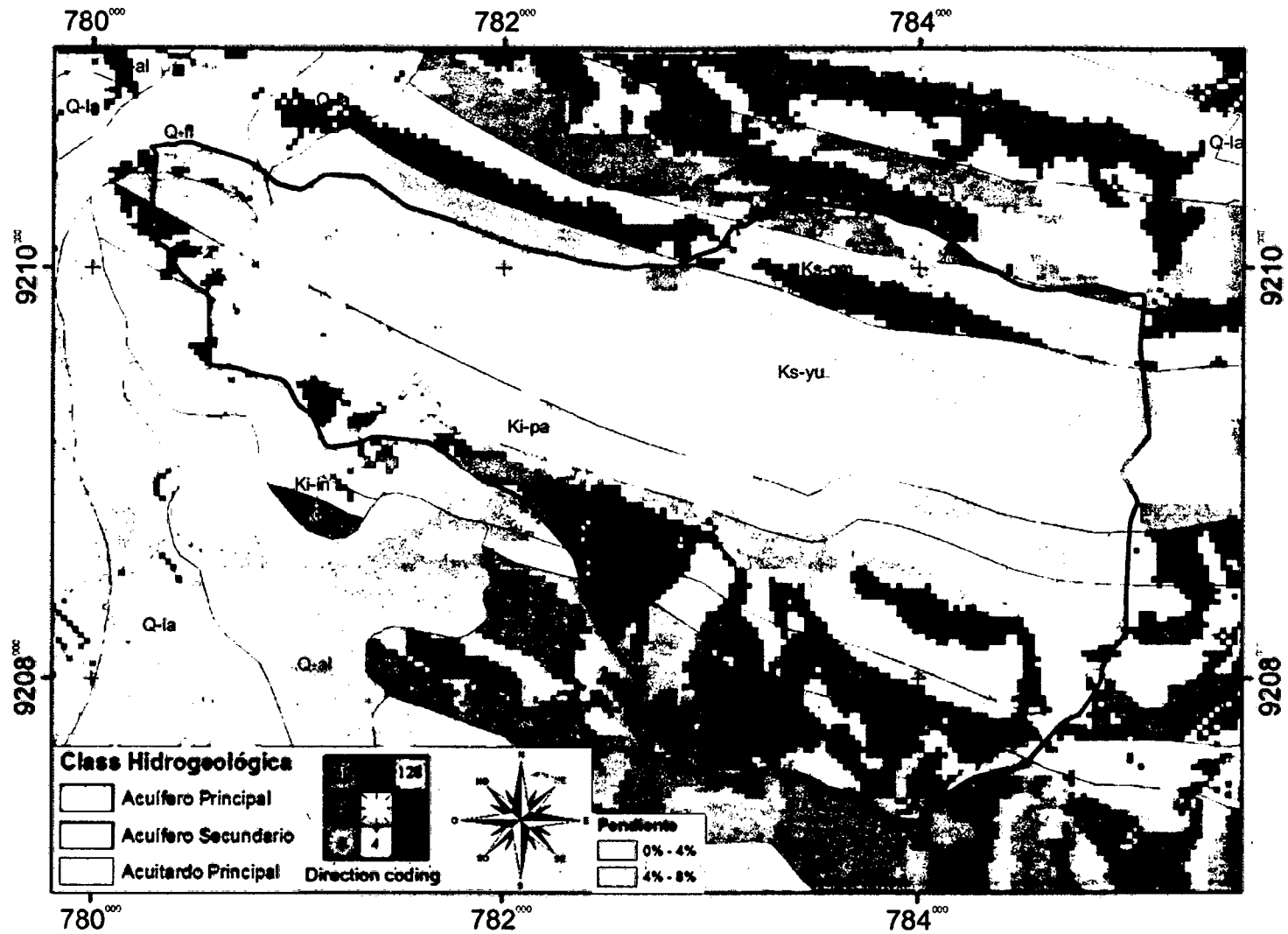
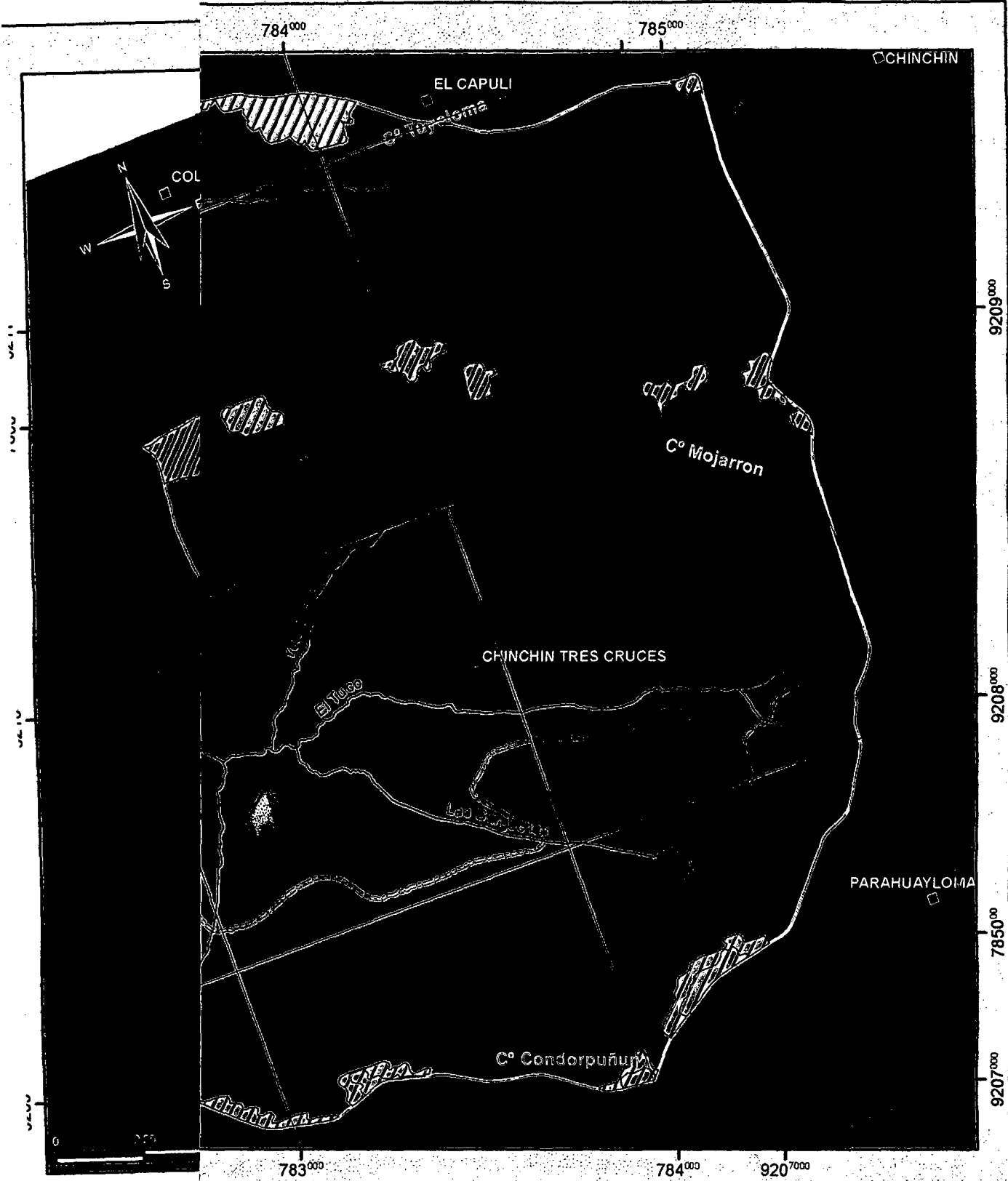
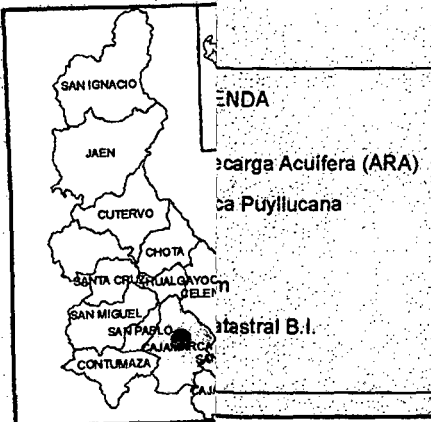


Figura 112. Superposición de los ráster: flow direction, pendientes bajas y los shape: acuífero principal, secundario, acuitardo principal

Fuente: ArcGIS v10.2



DEP.: CAJAMARCA



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica	
	PLANO ÁREAS DE RECARGA ACUÍFERA	
Tesis: Caracterización Hidromorfoométrica de la Microcuenca Puyllucana - Baños del Inca-Cajamarca, Mediante la aplicación ArcGIS		
Tesisista:	Bach. José Luis Alcántara Membrillo	Plano N°:
Asesor:	Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique	07
Escala:	1:15,000	

4.6 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Se determinó la oferta hídrica del caudal aportado en la microcuenca Puyllucana, dando fiabilidad que el valor en relieve 3D es el más cercado a a la realidad.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La microcuenca es estudio estructuralmente se ubica en una zona de plegamiento, entre el anticlinal Baños de Inca y el sinclinal de Otuzco producto de fuertes esfuerzos tectónicos de direcciones NE-SW de edad post-Cretácica; por lo que es el causante en la forma de disposición de las Formaciones Geológicas que se observan superficialmente.
- Se logró hidrogeológicamente clasificar los acuíferos pertenecientes a la microcuenca Puyllucana como: Acuífero principal (Formación Farrat), Acuífero secundario (Formación Cajamarca) y Acuitardo principal (Formación Yumagual).
- Se ha logrado establecer a manera de propuesta con el software ArcGIS, una secuencia de procesos en forma del relieve 3D para la delimitación de microcuencas y obtención de sus parámetros morfométricos, diferenciando una variación de los valores en 2D y en 3D que van desde 0.03% hasta un 15.23% debido un bajo relieve de la microcuenca (cuenca madura).
- La variación del valor del caudal aportado en 2D y en 3D es del 4.23% que representa el porcentaje de error que se comete al no realizarlo de manera mas cercana a la realidad, en relieve 3D.

5.2 RECOMENDACIONES

- Corroborar con otros software de la plataforma SIG, la variación de los datos morfométricos al obtenerlos éstos en forma 2D y en relieve 3D.
- Que se considere como una propuesta de metodología el proceso de obtención de los parámetros morfométricos en relieve 3D realizados con el software ArcGIS.
- Al determinar la oferta hídrica del caudal se sugiere que ésta se hallen en relieve 3D ya que representan un valor mas cercano a la realidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANAYA, O. (2012). Práctica Pre Profesional: Caracterización Morfométrica de la Cuenca Hidrográfica Chinchao, Distrito de Chinchao, Provincia Huanuco, Región Huanuco, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), Tingo María-Perú, 2012.
- APACLLA NALVARTE, R. (2010). Estudio de Máximas Avenidas en las Cuencas de la Zona Centro de la Vertiente del Pacífico. Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos. ANA. Lima-Perú. 185p.
- ARBANESI, G.; VERCESI, V., GONZALES U. (1988): «Análisis geomorfológico de la cuenca superior del río Sauce Chico (Sierras Australes- Prov. de Buenos Aires)». Segundas Jornadas geológicas bonaerenses. Actas. Bahía Blanca, pp. 187-200.
- ARRIAGA, C, AGUILAR, V; ESPINOZA, J. (2009). Regiones prioritarias y planeación para la conservación de la biodiversidad, en capital natural de México. CONABIO. 3 (1): 433-457 pp.
- BARBOZA, E., (2011). Tesis de Maestría en Gestión Integrada de Cuencas: "Desarrollo de la herramienta ArcGIS para el cálculo de indicadores físicos y socioeconómicos de cuencas hidrográficas". Universidad Autónoma de Querétaro. México. 148 pp.
- BREÑA, A.; JACOBO, M, (2006). Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. Coordinación General de Vinculación y Desarrollo Institucional. Universidad Autónoma Metropolitana Ciudad de México. 289pp.
- BUSNELLI, J. (2009). Evolución Histórica, Situación Actual y Perspectivas Futuras del Riesgo de Inundación en la cuenca del Río Gastona. Tucumán. Argentina. Tesis Doctoral de la Carrera de Posgrado en Geología (Inédita). Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo. Universidad Nacional de Tucumán. 629 p
- CECÍLIO,R.; REIS,E. (2006) Apostila didáctica: manejo de bacias hidrográficas. Universidad Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural. 10p.
- CAMPOS ARANDA, D.F. (1998). Procesos del Ciclo Hidrológico. Editorial Universitaria Potosina, tercera impresión. SLP, Mexico.
- CAMPOS, VICENTE F.. (1992) "TQC: Controle da Qualidade Total (No estilo japonês)" - 6ª Edição - Belo Horizonte- MG: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG.
- CLARKE J.I., (1968). Altimetric frequency curve. In: R.W. Fairbridge (ed.): The Encyclopedia of Geomorphology. Reinhold Book Co., 1114p.
- CHOW, V.; MAIDMENT, D.; MAYS, L. (1994). Hidrología Aplicada. Editorial Mc Graw-Hill. Bogotá, Colombia. 583 p.
- CHORLEY, R.; SCHUMM, S.; SUDGEN, D., (1984). Geomorphology. Methuen, London. 605 pp.
- CUSTODIO E.; LLAMAS M. (1983). Hidrología Subterránea. Omega (2 Vol.) 2359 pp.
- DOMÍNGUEZ, F.; GÓMEZ, A; GÓMEZ F. (2003). El análisis morfométrico con sistemas de información geográfica, una herramienta para el manejo de cuencas. Instituto de investigaciones sobre los recursos naturales. Morelia, México.
- EDMUNDO UMAÑA G. (2012). Manejo de Cuencas Hidrográficas y Protección de Fuentes de Agua, Universidad Nacional Agraria-Nicaragua.

- FAO (1985). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Manual de Ordenación de Cuencas. Roma, Italia.
- FAO (1994). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Erosión de suelos en América Latina. Roma. Italia
- FAO (2003) Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. TCP/ARG/2902. Manejo sustentable de ecosistemas forestales de la cuenca Los Pericos - Manantiales. Jujuy – Argentina. 204pp.
- FAUSTINO J. (2002) Manejo de Cuencas con Enfoque en la Prevención de Desastres Naturales. Material para Curso Corto. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE. Tegucigalpa Honduras.
- FAUSTINO J. (1996). Gestión Ambiental Para el Manejo de Cuencas Municipales. Curso Corto. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. CATIE. Managua, Nicaragua.
- FAUSTINO J. (2004). Manual de Manejo de Cuencas. Módulos I al VIII. Publicado por la organización cristiana Word Vision.
- FAUSTINO J. (2006). Curso: Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. Turrialba, Costa Rica.
- FIRCO, (2005)a. Consideraciones generales para la elaboración y la adecuación de planes rectores de producción y conservación (PRPC). Dirección Ejecutiva de desarrollo técnico e institucional. México.
- FIRCO, (2005)b. Guía Técnica para la Elaboración de Planes Rectores de Producción y Conservación (PRPC). México.
- FUENTES J. J. (2004). Análisis Morfométrico de Cuencas: Caso De Estudio del Parque Nacional Pico de Tancitaro. Estudio contratado. Instituto Nacional de Ecología- Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. México. 47pp.
- GREGORY J.K.; WALLING E.D. (1985). Drainage Basin Analysis. The Bath Press. Victoria, Australia. 451 p.
- GASPARI FJ. (2002). Plan de ordenamiento territorial en cuencas serranas degradadas. Aplicación de sistemas de información geográfica. Huelva. España. Ediciones cooperativas. Buenos aires: 179 p.
- GONZALEZ DE VALLEJO, L. 2004. Ingeniería Geológica. PHH-Logman-Pearson
- GRILLO, E.; VALLADOLID, J.; RODRÍGUEZ, et al. (1988). Chetilla, Paradigma cultural Andino. Proyecto Piloto de Ecosistemas Andinos. Cajamarca, Perú. 88 p.
- GASPARI F., RODRÍGUEZ A., SENISTERRA G., et al. (2012). Morphometric characterization of the upper watershed of the Sauce Grande river, Buenos Aires, Argentina. Actas 7mo Congreso de Medio Ambiente AUGM. UNLP. La plata – Argentina.
- GUTIÉRREZ, J. E.; GONZÁLEZ, J.I. (1986), Manual de clases prácticas de hidrología general. Facultad de Geografía, Universidad de Habana, Ciudad de la Habana, Cuba.
- GUTIERREZ ELORZA, M. (1994). Geomorfología de España. Editorial Rueda, Madrid, 526pp.
- GUTIERREZ ELORZA, M. (2008). Geomorfología. Pearson Education, Prentice Hall, Madrid 898pp.
- GREGORY, K.J.; WALLING, D.E. (1973): Drainage basin form and processes. A geomorphological approach. London, Arnold, 472 pp.

- GREENLEE, D. (1987). Raster and Vector Processing for Scanned Linework. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 53 (10): 1383-1387.
- HERAS R. (1976). Hidrología y Recursos Hidráulicos. Inciso 2.8.6: Estimación de aportaciones, páginas 724 a 741. Tomo. Publicación N°120 del servicio de publicaciones del centro de estudios Hidrográficos, Ministerio de Obras Públicas. Madrid, España.
- HERAS, R. (1983): Recursos Hidráulicos. Síntesis. Metodología y Normas. Madrid: Cooperativa de publicaciones del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 631pp.
- HORTON, R.E. (1945): "Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology". *Bulletin of the Geological Society of America*, n° 56.
- HUTTON, J. (1788). "Theory of the Earth; or an Investigation of the Laws observable in the Composition, Dissolution, and Restoration of Land upon the Globe" (Teoría de la Tierra; o una investigación de las leyes observables de la Composición, Disolución y Restauración de Tierras en el Globo), Vol. I, parte II, pp.209-304 y láminas I y II. Edimburgo.
- HORTON, R. (1932): "Drainage basin characteristics". *Am. Geophys. Union Trans*, n°13. pp. 350-361.
- HORTON, R. (1945): "Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology". *Bull. Geol. Soc. Am.* n°56. 275-370pp.
- HORTON, R. (1932-1945). A través de sus dos artículos de referencia internacional "Drainage basin characteristics" 1932 y "Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology" 1945.
- INDECI, (2005). PNUD-PER/02/051. Mapa de Peligros de la Ciudad De Baños del Inca. Instituto Nacional de Defensa Civil, Informe Final. 315pp.
- INDECI, (2005). PNUD-PER/02/051. Programa de Prevención y Medidas de Mitigación ante Desastres de la Ciudad de los Baños del Inca. 228pp.
- INGEMMET (1995). Geología del Perú; INGEMMET: Bol. N°55- Serie A.
- INGEMMET (2006). II Workshop "Desarrollo de Aguas Termales y Medicinales En El Perú: Cajamarca Y Churín", 28 Y 29 Septiembre, Lima, Perú.
- INGEMMET (2015). IV Encuentro Científico Aportando al conocimiento de Aguas Subterráneas. 30 de Marzo: "Modelo Hidrogeológico de Las Fuentes Termales de Baños del Inca - Cajamarca" por MSc. Ing. Fluquer Peña Laureano. 45pp.
- ISC (2015). International Commission on Stratigraphy. El Gráfico "International Chronostratigraphic Chart" *Episodios* 36: 199-204.
- IBÁÑEZ, S., MORENO H., GISBERT, J., (2011). Morfología de las cuencas hidrológicas. Escuela Politécnica de Valencia. 2-12 pp.
- JIMÉNEZ F. (2002). Manejo de Cuencas y Prevención de Desastres. Curso Corto. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE. Managua Nicaragua.
- JIMÉNEZ, F. (2005). Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. Enfoques y Estrategias Actuales. *Catie recursos, Ciencia y decisión*. No.2.
- JARDÍ, M. (1985). Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*, n° XIX, pp. 41-68.

- JONES, J.A. (1997): Global hydrology: processes, resources and environmental management. London, Addison-Wesley, 399 pp.
- KRUMBEIN C., SLOSS, L. (1963). Stratigraphy and sedimentation, San Francisco, W. H. Freeman, 1963.
- LAGOS, A. (2009). Tesis de maestría: Estudio Estratigráfico y Estructural del sector sur-este de la Cuenca Holocénica Ronquillo. Cajamarca-Perú. Escuela de Postgrado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- LAGOS, A., QUISPE Z. (2007). Trabajo científico tema Geología (IT-106): Aplicaciones de Análisis de Cuencas Sedimentarias a la Serie Cretácica en el Área de Cajamarca, XXVIII Convención Minera, Arequipa-Perú. 27pp.
- LAGOS, A., QUISPE, Z., et. al. (2011). Aportes al Análisis de Cuencas Sedimentarias en los Alrededores de las Localidades de los Baños del Inca, Cruz Blanca, Otuzco, Distrito de Cajamarca. Investigación presentada al XIII Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos Sociedad Geológica del Perú. UNC-INGEMMET.
- LINSLEY, RAY, KOHLER, et al. (1977). Hidrología para ingenieros. Mc Graw-Hill. 2da Edición. México, D.F.
- LÓPEZ CADENAS F. (1998). Restauración Hidrológica Forestal de cuencas y Control de la Erosión. Ingeniería Medioambiental, TRAGSATEC, Ministerio de Medio Ambiente. Editorial Mundi Prensa. España: 945p.
- LONDOÑO A., CALOS H. (2011). Cuencas hidrográficas: Bases conceptuales – caracterización Planificación-Administración. Universidad Del Tolima. Ibagué, Colombia. 359pp.
- LAWRENCE DINGMAN, S. (2002). Physical hidrology, second edition. Editorial Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ. USA.
- LLAMAS, J. (1993). Hidrología general: Principios y aplicaciones Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco.
- MAIDMENT, D.R., (1992), Handbook of hydrology: San Francisco, Calif., McGraw-Hill, variously paged.
- MAIDNET D. R., (1993), Developing a Spatial Distributed Unit Hydrograph by Using GIS, Application of Geographic Informations Systems in Hydrology and Water Resources Management, ed. K. Kovar and H. P. Nachtnebel, Vienna Austria, April.
- MEJÍA W. (2012). Tesis: Estudio Sedimentológico y Estratigráfico del caserío de Puyllucana-Otuzco, Cajamarca-2012. Universidad Nacional de Cajamarca.
- MUSY, A. (2001). E-Drologie. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausana, Suisse.
- ONERN (1977). Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales, en su informe: INVENTARIO, EVALUACION Y USO RACIONAL DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA ZONA NORTE DE CAJAMARCA. Volúmen I. Lima-Perú. 1977. 375pp.
- PÉREZ M, RODRÍGUEZ J. (2009). Apuntes de Hidrología Superficial. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. 115pp.
- RACCA J.M., (2007). Análisis hipsométrico, frecuencia altimétrica y pendientes medias a partir de modelos digitales del terreno. Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología 77(1-2): 31-38. Rosario, 01-10-2007. ISSN 1666-115X.
- REICH, V., MARCHIG, V., SUNKEL G. et. al. (1990): Hydrothermal and volcanic input in sediments of the Lau backarc Basin, SW Pacific. Marine Mining. pp.183-203.

- REMENIERAS, G. (1974). Tratado de hidrología aplicada. Editores Técnicos Asociados, S.A.; España.
- REYES L. (1980). Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba; INGEMMET: Bol. N°31- Serie A.
- ROBERT, E., BULOT, L., DHONT, A., et. al. (1998). La Transgresión del Cretáceo Inferior en el Margen Andino (Perú-Ecuador): Datos Preliminares. Publicado en el boletín de la Sociedad Geológica del Perú v.88. pp. 73-86.
- ROCHA, M. e KURTZ, M. (2001). Manejo integrado de bacias hidrográficas. 4ª ed. Santa Maria, Imprensa Universitária. 302pp.
- ROCHE, M. (1963). Hydrologie de surface. Gauthier-Villars y Orstom, París, Francia.
- RUIZ, J. (2001). Hidrología; Evolución y visión sistémica, la morfometría de cuencas como aplicación. UNELLEZ. Barinas - Venezuela. 298pp.
- RUIZ, F., INTROCASO A., (2001). Geophysical indicators of Neogene strike-slip faulting in the Desaguadero-Bermejo tectonic lineament (northwestern Argentina). Journal of South American Earth Sciences 14: 655-663pp.
- RSI, (1999). Reserach, Systems, Inc. RiverTools Version 2.0 User's Guide.
- SANCHEZ A., SANCHEZ S. (2010). Mapa de Pisos Altitudinales. Gobierno Regional de Cajamarca. 13pp.
- SANCHEZ, P., (2006). Cajamarca: lineamientos para una política regional de medio ambiente- anexo: la gestión integral de cuencas en la región cajamarca. Vol.3.
- SANCHEZ, M. (2008). Correlacion de datos tomados por percpeccion remota con características hidrogeológicas. Quito-Ecuador.26pp.
- SCHEIDEGGER, A.E. (1965). The algebra of Stream-Order Numbers. United States Geological Survey Professional Paper 525-B, 187pp.
- SENCIALES, J.M. (1999): Redes fluviales. Metodología de Análisis. Estudios y Ensayos, 34. Universidad de Málaga, 337pp.
- SIATL (2011). Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas. 17 de Octubre de 2011. Mexico. 70 pp.
- STENO, N. (1669). De Solido Intra Solidum Naturaliter Contento Dissertationis Pródromus. Discurso preliminar de una disertación sobre los cuerpos sólidos de manera natural contenidos en un sólido, Florencia.
- SMITH, W. (1815). A delineation of the Strata of England and Wales, whit Part of Scotland. Delineación de los estratos de Inglaterra y Gales, con parte de Escocia, London.
- STRAHLER A.N., 1952. Hypsometric area-altitude analysis of erosional topography. Bulletin of the Geological Society of America 63: 1117-1142.
- STRAHLER, A.N. (1964): Quantitative geomorphology of drainage basins and cannel networks. In Chow, V.T. (Ed.): Handbook of applied hydrology. 4-39/4-76.
- STRAHLER, A.N. (1964): Hypsometric (área-altitude) analysis of erosional topografy. Bull geol. Soc. Amer.
- STRAHLER, A. (1964): Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks, V.T. (ed): Manual de la Hidrología Aplicada. Nueva York, pp.4.40-4.74.
- SUAREZ RUBI, María C. Cuenca Hidrográfica 3-Clase5. 19 de setiembre 2010. 23pp.
- TAYLOR A., SCHWARZ H., (1952). Unit-hydrograph lag and peak flow related to basin characteristics. American Geophysical Union Trans. 33(2):235-246.

- VALENZUELA, C. (1989). Introducción a los Sistemas de Información Geográfica. IGAC. Subdirección de Docencia e Investigación. (CIAF). Santa Fé de Bogotá. Colombia: 65 pp.
- VERSTAPPEN, H., (1983). Applied geomorphology. Geomorphological surveys for environmental development. ITC, Enschede, The Netherlands.
- VILLON, M. (2002). Hidrología. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Facultad de Ingeniería Agrícola. 2° Edic. Ediciones Villon. Lima, Perú. p. 15 -64.
- VILLON, M. (2004). Drenaje. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Agrícola. Ed. Editorial Centro de Información Tecnológica (CIT). Cartago - CR. 544 p.
- VIRAMONTES, O., ESCOBOZA, F., PINEDO, A., et.al. (2007). Morfometría de la cuenca del río San Pedro Conchos, Chihuahua. TECNOCENCIA Chihuahua. 1 (3): 21-31 pp.
- VIRAMONTES, O., PINEDO C., REYES V., et. al. (2012). Caracterización Geomorfológica e Hidrodinámica de la Subcuenca San Pedro dentro del Complejo Hidrológico del Río Conchos. Departamento de Recursos Naturales, Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua. México. 10pp.
- YACAY, J. (2005). Análisis de la Sedimentación del Sistema Cretáceo de los Andes del Perú Central, publicada en la Revista del Instituto de Investigación FIGMMG Vol. 8, N.º 15, 49-59 de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

LINKOGRAFÍA


- AQUATIC: Optimización de la acuicultura marina de jaulas flotantes en Tenerife, Islas Canarias, mediante el uso de modelos basados en (SIG), Artículo publicado en la Revista AquaTIC nº 17, octubre 2002. Disponible en:
<http://www.revistaaquatic.com/aquatic/art.asp?t=h&c=151>
- CURSO: Gestión Integral de Cuenca Hidrográficas, Cali-Colombia. Del 17 al 20 de Octubre del 2006. Disponible en:
<http://es.scribd.com/doc/52595957/CURSO-BASICO-DE-MANEJO-DE-CUENCAS-HIDROGRAFICAS>
- BLOG: Agua y SIG. Tema: Perfil del cauce principal de la cuenca con ArcGis. 2013. Disponible en:
<http://www.aquaysig.com/2013/12/perfil-del-cauce-principal-de-la-cuenca.html>
- BLOG: Agua y SIG. Tema: Pendiente media de una cuenca con ArcGis. 2012. Disponible en:
<http://www.aquaysig.com/2011/06/pendiente-media-de-una-cuenca-con.html>
- BLOG: Agua y SIG. Tema: Análisis Morfométrico de una cuenca. 2013. Disponible en:
<http://www.aquaysig.com/2013/10/analisis-morfometrico-de-una-cuenca.html>
- BLOG: Agua y SIG. Tema: Curva hipsométrica de la cuenca con ArcGIS. 2013. Disponible en:
<http://www.aquaysig.com/2013/10/curva-hipsometrica-de-la-cuenca-con.html>
- BLOG: Agua y SIG. Tema: Orden de la red hídrica de una cuenca con ArcGis. 2013. Disponible en:
<http://www.aquaysig.com/2013/11/orden-de-la-red-hidrica-con-arccgis.html>

- BLOG: Agua y SIG. Tema: Densidad de drenaje con de una cuenca con ArcGis. Disponible en: <http://www.aguaysig.com/2013/11/densidad-de-drenaje-con-arcgis.html>
- BLOG: Agua y SIG. Tema: Perfil del cauce principal de la cuenca con ArcGis. Disponible en: <http://www.aguaysig.com/2013/12/perfil-del-cauce-principal-de-la-cuenca.html>
- BLOG. Comisión de cuenca valle de Bravo – Amanalco. Revisado el 15 de julio 2014. Disponible en: <http://cuencaamanalcovalle.org/sec01.php>.
 - BLOG: GML JAVIER – Cuenca Hidrográficas. Disponible en: <http://gmljavier.blogspot.com/2012/03/cuenca-hidrograficas-una-cuenca.html>
 - BLOG DE GFRANZ – Calcular automáticamente los parámetros morfométricos de una cuenca. Publicado el 09 de julio 2012. Por Franz Leonardo. Disponible en: <http://acolita.com/calcular-automaticamente-parametros-morfometricos-cuenca-idrisi-arcgis/>
 - BLOG DE GFRANZ – Delimitar una cuenca hidrográfica en ArcGIS. Publicado el 03 de noviembre 2011. Por Franz Leonardo. Disponible en: <http://acolita.com/delimitar-automaticamente-micro-cuenca-hidrografica-especifica-en-arcgis/>
 - BLOG DE GFRANZ – Calcular pendiente media de la red hídrica de una cuenca en ArcGIS. Publicado el 31 de agosto 2011. Por Franz Leonardo. Disponible en: <http://acolita.com/como-calcular-pendiente-media-de-una-cuenca-hidrografica-en-arcgis/>
 - BLOG DE GFRANZ: Uso de la aplicación ModelBuilder en ArcGIS. Publicado el 06 de marzo 2012. Por Franz Leonardo. Disponible en: <http://acolita.com/manual-uso-de-la-aplicacion-herramienta-modelbuilder-en-arcgis/>
 - BLOG DE GLEM: Determinación de las características físicas de la cuenca. Publicado el 20 de junio 2011. Por Glem de la Universidad Nacional del Nordeste. Disponible en: <http://es.slideshare.net/ycrcyujay/hidro-tp1calcula>
 - BLOG SUAREZ RUBI, MARIA C. Cuenca Hidrográfica5-clase7. Publicado el 19 de septiembre del 2010. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/37731211/Cuenca-Hidrografica-5-clase-7>
 - BLOG: Datateca UNAD; Concepto de Cuenca, 2012. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/356019/CONTENIDO_EXE/EXE%20Contenido%20Curso/leccin_1_concepto_de_cuenca.html
 - BLOG: Comisión de cuenca valle de Bravo-Amanalco, 2012. Disponible en: <http://www.cuencaamanalcovalle.org/sec01.php>
 - BLOG: Tutoriales al Día-Ingeniería Civil: Características Físicas de la cuenca Hidrográfica, 2010-2013. Disponible en: <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/la-cuenca-hidrografica/>
 - BLOG: Tutoriales al Día – Ingeniería Civil: Cálculo de la Pendiente Media del Cauce Principal de una Cuenca Hidrográfica. 2010-2013. Disponible en: <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/calculo-de-la-pendiente-media-del-cauce-principal-de-una-cuenca-hidrografica/>
 - BLOG: Cantabricalia, Immania Saxa - (Ex Cantabrica Semper Aliquid Novi). España, 02 de febrero del 2014. Disponible en: <http://cantabricalia.wordpress.com/>
 - BLOG: Carlos Miguel Vereau Plama. Tema: Curva Hipsométrica. 16 de junio del 2014. Disponible en: <http://es.slideshare.net/carlosmiguelvereauplama/curva-hipsometrica>


- BLOG: Géologues Prospecteurs. Tema: Karst. 31 de octubre del 2014. Disponible en:
<http://www.geologues-prospecteurs.fr/documents/karst/>
- BLOG: Mundolimpio11. Tema: La importancia vital de la cuenca hidrográfica. Publicado el 07 de julio del 2011. Disponible en:
<http://www.geologues-prospecteurs.fr/documents/karst/>
- BLOG: María Cecilia Suarez Rubi. Tema: Cuenca Hidrográfica 3-clase 5. 23pp. Publicado el 19 de setiembre del 2010. Disponible en:
<http://es.scribd.com/doc/37731622/Cuenca-Hidrografica-3-clase-5>
- BLOG: Web del profesor. Tema: Cap 4 - Geomorfología de Cuencas. 2012. Disponible en: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oguerre/4_Geomorfologia.pdf
- BLOG: BuenasTareas.com. Tema: Parámetros Morfológicos de la Subcuenca del Río Andamayo. 2012. Disponible en:
<http://dc440.4shared.com/doc/8A16zMRx/preview.html>
- BLOG: webdelprofesor.ula.ve. Tema: Geomorfología de Cuencas. Disponible en:
<http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oguerre/>
- BLOG: Oocities.org. Tema: Morfometría II. 2009. Disponible en:
<http://www.oocities.org/es/luisfuentes72/gps/infografia/sig14.htm>
- BIBLIOTECA VIRTUAL UNAD (Universidad Nacional Abierta y a Distancia), Curso de Hidrología, Bogotá-Colombia, 2013. Disponible en:
http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30172/MODULO%20HIDROLOGIA/leccin_14_caracteristicas_del_rea_de_captacin.html
- IHMC CMAP TOOLS - Mapa Conceptual Hidrósfera. Disponible en:
<http://cmapspublic.ihmc.us/rid=1LHPY5R8L-1CG197P-XGW/6.4%20Aguas%20continentales.cmap>
- OSERM: Observatorio de la Sostenibilidad en la Región de Murcia, 2012. Edificio D 2ª Planta, Campus de Espinardo. 30100 Espinardo. Murcia. Disponible en:
http://www.um.es/oserm/lineas_trabajo.html
- UNIVERSIDAD DE SONORA – México, departamento de ingeniería Civil y Minas. Disponible en:
<http://clima.dicym.uson.mx/HIDRAULICA/INTRODUCCION/cuencas.htm>
- WIKIPEDIA: Gradiente térmico. 30 jun 2014. Disponible en:
http://es.wikipedia.org/wiki/Gradiente_t%C3%A9rmico

ANEXOS


Cuadro 34:

FICHA 01 - DATOS HIDROGEOLÓGICOS						
N	E	C	Fecha	Hora		
8208423	704813	3143	18-08-2015	9:28am		
Código		CMP-01		9:28am		
Sector		Chimchim Tres Cruces				
Distrito:		Baños del Inca				
Provincia:		Cajamarca				
Departamento:		Cajamarca				
Tipo de fuente:		Manantial	Captación	X		
Régimen de flujo		Permanente	X	Intermitente		
Uso:		Doméstico				
Unidad Hidrogeológica:		Acuitardo - Fm. Chúlec				
Caudal (l/s)	Método de medición	Respon_sable				
-	-	L.A.				
Observaciones: Ref. Se ubica al sur del C° Mojarrón No se pudo tomar caudal.						
Fig. 113 Captación 01						


Cuadro 35:

FICHA 02 - DATOS HIDROGEOLÓGICOS						
N	E	C	Fecha	Hora		
8208434	704810	3144	18-08-2015	9:30am		
Código		CMP-02		9:30am		
Sector		Chimchim Tres Cruces				
Distrito:		Baños del Inca				
Provincia:		Cajamarca				
Departamento:		Cajamarca				
Tipo de fuente:		Manantial	Captación	X		
Régimen de flujo		Permanente	X	Intermitente		
Uso:		Doméstico y riego				
Unidad Hidrogeológica:		Acuitardo - Fm. Chúlec				
Caudal (l/s)	Método de medición	Respon_sable				
-	-	L.A.				
Observaciones: Ref. Se ubica al sur del C° Mojarrón No contenía agua.						
Fig. 114 Captación 02						


Cuadro 36:

FICHA 03 - DATOS HIDROGEOLÓGICOS						
N	E	C	Fecha	Hora		
8208434	704814	3144	18-08-2015	9:36am		
Código		MMP-01		9:36am		
Sector		Chimchim Tres Cruces				
Distrito:		Baños del Inca				
Provincia:		Cajamarca				
Departamento:		Cajamarca				
Tipo de fuente:		Manantial	X	Captación		
Régimen de flujo		Permanente	X	Intermitente		
Uso:		Doméstico, distrución para otras captaciones.				
Formación Geológica:		Acuitardo - Fm. Chúlec				
Caudal (l/s)	Método de medición	Respon_sable				
-	-	L.A.				
Observaciones: Ref. Se ubica al Sur del C° Mojarrón No se pudo tomar caudal. Se encuentra encofrado con cemento.						
Fig. 115 Manantial 01						


Cuadro 37:

FICHA 04 - DATOS HIDROGEOLÓGICOS						
N	E	C	Fecha	Hora		
8208801	704800	3090	18-08-2015	10:22am		
Código		RMP-01		10:22am		
Sector		Chimchim Tres Cruces				
Distrito:		Baños del Inca				
Provincia:		Cajamarca				
Departamento:		Cajamarca				
Tipo de fuente:		Manantial	Reservorio	X		
Régimen de flujo		Permanente	Intermitente	X		
Uso:		Riego				
Unidad Hidrogeológica:		Acuitardo - Fm. Pariatambo				
Caudal (l/s)	Método de medición	Respon_sable				
-	-	L.A.				
Observaciones: Ref. Se ubica al Sur del C° Mojarrón. L*A*P = 3.40*1.70*0.5 m						
Fig. 116 Reservorio 01						

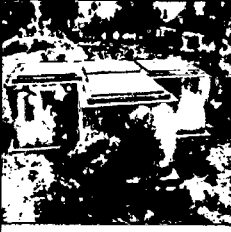
Cuadro 38:

FICHA 05 - DATOS HIDROGEOLÓGICOS						
N	E	C	Fecha	Hora		
92008503	784459	3088	19-06-2015	10:25am		
Código		CMP-03		10:25am		
Sector: Chimchim Tres Cruces						
Distrito: Baños del Inca						
Provincia: Cajamarca						
Departamento: Cajamarca						
Tipo de fuente:		Manantial	Captación	X		
Régimen de flujo		Permanente	Intermitente	X		
Uso: Riego						
Unidad Hidrogeológica:		Acuitardo - Fm. Pariatambo				
Caudal (l/s)	Método de medición	Respon_sable				
0.069	vaso y cronóm.	L.A.				
Observaciones: Ref. Se ubica al SW del C° Mojarrón El agua sale por un tubo de ½"						
Fig. 117 Captación 03						


Cuadro 39:

FICHA 06 - DATOS HIDROGEOLÓGICOS						
N	E	C	Fecha	Hora		
9200811	784459	3092	19-06-2015	10:38am		
Código		CMP-04		10:38am		
Sector: Chimchim Tres Cruces						
Distrito: Baños del Inca						
Provincia: Cajamarca						
Departamento: Cajamarca						
Tipo de fuente:		Manantial	Captación	X		
Régimen de flujo		Permanente	Intermitente	X		
Uso: Doméstico y riego						
Unidad Hidrogeológica:		Acuitardo - Fm. Pariatambo				
Caudal (l/s)	Método de medición	Respon_sable				
-	-	L.A.				
Observaciones: Ref. Se ubica al Sur del C° Mojarrón Captación tipo muro seco. L°A.=2.30*1.56 m						
Fig. 118 Captación 04						


Cuadro 40:

FICHA 07 - DATOS HIDROGEOLÓGICOS						
N	E	C	Fecha	Hora		
9200823	784459	3247	19-06-2015	11:20am		
Código		CMP-05		11:20am		
Sector: Chimchim Tres Cruces- El Capuñi						
Distrito: Baños del Inca						
Provincia: Cajamarca						
Departamento: Cajamarca						
Tipo de fuente:		Manantial	Captación	X		
Régimen de flujo		Permanente	Intermitente	X		
Uso: Doméstico y riego						
Unidad Hidrogeológica:		Acuitardo - Fm. Yumagual				
Caudal (l/s)	Método de medición	Respon_sable				
-	-	L.A.				
Observaciones: Ref. Se ubica al NW del C° Mojarrón. Sin agua. No tiene válvulas para repartir el agua.						
Fig. 119 Captación 05						


Cuadro 41:

FICHA 08 - DATOS HIDROGEOLÓGICOS						
N	E	C	Fecha	Hora		
9200813	784431	3236	19-06-2015	11:37am		
Código		CMP-06		11:37am		
Sector: El Capuñi						
Distrito: Baños del Inca						
Provincia: Cajamarca						
Departamento: Cajamarca						
Tipo de fuente:		Manantial	Captación	X		
Régimen de flujo		Permanente	Intermitente	X		
Uso: Doméstico y riego						
Unidad Hidrogeológica:		Acuitardo - Fm. Yumagual				
Caudal (l/s)	Método de medición	Respon_sable				
-	-	L.A.				
Observaciones: Ref. Se ubica al SW del C° Mojarrón. Sin Agua. Cerca de una casa						
Fig. 120 Captación 06						


Cuadro 42:

FICHA 09 - DATOS HIDROGEOLÓGICOS						
N	E	C	Fecha	Hora		
9209805	784258	3082	19-08-2015	12:03pm		
Código		MMP-02		12:03pm		
Sector		El Capulí				
Distrito:		Baños del Inca				
Provincia:		Cajamarca				
Departamento:		Cajamarca				
Tipo de fuente:		Manantial	X	Captación		
Régimen de flujo		Permanente	X	Intermitente		
Uso:		Doméstico				
Unidad Hidrogeológica:		Acuitardo - Fm. Quiquiñafi Mujarrun				
Caudal (l/s)	Método de medición	Respon_sable				
-	-	L.A.				
Observaciones: Ref. Se ubica al SW del C° Tuyoloma. L*A*P = 2.80*1.30*0.35 m						
Fig. 121 Manantial 02						


Cuadro 43:

FICHA 10 - DATOS HIDROGEOLÓGICOS						
N	E	C	Fecha	Hora		
9210003	784115	3067	19-08-2015	12:39pm		
Código		CMP-07		12:39pm		
Sector		El Capulí				
Distrito:		Baños del Inca				
Provincia:		Cajamarca				
Departamento:		Cajamarca				
Tipo de fuente:		Manantial		Captación	X	
Régimen de flujo		Permanente		Intermitente	X	
Uso:		Doméstico				
Unidad Hidrogeológica:		Acuitardo - Fm. Quiquiñafi Mujarrun				
Caudal (l/s)	Método de medición	Respon_sable				
-	-	L.A.				
Observaciones: Ref. Se ubica Oeste del C° Tuyoloma.						
Fig. 122 Captación 07						


Cuadro 44:

FICHA 11 - DATOS HIDROGEOLÓGICOS						
N	E	C	Fecha	Hora		
9209804	784064	3061	19-08-2015	12:40pm		
Código		CMP-08		12:40pm		
Sector		El Capulí				
Distrito:		Baños del Inca				
Provincia:		Cajamarca				
Departamento:		Cajamarca				
Tipo de fuente:		Manantial		Captación	X	
Régimen de flujo		Permanente		Intermitente	X	
Uso:		Doméstico				
Unidad Hidrogeológica:		Acuitardo - Fm. Yumagual				
Caudal (l/s)	Método de medición	Respon_sable				
-	-	L.A.				
Observaciones: Ref. Se ubica al Oeste del C° Tuyoloma.						
Fig. 123 Captación 08						


Cuadro 45:

FICHA 12 - DATOS HIDROGEOLÓGICOS						
N	E	C	Fecha	Hora		
9210014	784010	3058	19-08-2015	12:40pm		
Código		CMP-09		12:40pm		
Sector		El Capulí				
Distrito:		Baños del Inca				
Provincia:		Cajamarca				
Departamento:		Cajamarca				
Tipo de fuente:		Manantial		Captación	X	
Régimen de flujo		Permanente		Intermitente	X	
Uso:		Doméstico				
Unidad Hidrogeológica:		Acuitardo - Fm. Yumagual				
Caudal (l/s)	Método de medición	Respon_sable				
-	-	L.A.				
Observaciones: Ref. Se ubica al oeste del C° Tuyoloma. Reservorio para una vivienda						
Fig. 124 Captación 09						


Cuadro 46:

FICHA 13 - DATOS HIDROGEOLÓGICOS						
N	EI	C	Fecha	Hora		
9210023	783609	3015	19-08-2015	12:52pm		
Código		RMP-02		12:52pm		
Sector		El Capulí				
Distrito:		Baños del Inca				
Provincia:		Cajamarca				
Departamento:		Cajamarca				
Tipo de fuente:		Manantial	Reservorio	X		
Régimen de flujo		Permanente	Intermitente	X		
Uso:		Doméstico y riego				
Unidad Hidrogeológica:		Acuitardo - Fm. Quiquiñañ Mujarrun				
Caudal (l/s)	Método de medición	Respon_sable				
-	-	L.A.				
Observaciones: Ref. Se ubica al Oeste del C° Tuyoloma. L*A*P = 5.22*2.35*0.40 m						
Fig. 125 Reservorio 02						


Cuadro 47:

FICHA 14 - DATOS HIDROGEOLÓGICOS						
N	EI	C	Fecha	Hora		
9210028	783629	3017	19-08-2015	12:57pm		
Código		RMP-03		12:57pm		
Sector		El Capulí				
Distrito:		Baños del Inca				
Provincia:		Cajamarca				
Departamento:		Cajamarca				
Tipo de fuente:		Manantial	Reservorio	X		
Régimen de flujo		Permanente	Intermitente	X		
Uso:		Doméstico y riego				
Unidad Hidrogeológica:		Acuitardo - Fm. Quiquiñañ Mujarrun				
Caudal (l/s)	Método de medición	Respon_sable				
-	-	L.A.				
Observaciones: Ref. Se ubica al Oeste del C° Tuyoloma. L*A*P = 5.0*2.0*0.40 m						
Fig. 126 Reservorio 03						

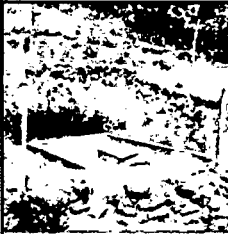
Cuadro 48:

FICHA 15 - DATOS HIDROGEOLÓGICOS						
N	EI	C	Fecha	Hora		
9210030	783627	3018	19-08-2015	12:58pm		
Código		CMP-10		12:58pm		
Sector		El Capulí				
Distrito:		Baños del Inca				
Provincia:		Cajamarca				
Departamento:		Cajamarca				
Tipo de fuente:		Manantial	Captación	X		
Régimen de flujo		Permanente	Intermitente	X		
Uso:		Doméstico y riego				
Unidad Hidrogeológica:		Acuitardo - Fm. Yumagual				
Caudal (l/s)	Método de medición	Respon_sable				
-0.32	Balde y cronóm.	L.A.				
Observaciones: Ref. Se ubica al Oeste del C° Tuyoloma.						
Fig. 127 Captación 10						


Cuadro 49:

FICHA 16 - DATOS HIDROGEOLÓGICOS						
N	EI	C	Fecha	Hora		
9210144	783612	3031	19-08-2015	1:08pm		
Código		RMP-04		1:08pm		
Sector		El Capulí				
Distrito:		Baños del Inca				
Provincia:		Cajamarca				
Departamento:		Cajamarca				
Tipo de fuente:		Manantial	Reservorio	X		
Régimen de flujo		Permanente	Intermitente	X		
Uso:		Doméstico				
Unidad Hidrogeológica:		Acuitardo - Fm. Yumagual				
Caudal (l/s)	Método de medición	Respon_sable				
-	-	L.A.				
Observaciones: Ref. Se ubica al Este del C° Coñorpunta. L*A*P = 28*15*2 m						
Fig. 128 Reservorio 04						


Cuadro 50:

FICHA 17 - DATOS HIDROGEOLÓGICOS						
N	E	C	Fecha	Hora		
9210028	703146	3000	19-06-2015	1:24pm		
Código		CMP-11		1:24pm		
Sector		El Capulí				
Distrito:		Baños del Inca				
Provincia:		Cajamarca				
Departamento:		Cajamarca				
Tipo de fuente:		Manantial	Captación	X		
Régimen de flujo		Permanente	Intermitente	X		
Uso:		Doméstico				
Unidad Hidrogeológica:		Acuitardo - Fm. Quiquiñan Mujarrun				
Caudal (l/s)	Método de medición	Respon_sable				
-	-	L.A.				
Observaciones:				Ref. Se ubica al Oeste del C° Coforputa.		
				Fig. 129 Captación 11		


Cuadro 51:

FICHA 18 - DATOS HIDROGEOLÓGICOS						
N	E	C	Fecha	Hora		
9200730	702707	2968	19-06-2015	1:33pm		
Código		CMP-12		1:33pm		
Sector		Puyllucana				
Distrito:		Baños del Inca				
Provincia:		Cajamarca				
Departamento:		Cajamarca				
Tipo de fuente:		Manantial	Captación	X		
Régimen de flujo		Permanente	Intermitente	X		
Uso:		Doméstico				
Unidad Hidrogeológica:		Acuitardo - Fm. Yumagual				
Caudal (l/s)	Método de medición	Respon_sable				
-	-	L.A.				
Observaciones:				Ref. Se ubica al Sur del C° Tuyoeloma.		
				Fig. 130 Captación 12		

Cuadro 52:

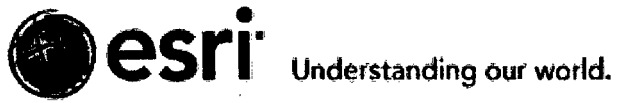
FICHA 19 - DATOS HIDROGEOLÓGICOS						
N	E	C	Fecha	Hora		
9200110	703011	2921	19-06-2015	1:30pm		
Código		CMP-13		1:30pm		
Sector		Puyllucana				
Distrito:		Baños del Inca				
Provincia:		Cajamarca				
Departamento:		Cajamarca				
Tipo de fuente:		Manantial	Captación	X		
Régimen de flujo		Permanente	Intermitente	X		
Uso:		Doméstico				
Unidad Hidrogeológica:		Acuitardo - Fm. Yumagual				
Caudal (l/s)	Método de medición	Respon_sable				
-	-	L.A.				
Observaciones:				Ref. Se ubica al Oeste del C° Tuyoeloma.		
				Fig. 131 Captación 13		

Cuadro 53:

FICHA 20 - DATOS HIDROGEOLÓGICOS						
N	E	C	Fecha	Hora		
9200110	701000	2805	19-06-2015	1:51pm		
Código		CMP-14		1:51pm		
Sector		Puyllucana				
Distrito:		Baños del Inca				
Provincia:		Cajamarca				
Departamento:		Cajamarca				
Tipo de fuente:		Manantial	Reservorio	X		
Régimen de flujo		Permanente	Intermitente	X		
Uso:		Doméstico				
Unidad Hidrogeológica:		Acuitardo - Fm. Pariatambo				
Caudal (l/s)	Método de medición	Respon_sable				
-	-	L.A.				
Observaciones:				Ref. Se ubica parte alta del Cpp. Puyllucana		
				Fig. 132 Captación 14		

"El resultado de los trabajos en SIG, va a depender en gran medida del tipo de datos, así como de la habilidad del que lo realiza, al procesar la información geoespacial".

(Luis Alcántara, 2015)



CONTRATO DE LICENCIA

ARCGIS v10.x

-2015-

ArcGIS suscripción ID de la cuenta

Su número de identificación de suscripción es 9796243704. Tenga esto en sus archivos y hacer referencia a él si necesita ponerse en contacto con nosotros.

¿Necesita ayuda o tiene preguntas?

Si usted está en los Estados Unidos y tienen dificultades para activar tu cuenta de ArcGIS Online, envíenos un correo electrónico a support@esri.com o llame 1-888-377-4575 (opción 2). Si se encuentra fuera de los Estados Unidos, póngase en contacto con su oficina local de ESRI.

Gracias,

Su equipo de ESRI Servicio al Cliente

Estado de la suscripción

200 créditos restantes
Caduca el: 06/12/2015

COMPRAR SUSCRIPCIÓN

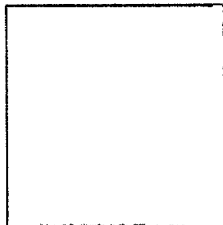
ID: 9796243704

José Luis Alcántara Membrillo

Hola, José Luis Alcántara Membrillo

Tu cuenta de prueba de ArcGIS Online está ahora activa. Descarga ArcMap, ArcGIS Pro y otras aplicaciones listas para utilizar para disfrutar de toda la plataforma ArcGIS.

Perfil de José Luis



Nombre
José Luis

Apellidos
Alcántara Membrillo

Correo electrónico
luighy25@hotmail.com

Nombre de usuario
luighy25

Biografía

Escribe algo sobre ti mismo. Puedes incluir cosas como:

- Tu organización
- Información de contacto
- Áreas de experiencia
- Intereses
- Cualquier otra información que quisieras que los demás sepan

¿Quién puede ver tu perfil?
Organización

Idioma
Spanish-Español

Región
Perú

Unidades
Estándar de Estados Unidos

Rol
Administrador

Organización
casa-luighy

URL de la organización
<https://Luighy.maps.arcgis.com>

Estimado José Luis Alcántara Membrillo:

Gracias por elegir a probar ArcGIS.

Sólo un recordatorio, la versión de ArcGIS incluye lo siguiente:

- ArcGIS Online
- ArcGIS Desktop
- ArcMap
- ArcGIS Pro - Tenga en cuenta que ArcGIS Pro no requiere un código de autorización. Se requiere un conjunto separado de instrucciones de activación que se pueden encontrar en trial.arcgis.com.
- Aplicaciones adicionales listas para usar

Aquí está el código de autorización de software para ArcMap: EVA276506859

Para completar la instalación del software, siga las siguientes instrucciones:

Descargar, instalar y Autorizar

1. Primero debe descargar ArcMap en su ordenador. Visita trial.arcgis.com encontrar la descarga si no lo has hecho ya.
2. Después de haber descargado y colocado los archivos de instalación en la carpeta de destino de su elección, inicie el archivo setup.exe si el programa no se inicia automáticamente.
3. Cuando se le solicite, seleccione ArcGIS Desktop Avanzado (ArcInfo) de uso individual. Haga clic en Autorizar ahora.

4. El Asistente de autorización de software le guiará a través del resto del proceso de autorización.
 - a. En el cuadro de diálogo Opciones de autorización, compruebo la he instalado el software y la necesidad de autorizar su opción y haga clic en Siguiente.
 - b. En el cuadro de diálogo Método de autorización, marque la Autorizar con ESRI utilizando la opción de Internet y haga clic en Siguiente.
 - c. Complete los campos obligatorios para ambas de las páginas de información de autorización y luego haga clic en Siguiente.
 - d. En el cuadro de diálogo Número de autorización de software, introduzca el número de autorización EVA276506859 y luego haga clic en Siguiente. (Este número de autorización puede ser compartida con cuatro personas más.)
 - e. En el cuadro de diálogo Extensiones Autorizar Software, seleccione Tengo número (s) de autorización para autorizar una o más extensiones. Introduzca su número de autorización y al lado de las extensiones que le interesan a continuación, haga clic en Siguiente.
5. Su software de prueba ArcMap ahora será autorizado para su uso.

Por favor, no responda a este correo electrónico generado automáticamente.

Por favor, guarde este e-mail para consultas futuras.

Gracias,

El equipo de ArcGIS

[Esri.com](#) | [Privacy](#) | [Contact Us](#)

Copyright © 2015 Esri. All rights reserved.

Esri, 380 New York Street, Redlands, CA 92373, USA.

PREPÁRESE PARA UTILIZAR APLICACIONES

¡Buenas noticias! Como parte de los beneficios de su versión de prueba gratuita de ArcGIS, usted también consigue el acceso a un conjunto de aplicaciones listas para usar que se ejecutan en navegadores, escritorios y dispositivos móviles.

Colector para ArcGIS

Use su teléfono inteligente para recopilar y actualizar la información en el campo, ya sea conectado o desconectado.

Navigator para ArcGIS

Buscar e ir a los activos de su empresa, trabajar en conjunto con Colector para ArcGIS, y vaya fuera de línea.

Explorer para ArcGIS

Acceda a sus mapas, buscar y visualizar tus datos y breves partes interesadas.

Dashboard Operaciones para ArcGIS

Monitorear, rastrear e informar sobre eventos, sistemas o personas y obtener una imagen de operación común.

Esri Mapas para Office

Hacer mapas dinámicos de sus datos de Excel y añadir Esri datos demográficos para obtener más contexto sobre un área.

Descubre un mundo de aplicaciones

No se olvide: Usted puede encontrar incluso más aplicaciones y contenidos disponibles para los suscriptores de ArcGIS Online en el ArcGIS mercado.

¿Necesita ayuda o tiene preguntas?

Si usted está en los Estados Unidos, envíenos un correo electrónico a service@esri.com, llame 1-888-377-4575 (opción 5), o póngase en contacto con su oficina local de Esri. Si se encuentra fuera de los Estados Unidos, por favor póngase en contacto con su oficina local de Esri.

Gracias,

Su equipo de Esri Servicio al Cliente.

Esri.com | ArcGIS.com | [Privacy](#) | [Contact Us](#)
Copyright © 2015 Esri. All rights reserved.
Esri, 380 New York Street, Redlands, CA 92373, USA.



IMPORTANTE—LEER DETENIDAMENTE

Salvo si es sustituido por un contrato de licencia firmado entre usted y Esri, Esri está dispuesta a otorgarle una licencia de uso de los Productos solamente si acepta todos los términos y condiciones contenidos en el presente Contrato de Licencia. Por favor, lea detenidamente los presentes términos y condiciones. No podrá utilizar los Productos hasta que haya aceptado los términos y condiciones del Contrato de Licencia. Si no desea aceptar los términos y condiciones según se establecen, marque la casilla "No acepto el Contrato de Licencia". Seguidamente, podrá solicitar el reintegro de los precios aplicables que haya abonado.

CONTRATO DE LICENCIA (E204 06/13/2014)

El presente Contrato de Licencia lo formalizan usted (en adelante, el "Licenciatario") y Environmental Systems Research Institute, Inc. ("Esri"), una entidad de California con domicilio social en 380 New York Street, Redlands, California 92373-8100, EE.UU.

TÉRMINOS Y CONDICIONES GENERALES DE LA LICENCIA

CLÁUSULA 1. DEFINICIONES

Definiciones: Las siguientes definiciones corresponden a los términos utilizados en este documento:

- a. Por "Código(s) de autorización" se entenderá toda clave, número de autorización, código de habilitación o activación, credencial de inicio de sesión, código de credencial, nombre de usuario y contraseña, o bien cualquier otro mecanismo necesario para el uso de un Producto.
- b. Por "Beta" se entenderá cualquier versión alfa, beta o Producto preliminar.
- c. Por "Uso de Proveedor de Servicios de Aplicaciones Comerciales" o "Uso de PSA Comerciales" se entenderá la generación de ingresos mediante el suministro de acceso al Software u Online Services a través de una Aplicación de Valor Añadido, por ejemplo, previo cobro de una cuota de suscripción, cuota de servicio o cualquier otra cuota de transacción, o mediante la generación de ingresos por publicidad por encima de los considerados ocasionales.
- d. Por "Contenidos" se entenderá la definición del Anexo 3.
- e. Por "Datos" se entenderá el conjunto de datos digitales de Esri o de terceros que incluirán, entre otros, datos vectoriales geográficos, informes de datos exploración o atributos tabulares asociados, tanto si están combinados con el Software y los Online Services como si se facilitan de manera independiente.
- f. Por "Licencia de Implementación" se entenderá la licencia que autoriza al Licenciatario a ceder a terceros, en régimen de sublicencia, el Software seleccionado y los Códigos de autorización asociados.
- g. Por "Documentación" se entenderá toda la documentación de consulta para usuarios incluida con el Software.
- h. Por "Online Services" se entenderá cualquier sistema geoespacial basado en Internet, incluyendo las aplicaciones y sus correspondientes API (aunque excluyendo los Datos y los Contenidos), albergados por Esri o sus licenciatarios, con el objeto de guardar, administrar, publicar y utilizar mapas, datos y demás información.
- i. Por "Documento(s) de pedido" se entenderá un presupuesto de venta, un pedido de compra o cualquier otro documento que identifique los Productos que encargue el Licenciatario.
- j. Por "Licencia Perpetua" se entenderá una licencia para utilizar una versión de un Producto por la cual se habrán pagado los correspondientes precios de licencia, con carácter indefinido, a menos que Esri o el Licenciatario la den por terminada tal y como se autorice en virtud del presente Contrato.
- k. Por "Producto(s)" se entenderá el Software, los Datos, los Online Services y la Documentación cedidos bajo licencia en virtud de los términos y condiciones de este Contrato de Licencia.
- l. Por "Muestra(s)" se entenderá los códigos de muestra, aplicaciones de muestra, así como muestras de extensiones de los Productos.
- m. Por "Crédito(s) de servicio" se entenderán las unidades de cambio asignadas a una suscripción a los Online Services, por la cuantía especificada en el Documento de pedido. Cada Crédito de servicio otorga al Licenciatario el derecho

de consumir una cantidad específica de Online Services, cantidad que podrá variar en función de los Servicios de Internet consumidos. A medida que los Online Services sean consumidos, los Créditos de servicio se cargarán automáticamente en la cuenta del Licenciario, hasta alcanzar el número máximo de Créditos de Servicio disponibles. Se pueden adquirir Créditos de servicio adicionales en la manera descrita en el Anexo 3 (también disponibles en <http://www.esri.com/legal>).

- n. Por "Software" se entenderá la totalidad o parte de la tecnología de software, propiedad de Esri (excluyendo los Datos) a la que se acceda, o se descargue, desde un sitio web autorizado de Esri, o bien que se proporcione mediante cualquier soporte y cualquier formato, incluyéndose copias de seguridad, actualizaciones, paquetes de servicio, parches, soluciones provisionales o copias combinadas autorizadas.
- o. Por "Plazo de la Licencia" se entenderá una licencia o acceso de uso de un Producto suministrado durante un período de tiempo limitado ("Plazo"), o bien mediante suscripción o transacción.
- p. Por "Aplicación de Valor Añadido" se entenderá una aplicación desarrollada por el Licenciario para ser utilizada conjuntamente con el uso autorizado de cualesquiera Software, Datos u Online Services.

CLÁUSULA 2 — DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL Y RESERVA DE TITULARIDAD

Los Productos se ceden bajo licencia, no se venden. Esri y sus licenciantes son los propietarios de los Productos y de todas las copias de los mismos, los cuales están protegidos por las leyes de EE.UU., así como por la legislación, tratados y convenios internacionales en materia de propiedad intelectual y derechos de propiedad, incluyéndose secretos comerciales. El Licenciario se compromete a utilizar todos los medios razonables para proteger los Productos contra el uso, la reproducción, la distribución o la publicación no autorizados. Esri y sus licenciantes se reservan todos los derechos no otorgados específicamente en el presente Contrato de Licencia, incluyendo los derechos de cambiar y de mejorar los Productos.

CLÁUSULA 3 — OTORGAMIENTO DE LICENCIA

3.1 Otorgamiento de Licencia. Esri otorga al Licenciario una licencia personal, no exclusiva e intransferible exclusivamente para el uso de los Productos tal y como se estipula en los Documentos de Pedido (i) respecto de los cuales se hayan pagado los precios de licencia; (ii) con arreglo a lo dispuesto en el Contrato de Licencia y de acuerdo con la configuración encargada por el Licenciario, o bien que pueda autorizar Esri o su distribuidor autorizado; y (iii) durante el Plazo que corresponda o, en caso de no haberse estipulado o identificado ninguno, hasta su terminación con arreglo a lo dispuesto en la Cláusula 5. Además del Ámbito de Uso detallado en la Cláusula 4, Apéndice 1, el Ámbito de Uso (E300) será de aplicación a Productos específicos. El Anexo 1, el Anexo 2, el Anexo 3 y el Anexo 4 comprenden colectivamente el Apéndice 1, Ámbito de Uso (E300), y también están disponibles en la URL <http://www.esri.com/legal/software-license>. Los Anexos solo son de aplicación a los Productos identificados de forma específica en un Anexo. Apéndice 1 - El Ámbito de Uso (E300) incluye los Anexos de los siguientes tipos de Productos, que quedan incorporados por referencia:

- a. *Software.* Las condiciones de uso de productos de Software específicos se establecen en el Anexo 1.
- b. *Datos.* Las condiciones de uso de los Datos se establecen en el Anexo 2.
- c. *Online Services.* Las condiciones de uso de Online Services se establecen en el Anexo 3.
- d. *Programas de Uso Limitado.* Las condiciones de uso de programas no comerciales, sin fines de lucro, educativos u otros programas de uso limitado se establecen en el Anexo 4.

3.2 Licencias de evaluación y Beta. Los Productos adquiridos con arreglo a una licencia de evaluación o un programa Beta están exclusivamente destinados a su evaluación y prueba, y no para uso comercial. Cualquier uso comercial de los mismos será bajo cuenta y riesgo del Licenciario, no proporcionando Esri ni sus distribuidores servicio de soporte y mantenimiento para los mismos.

CLÁUSULA 4. USO

4.1 Usos autorizados

- a. En lo que respecta a los Productos que le sean licenciados, el Licenciario podrá
 - 1. Instalar y guardar los Productos en uno o más dispositivos de almacenamiento electrónico;
 - 2. Hacer copias con fines de archivo y copias de seguridad informáticas de rutina;

3. Instalar y utilizar la versión más reciente del Software simultáneamente con la versión que deba ser sustituida durante un período de transición razonable que no excederá de seis (6) meses, siempre y cuando la implementación de alguna de las versiones no exceda la cantidad de licencias otorgadas al Licenciatario; una vez concluido este plazo, el Licenciatario no podrá utilizar el Software en una cantidad total superior a la que haya adquirido;
 4. Implementar el Software en la configuración licenciada en un ordenador de sustitución; y
 5. Distribuir el Software a terceros, así como cualesquiera Códigos de autorización asociados necesarios para el uso de una Licencia de implementación.
- b. *Uso de Proveedor de Servicios de Aplicaciones Comerciales.* El Licenciatario podrá destinar el Producto para Uso de PSA Comercial siempre y cuando el Licenciatario (i) adquiera una licencia de Uso de PSA Comercial, o bien (ii) sea una organización gubernamental o sin fines de lucro que explote un sitio Web u ofrezca un servicio por Internet cobrando una cuota para cubrir gastos y sin ánimo de lucro.
 - c. El Licenciatario podrá personalizar el Software utilizando (i) cualquier lenguaje de macros o de secuencias de comandos, (ii) interfaces de programación de aplicaciones (API) publicadas, o bien (iii) bibliotecas de código fuente o código objeto, aunque solo en la medida en que dicha personalización esté descrita en la Documentación.
 - d. El Licenciatario podrá utilizar, copiar o preparar obras derivadas de la Documentación suministrada en formato digital y, posteriormente, reproducir, visualizar y distribuir la documentación personalizada solo para el propio uso interno del Licenciatario. Las partes de la Documentación facilitada en formato digital combinadas con otros programas de software, así como la documentación impresa o digital, están sujetas al presente Contrato de Licencia. El Licenciatario deberá incluir el siguiente aviso de atribución de copyright reconociendo los derechos de propiedad de Esri y de sus licenciantes: "Partes de este documento incluyen propiedad intelectual de Esri y de sus licenciantes, y son empleados aquí bajo licencia. Copyright © [el Licenciatario deberá insertar las fechas de copyright pertinentes de los materiales originales] Esri y sus licenciantes. Todos los derechos reservados".
 - e. *Componentes de fuentes.* Todas las fuentes suministradas con un Producto podrán utilizarse con el uso autorizado de cualquiera de los Productos. Las fuentes de Esri también se pueden utilizar por separado para imprimir documentos creados por los Productos. Las restricciones adicionales de uso de las fuentes de terceros incluidas en un Producto se establecen en el propio archivo de fuentes.
 - f. *Acceso de Consultores o Contratistas.* Con sujeción a lo dispuesto en la Sección 3.1, Esri otorga al Licenciatario el derecho a permitir a sus consultores o contratistas el uso de los Productos exclusivamente para el propio beneficio del Licenciatario. En tal caso, el Licenciatario asumirá la plena responsabilidad del cumplimiento de este Contrato de Licencia por parte de dichos consultores y contratistas, y deberá asegurarse de que dejen de utilizar el Producto una vez que concluyan los trabajos que realicen para el Licenciatario. Queda prohibido el acceso a los Productos o el uso de los mismos por parte de consultores o contratistas si no es exclusivamente para beneficio del Licenciatario.
 - g. El Licenciatario podrá utilizar, copiar, reproducir, publicar, exhibir públicamente o redistribuir a terceros imágenes de mapas e informes que contengan imágenes de mapas procedentes del uso de los Productos de Esri en copia impresa o en formato electrónico (por ejemplo, PDF, GIF, JPEG) con sujeción a las restricciones establecidas en este Contrato, siempre que el Licenciatario adjunte una declaración de atribución a las imágenes de mapas reconociendo a Esri y/o los licenciantes aplicables como fuente de las partes de Datos utilizados para las imágenes de mapas. A efectos de disipar toda duda, todos los datos que el Licenciatario proporciona o utiliza en el uso de los Productos que no sean los Datos serán y deberán seguir siendo propiedad del Licenciatario o de los licenciantes externos.

4.2 Usos no permitidos. Salvo en la medida en que la legislación vigente prohíba o suprima las siguientes restricciones, o según lo aquí estipulado, el Licenciatario no podrá

- a. Vender, alquilar, arrendar, ceder en régimen de sublicencia, emplear de forma compartida, asignar o utilizar los Productos para Uso de PSA Comercial o de servicios;
- b. Proporcionar a terceros el acceso directo a los Productos de tal manera que los terceros puedan utilizar el Producto de forma directa, desarrollar sus propias aplicaciones de GIS o crear sus propias soluciones conjuntamente con el Producto;
- c. Distribuir a terceros Software, Datos u Online Services, de forma total o parcial, incluido sin limitaciones las extensiones, los componentes o los DLL;
- d. Distribuir Códigos de Autorización a terceros;
- e. Descompilar o desensamblar los Productos, o someterlos a ingeniería inversa;
- f. Intentar eludir las medidas tecnológicas que controlan el acceso a los Productos o el uso de los mismos;

- g. Guardar, almacenar en caché, utilizar, cargar, distribuir o ceder en régimen sublicencia el Contenido o utilizar de cualquier otro modo los Productos infringiendo los derechos de Esri o de terceros, incluidos los de propiedad intelectual y los de privacidad, las leyes antidiscriminación o cualquier otra ley o reglamento que sea de aplicación;
- h. Eliminar u ocultar cualesquiera avisos y/o leyendas de patentes, derechos de autor, marcas comerciales relativos a los derechos de propiedad de Esri (o de sus licenciantes) contenidos en o fijados a cualquier Producto, resultado de Producto, archivo de metadatos o página de atribuciones Online y/o impresa, de los Datos o de la Documentación incluidos en virtud de este documento;
- i. Separar o utilizar de manera independiente partes individuales o componentes del Software, los Servicios de Internet o los Datos;
- j. Incorporar cualquier parte del Producto a un producto o servicio que compita con cualquier Producto;
- k. Publicar o comunicar de cualquier otra manera los resultados de pruebas comparativas de una versión Beta sin el consentimiento previo por escrito de Esri y sus licenciantes; ni
- l. Utilizar, incorporar, modificar, distribuir, proporcionar acceso o combinar cualquier código informático suministrado con cualquier Producto de una manera que someta a dicho código o cualquier parte del Producto a las condiciones de una licencia de código abierto, incluyendo entre otras, aquellas que exijan que el código (i) se divulgue a terceros en el formulario de código fuente, (ii) se ceda bajo licencia a terceros con el objeto de elaborar obras derivadas, o (iii) se redistribuya a terceros sin cargo.

CLÁUSULA 5 — PLAZO Y RESOLUCIÓN

El presente Contrato de Licencia entrará en vigor en el momento de su aceptación. El Licenciatario podrá resolver este Contrato de Licencia o cualquier Producto licenciado en todo momento notificándolo por escrito a Esri. Cualquiera de las partes podrá resolver este Contrato de Licencia, así como cualquier licencia, en caso de producirse un incumplimiento que no sea subsanado en el plazo de treinta (30) días a contar desde el momento en que la parte infractora reciba una notificación a tales efectos, aunque la resolución será inmediata en caso de que la infracción no pueda ser subsanada. Una vez resuelto este Contrato de Licencia, se extinguirán asimismo todas las licencias otorgadas en virtud del mismo. Una vez resuelta una licencia o el Contrato de Licencia, el Licenciatario deberá (i) dejar de acceder al o a los Productos afectados y de utilizarlos; (ii) borrar los datos de caché derivados de los Online Services del lado del cliente; y (iii) desinstalar, borrar y destruir todas las copias de los Productos afectados que obren en poder o estén bajo el control del Licenciatario, incluyendo partes modificadas o combinadas de los mismos, en cualquier formato, acreditando la adopción de dichas medidas ante Esri o su distribuidor autorizado.

CLÁUSULA 6 — LIMITACIÓN DE GARANTÍAS Y EXENCIONES DE RESPONSABILIDAD

6.1 Limitación de garantías. Salvo que la presente Cláusula 6 estipule lo contrario, Esri garantiza que, durante un período de noventa (90) días a contar desde la fecha en que Esri expida el Código de autorización que permita el uso del Software y de los Online Services, (i) el funcionamiento del Software y los Online Services no modificados se ajustarán sustancialmente a lo indicado en la Documentación publicada en condiciones normales de uso y servicio; y que (ii) el soporte sobre el que se facilita el Software estará libre de defectos materiales y de mano de obra.

6.2 Exención de responsabilidad particular. LOS CONTENIDOS, LOS DATOS, LAS MUESTRAS, LAS SOLUCIONES PROVISIONALES, LOS PARCHES, LAS ACTUALIZACIONES, LOS SERVICIOS EN LÍNEA NO SUJETOS A TARIFAS Y EL SOFTWARE DE EVALUACIÓN Y BETA SE FACILITAN "TAL CUAL", SIN GARANTÍAS DE NINGUNA ÍNDOLE.

6.3 Exención de responsabilidad de Internet. LAS PARTES RECONOCEN Y ACEPTAN EXPRESAMENTE QUE INTERNET ES UNA RED DE REDES PRIVADAS Y PÚBLICAS, Y QUE (i) INTERNET NO ES UNA INFRAESTRUCTURA SEGURA, (ii) LAS PARTES NO TIENEN NINGÚN CONTROL SOBRE INTERNET, Y (iii) NINGUNA DE LAS PARTES SERÁ RESPONSABLE POR DAÑOS EN VIRTUD DE NINGUNA INTERPRETACIÓN O FUNDAMENTO RELATIVO AL RENDIMIENTO O A LA FALTA DE FUNCIONAMIENTO DE CUALQUIER PARTE DE INTERNET, O RESPECTO A POSIBLES REGULACIONES DE INTERNET SUSCEPTIBLES DE RESTRINGIR O PROHIBIR EL FUNCIONAMIENTO DE LOS SERVICIOS EN LÍNEA.

6.4 Exención de responsabilidad general. CON LA EXCEPCIÓN DE LAS GARANTÍAS LIMITADAS ANTERIORMENTE INDICADAS, ESRI NO OTORGA NI RESPONDE POR OTRAS GARANTÍAS O CONDICIONES DE TODA ÍNDOLE, SEAN EXPLÍCITAS O IMPLÍCITAS, INCLUYENDO, ENTRE OTRAS, GARANTÍAS O

CONDICIONES DE COMERCIALIZACIÓN E IDONEIDAD PARA UN DETERMINADO PROPÓSITO, INTEGRACIÓN EN SISTEMAS Y NO INFRACCIÓN DE DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL. ESRI NO GARANTIZA QUE LOS PRODUCTOS VAYAN A SATISFACER LAS NECESIDADES DEL LICENCIATARIO, QUE EL MANEJO DE LOS MISMOS POR PARTE DEL LICENCIATARIO VAYA A SER ININTERRUMPIDO, SIN ERRORES, TOLERANTE A FALLOS O SIN FALLOS; NI QUE TODAS LAS NO CONFORMIDADES PUEDAN SER CORREGIDAS O VAYAN A SERLO. LOS PRODUCTOS NO HAN SIDO DISEÑADOS, FABRICADOS NI PREVISTOS PARA SER UTILIZADOS EN ENTORNOS O APLICACIONES SUSCEPTIBLES DE PROVOCAR MUERTE, LESIONES O DAÑOS PERSONALES, MATERIALES O AL MEDIO AMBIENTE. EL LICENCIATARIO NO DEBERÁ SEGUIR NINGUNA SUGERENCIA DE RUTA QUE PUEDA RESULTAR PELIGROSA, INSEGURA O ILEGAL. DICHOS USOS SERÁN POR CUENTA Y RIESGO PROPIOS DEL LICENCIATARIO.

6.5 Compensación exclusiva. La compensación que exclusivamente asistirá al Licenciario y la responsabilidad que asume Esri por incumplimiento de las garantías limitadas expuestas en la presente Cláusula 6 se limitará, según el criterio exclusivo de Esri, a (i) la sustitución de cualquier soporte defectuoso; (ii) la reparación, corrección o solución temporal del Software o de los Online Services, con arreglo al Programa de mantenimiento de Esri o del distribuidor autorizado del Licenciario, según proceda; o bien a la (iii) devolución de los precios de licencia pagadas por el Licenciario en concepto del Software o de los Online Services que incumplan la garantía limitada de Esri, siempre y cuando el Licenciario desinstale, elimine y destruya todas las copias del Software o de la Documentación, deje de utilizar los Online Services y se acredite la adopción de dichas medidas ante Esri o su distribuidor autorizado.

CLÁUSULA 7 — LIMITACIÓN DE RESPONSABILIDAD

7.1 Exención de determinados tipos de responsabilidades. ESRI, SU DISTRIBUIDOR AUTORIZADO Y SUS LICENCIANTES NO ASUMIRÁN RESPONSABILIDAD ALGUNA FRENTE AL LICENCIATARIO DERIVADA DE LOS COSTES GENERADOS POR LA ADQUISICIÓN DE PRODUCTOS O SERVICIOS SUSTITUTOS; LUCRO CESANTE, O CUALQUIER DAÑO INDIRECTO O CONSECUCIONAL; PÉRDIDAS DE VENTAS O GASTOS EMPRESARIALES; INVERSIONES; COMPROMISOS COMERCIALES; PÉRDIDAS DE FONDO DE COMERCIO; O CUALESQUIERA OTROS DAÑOS INDIRECTOS, ESPECIALES, INCIDENTALES O CONSIGUIENTES DERIVADOS DE, O RELACIONADOS CON, EL PRESENTE CONTRATO DE LICENCIA O EL USO DE LOS PRODUCTOS, INDEPENDIENTEMENTE DE QUE HUBIESEN OCURRIDO CON ARREGLO A CUALQUIER TEORÍA DE RESPONSABILIDAD, TANTO SI A ESRI, SU DISTRIBUIDOR AUTORIZADO O SUS LICENCIANTES SE LES HAYA ADVERTIDO O NO DE LA POSIBILIDAD DE DICHOS DAÑOS. LAS PRESENTES LIMITACIONES SE APLICARÁN INDEPENDIENTEMENTE DE LAS ACCIONES QUE PUEDA ACOMETER EN DEFENSA DE SUS INTERESES EL LICENCIATARIO.

7.2 Limitación general de responsabilidad. SALVO POR LO DISPUESTO EN LA CLÁUSULA 8, INDEMNIZACIÓN POR INFRACCIÓN, LA RESPONSABILIDAD TOTAL ACUMULADA DE ESRI Y DE SUS DISTRIBUIDORES AUTORIZADOS DERIVADAS DE RECLAMACIONES DE CUALQUIER ÍNDOLE, INCLUYENDO, ENTRE OTRAS, CONTRACTUALES, EXTRA CONTRACTUALES (ASÍ COMO NEGLIGENCIA), RESPONSABILIDAD DIRECTA, INCUMPLIMIENTO DE GARANTÍA, FALTA DE REPRESENTACIÓN O POR ACCIONES DE CUALQUIER OTRA CLASE, NO EXCEDERÁ DE LAS CUANTÍAS QUE HAYA ABONADO EL LICENCIATARIO POR LOS PRODUCTOS QUE HAYAN DADO ORIGEN A LA RECLAMACIÓN.

7.3 Aplicación de exenciones de responsabilidad y limitaciones. Las limitaciones y exenciones de responsabilidad del presente Contrato de licencia serán de aplicación, independientemente de que éste haya aceptado los Productos o cualquier otro producto o servicio de Esri o su distribuidor autorizado. Las partes convienen en que Esri o su distribuidor autorizado han fijado sus precios y formalizado el presente Contrato de Licencia sobre la base de las exenciones y limitaciones de responsabilidad aquí estipuladas, que las mismas reflejan un reparto de los riesgos entre las partes y que las mismas constituyen la base esencial del acuerdo entre las partes. LAS PRESENTES LIMITACIONES SE APLICARÁN INDEPENDIENTEMENTE DE LAS ACCIONES QUE PUEDA ACOMETER EN DEFENSA DE SUS INTERESES EL LICENCIATARIO.

LAS GARANTÍAS, LIMITACIONES Y EXCLUSIONES ANTEDICHAS PUEDEN NO SER VÁLIDAS EN ALGUNAS JURISDICCIONES, Y SERÁN DE APLICACIÓN SOLAMENTE EN LA MEDIDA EN QUE ASÍ LO PERMITA LA LEGISLACIÓN APLICABLE EN LA JURISDICCIÓN DEL LICENCIATARIO. ES POSIBLE QUE LA LEY OTORQUE AL LICENCIATARIO DERECHOS ADICIONALES A LOS QUE NO SE PUEDE RENUNCIAR. ESRI NO PRETENDE

LIMITAR LAS GARANTÍAS O RECURSOS DEL LICENCIATARIO EN NINGUNA MEDIDA EN QUE LA LEY NO LO PERMITA.

CLÁUSULA 8 — INDEMNIZACIÓN POR INFRACCIÓN

8.1 Tal como se describe más adelante, Esri defenderá, indemnizará y protegerá al Licenciatarlo frente a cualesquiera pérdidas, responsabilidades, costes o gastos, incluyendo los honorarios legales razonables derivados de denuncias, procedimientos o demandas de terceros que aleguen que el uso por parte del Licenciatarlo del Software o de los Online Services infringe alguna patente, derecho de autor o marca comercial de EE.UU., siempre y cuando

- a. El Licenciatarlo notifique por escrito y a la mayor brevedad a Esri la existencia de dicha reclamación;
- b. El Licenciatarlo aporte documentación que describa las alegaciones relativas a la infracción;
- c. Esri controle exclusivamente la defensa de cualquier procedimiento o negociación relativo a la defensa o acuerdo extrajudicial de cualquier reclamación; y
- d. El Licenciatarlo coopere razonablemente en la defensa de la demanda a petición y a expensas de Esri.

8.2 Si se determina que el Software o los Online Services vulneran una patente, derecho de autor o marca comercial de EE.UU., Esri podrá, a sus propias expensas, (i) obtener para el Licenciatarlo los derechos que le permitan seguir utilizando el Software o los Online Services, o bien (ii) modificar los elementos supuestamente infractores del Software o de los Online Services, manteniendo sustancialmente una funcionalidad similar. Si ninguna de las alternativas resultase viable desde un punto de vista comercial, la licencia se dará por terminada y el Licenciatarlo cesará en el acceso a Online Services infractores, y desinstalará y devolverá a Esri o a su distribuidor autorizado los elementos que sea la causa de la infracción. En tal caso, Esri procederá a indemnizar al Licenciatarlo conforme a lo dispuesto en la Sección 8.1 y (i) Esri o su distribuidor autorizado reintegrará los precios de licencia perpetua que haya abonado el Licenciatarlo en concepto de los elementos infractores, prorrateados sobre la base de una depreciación lineal de cinco (5) años a contar desde la fecha inicial de la entrega; y (ii) en el caso de Licencias Temporales y mantenimiento, reintegrar la parte no utilizada de los precios pagados.

8.3 Esri no vendrá obligada a defender al Licenciatarlo, ni a pagar los costes, daños u honorarios legales resultantes, por denuncias o demandas que aleguen infracción directa o concurrente, si dicha infracción ha sido resultado de (i) la combinación o integración del Software o de los Online Services con un producto, proceso o sistema no facilitado por Esri o especificado por Esri en su Documentación; (ii) la modificación material del Software o de los Online Services por personas distintas de Esri o de sus subcontratistas; o (iii) el uso del Software o de los Online Services una vez que Esri haya facilitado modificaciones para evitar infracciones, o su utilización una vez que Esri haya solicitado una devolución, tal y como se estipula en la Sección 8.2.

8.4 CUANTO ANTECEDE CONSTITUYE LA TOTALIDAD DE LAS OBLIGACIONES DE ESRI Y SU DISTRIBUIDOR AUTORIZADO CON RESPECTO A LAS INFRACCIONES O SUPUESTAS INFRACCIONES DE LOS DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL DE TERCEROS.

CLÁUSULA 9 — CLÁUSULAS GENERALES

9.1 **Futuras actualizaciones.** El Uso de Productos licenciados en virtud del presente Contrato de Licencia está cubierto por los términos y condiciones contenidos en el mismo. Los Productos nuevos o actualizados pueden exigir condiciones de uso adicionales o revisadas en virtud del Contrato de Licencia de Esri vigentes en ese momento. Esri publicará las condiciones de uso nuevas o revisadas en <http://www.esri.com/legal/software-license> o bien notificará las condiciones nuevas o revisadas al Licenciatarlo.

9.2 **Reglamentos de control de exportaciones.** Por la presente, el Licenciatarlo reconoce y acepta expresamente que el Licenciatarlo no exportará, reexportará, importará, transferirá, entregará ni proporcionará el acceso a Productos, Contenido, Contenido de Licenciatarlo o Aplicaciones de Valor Añadido, a (i) ningún país objeto de embargo por parte de EE.UU.; (ii) ninguna persona incluida en la Lista de ciudadanos especialmente designados del Departamento del Tesoro de EE.UU.; (iii) ninguna persona o entidad de la Lista de personas y entidades rechazadas o no verificadas del Departamento de Comercio de EE.UU.; o (iv) ninguna persona o entidad o en ningún país donde dicha exportación, reexportación, acceso o importación infrinja leyes o reglamentos estadounidenses o locales de control de importaciones/exportaciones u otras aplicables, incluyendo, entre otros, los términos y condiciones de cualesquiera licencia o exención de licencia de importación/exportación, y las enmiendas y complementos de tales leyes que pudiesen establecerse en cada momento.

9.3 Impuestos, tasas y fletes. Los precios de licencia presupuestadas al Licenciario excluyen impuestos o tasas aplicables incluidas, sin carácter limitativo, los impuestos sobre las ventas, el uso y el valor añadido (IVA), así como los derechos y aranceles de aduana, y gastos de flete y manipulación.

9.4 Ausencia de renuncia. El hecho de que alguna de las partes renunciase a exigir el cumplimiento de cualquiera de las cláusulas de este Contrato de Licencia no se interpretará como una renuncia a las mismas ni afectará al derecho de dicha parte a ejercitar en cualquier momento los derechos que dimanen del presente Contrato.

9.5 Divisibilidad. Las partes convienen que, en caso de que alguna de las cláusulas del presente Contrato de Licencia fuese considerada inaplicable por algún motivo, dicha cláusula será reformada solamente en la medida necesaria para hacer aplicable la misma.

9.6 Sucesores y cesionarios. El Licenciario no podrá ceder, otorgar en régimen de sublicencia ni transferir sus derechos ni delegar sus obligaciones en virtud del presente Contrato de Licencia sin el consentimiento previo por escrito de Esri y su distribuidor autorizado, y cualquier intento de hacerlo sin contar con dicho consentimiento carecerá de toda validez. El presente Contrato de Licencia será vinculante para los respectivos sucesores y cesionarios de las partes de este Contrato de Licencia. No obstante lo antedicho, un contratista del gobierno bajo contrato del gobierno para facilitar Productos podrá ceder este Contrato de Licencia y los Productos adquiridos para entregarlos a su cliente gubernamental previa comunicación por escrito a Esri, siempre y cuando dicho cliente gubernamental acepte los términos y condiciones de este Contrato de Licencia.

9.7 Supervivencia de los términos y condiciones. Lo dispuesto en las Cláusulas 2, 5, 6, 7, 8 y 9 de este Contrato de Licencia seguirán vigentes una vez que se haya producido la extinción o resolución del mismo.

9.8 Compensaciones y medidas cautelares. El Licenciario acepta que cualquier incumplimiento del presente Contrato de Licencia por su parte pueden provocar daños irreparables y que, en el caso de dichos incumplimientos, además de todos los recursos que pudiesen asistirle legalmente, Esri o su distribuidor autorizado estarán facultados para solicitar la adopción de medidas cautelares u otras formas de protección ante cualquier tribunal competente sin la obligación de aportar una fianza o de demostrar daños como requisito necesario para su adopción.

9.9 Licenciario del gobierno de EE.UU. Los Productos son artículos comerciales, desarrollados con fondos privados, que se otorgan al Licenciario en virtud de este Contrato de Licencia. Si el Licenciario es una entidad o un contratista del gobierno de EE.UU., Esri le cede los Productos bajo licencia de acuerdo a este Contrato de Licencia en virtud del reglamento FAR, Subpartes 12.211/12.212, o DFARS, Subparte 227.7202. Los Datos y Online Services de Esri se ceden bajo licencia en virtud de la misma política DFARS Subparte 227.7202 como software informático comercial para las adquisiciones realizadas en virtud de DFARS. Los Productos están sujetos a restricciones y este Contrato de Licencia rige estrictamente el uso, modificación, rendimiento, reproducción, entrega, exhibición o divulgación de los Productos por parte del Licenciario. No se aplicarán aquellas disposiciones de la Licencia que sean inconsecuentes con la legislación federal. Un Licenciario del gobierno de Estados Unidos podrá transferir el Software a cualquiera de las instalaciones a las que se transfieran los ordenadores en los que este tipo de Software esté instalado. Si algún tribunal, árbitro o u organismo rector determina que al Licenciario le asisten más derechos sobre cualquier parte de los Productos con arreglo a las leyes de compras públicas vigentes, dichos derechos se extenderán solamente a aquellas partes afectadas.

9.10 Legislación aplicable y arbitraje

- a. *Licenciarios de EE.UU., sus territorios y zonas insulares.* El presente Contrato de Licencia se registrará e interpretará con arreglo a las leyes del Estado de California, sin tener en cuenta los principios de conflicto de leyes, aunque en todo caso la legislación federal de EE.UU. será de aplicación para los asuntos relativos a la propiedad intelectual y para el uso por parte de los organismos del gobierno de EE.UU. Salvo por lo dispuesto en la Sección 9.8, toda disputa derivada de, o relacionada con, este Contrato de Licencia o el incumplimiento del mismo que no pueda ser resuelta mediante negociaciones, será definitivamente resuelto por un arbitraje dirigido por la American Arbitration Association con arreglo a su Reglamento de Arbitraje Comercial. El laudo arbitral que se dicte podrá ser ejecutado ante el tribunal competente que corresponda. Si el Licenciario es un organismo del gobierno de EE.UU., este Contrato de Licencia quedará sujeto a la Ley de Disputas Contractuales de 1978 y a sus correspondientes enmiendas (41 USC 601–613), sin que sea de aplicación la presente cláusula de arbitraje. El presente Contrato de Licencia no se registrará por la Convención

de las Naciones Unidas sobre los Contratos de Compraventa Internacional de Mercaderías, cuya aplicación queda expresamente excluida.

- b. *Todos los demás Licenciarios.* Con las excepciones previstas en la Sección 9.8, toda disputa derivada de, o relacionada con, el presente Contrato de Licencia o su incumplimiento que no pueda ser resuelta mediante negociaciones, será definitivamente resuelta según las normas de la Cámara Internacional de Comercio por un (1) árbitro nombrado en virtud de dichas normas. El idioma del arbitraje será el inglés. El lugar del arbitraje será el que convengan las partes. El presente Contrato de Licencia no se regirá por la Convención de las Naciones Unidas sobre los Contratos de Compraventa Internacional de Mercaderías, cuya aplicación queda expresamente excluida. Cualquiera de las partes deberá, a petición de la otra, facilitar los documentos o testigos relevantes para los aspectos más importantes de la disputa.

9.11 Mantenimiento. El mantenimiento de los Productos que reúnen los requisitos consistirá en actualizaciones y otras prestaciones, como el acceso al servicio técnico, especificados en la política de mantenimiento a la sazón vigente de Esri o de su distribuidor.

9.12 Comentarios. Esri estará facultada para utilizar los comentarios, sugerencias o peticiones de mejora de los Productos que el Licenciario comunique a Esri.

9.13 Patentes. El Licenciario no podrá solicitar, ni permitir que otros usuarios soliciten, una patente o derecho similar, en ningún lugar del mundo, basado en, o que incorpore, cualquier tecnología o servicios de Esri. Esta prohibición expresa de solicitar patente no será de aplicación al software y la tecnología del Licenciario, salvo en la medida en que afecte a la tecnología o los servicios de Esri, o cualquier parte de los mismos, sea parte de una reclamación o realización preferente de una solicitud de patente o similar.

9.14 Acuerdo íntegro. El presente Contrato de Licencia, incluyendo los documentos que incorpora, constituye el acuerdo íntegro entre las partes, y sustituye a cualesquiera otros contratos de licencia, acuerdos y convenios entre las partes relativos a dicho asunto. Las condiciones adicionales o contradictorias incluidas en cualquier solicitud de licencia, factura u otro documento de formato estándar intercambiado durante el proceso de solicitud, con excepción de los documentos relativos a las descripciones, cantidades, precios e instrucciones de entrega de los Productos, serán consideradas nulas y sin efecto. Toda modificación o enmienda del presente Contrato de Licencia deberá ser por escrito y estar firmada por ambas partes.