

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Escuela Académica Profesional de
Ingeniería Forestal y Medio Ambiente**



TÍTULO DE LA TESIS

**“ANÁLISIS MORFOMETRICO E HIDROLÓGICO DE LA
SUBCUENCA HIDROGRÁFICA ARASÁ,
DEPARTAMENTO DE CUSCO, PERÚ”**

TESISTA:

Gregorio Huamán Yuca

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**

MADRE DE DIOS- PERU

2015

Quiero agradecer y dedicarle este trabajo a. Dios que me ha dado la vida y fortaleza, para terminar este proyecto de investigación, a mis padres por estar ahí cuando más los necesite, en especial a mi madre por su ayuda y constante apoyo incondicional.

A mi hijo (a) Manuel Daniel H. M, Úrsula Celeste H M. a mi esposa Eva Marca por apoyarme y ayudarme en los momentos más difíciles.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, UNAMAD, por haberme dado la oportunidad de escalar un peldaño más en el campo del conocimiento, que me cobijo dentro de sus aulas durante el periodo de estudios dándome la oportunidad de ser un profesional, al departamento de ingeniería por haberme provisto de excelentes maestros, quienes me brindaron su conocimiento y confianza en el transcurso de mis estudios profesionales.

A mi asesor de tesis Ing. Saúl Manrique León, por su atinada dirección, su presencia y su empeño para que yo llevara a cabo esta tesis profesional.

A mi hermano Daniel Huamán, en especial a quien lo considero como un padre, y ejemplo a seguir por brindarme su apoyo incondicional, en todo momento, gracias por preocuparte por tu hermano mayor, gracias por compartir sus vidas, pero sobre todo, gracias por estar en otros momentos tan importantes en mi vida.

A mi Madre Ricardina Yuca, por ser la amiga y compañera que me ha ayudado a crecer, gracias por estar siempre conmigo en todo momento. Gracias por la paciencia que has tenido para enseñarme, por el amor que me das, por tus cuidados y por preocuparte siempre por mí, por los regaños que me merecía y que no entendía, gracias mama por estar al pendiente durante toda esta etapa.

A mi esposa, Eva Marca, por su apoyo incondicional que me da en todo momento, gracias por el aliento y las fuerzas que me das a diario, por comprenderme y soportarme, gracias por darme unos hijos maravillosos, Manuel H., Úrsula H, que medan las fuerzas a diario que necesito para seguir luchando.

A mi padre, Gregorio. H, por haberme enseñado los valores positivos desde mi infancia, que me sirvieron para ser una persona de bien, por corregirme y guiarme gracias padre.

A mi hermano mayor. Bruno Yuri. H, por su apoyo, en todos estos años que compartimos muchas cosas, en las buenas y en las malas siempre estuvimos al lado de nuestros padres en familia.

A mi hermana Maritza, gracias por haberme brindado tu apoyo incondicional.

INDICE

RESUMEN.....	3
ABSTRACT.....	4
INTRODUCCION.....	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
FUNDAMENTACION DEL PROBLEMA.....	7
JUSTIFICACION E IMPORTANCIA.....	8
OBJETIVOS.....	11
Objetivo General	11
Objetivos Específicos.....	11
CAPITULO I.....	13
1. MARCO TEORICO	13
1.1. Antecedentes de estudios realizados.....	14
1.2. Revisión de Literatura.....	16
1.2.1. Cuenca hidrográfica.....	16
1.2.1.1. Características de la Cuenca	17
1.2.1.2. Divisiones de la cuenca hidrográfica	17
1.2.1.3. Secciones o partes de una cuenca.....	17
1.2.1.4. Los componentes de la cuenca.....	18
1.2.1.5. Microcuenca.....	20
1.2.1.6. Sub cuenca	20
1.2.2. Tipos de cuencas.....	21
1.2.3. Clasificación de las cuencas hidrográficas	21
1.2.4. Enfoque sistémico de la cuenca hidrográfica.....	23
1.2.5. Funciones de una cuenca.	27
1.2.6. Sostenibilidad en el manejo de cuencas.....	27
1.2.7. Sistema hídrico.	29
1.2.8. El ciclo hidrológico.	30
1.2.9. Caracterización de cuencas hidrográficas.	32
1.2.10. Delimitación de la cuenca hidrográfica.....	32
1.2.10.1. Metodología para delimitar una cuenca hidrográfica.	33
1.2.10.2. Método automático para delimitación de cuencas.	33
1.2.10.3. Modelo digital de elevación	33
1.2.11. Las cuatro dimensiones de una cuenca hidrográfica	34
1.2.12. Características morfológicas de una cuenca hidrográfica.....	34
1.2.12.1. <i>Parámetros de forma.</i>	35
1.2.12.2. Parámetros de relieve.....	42

1.2.12.3. Parámetros de Drenaje.....	45
1.2.12.4. Parámetros Hidrológicos.....	49
CAPITULO II.....	55
2. MATERIALES Y METODOS.....	55
2.1. Características generales	55
2.1.3. Accesibilidad.....	57
2.1.4. Fisiografía	57
2.1.5. Geología.....	59
2.1.6. Suelos.....	61
2.1.7. Hidrología	69
2.1.8. Clima	76
2.1.9. zonas de vida	77
2.2. Materiales, equipos y herramienta.....	80
2.2.1. Materiales, equipos y herramientas.....	80
2.2.2. Materiales y Equipos de campo.	80
2.2.2.1. Materiales.....	80
2.2.2.2. Equipos.....	80
2.2.2.3. Materiales y equipos de Gabinete.....	81
2.2.2.4. Sistemas Informáticos.....	81
2.3. Metodología.....	82
2.3.1. Tipo de Investigación	82
2.3.2. Metodología.....	82
2.3.3. Estadística Empleada.....	91
CAPITULO III	93
3. RESULTADOS Y DISCUSION.....	93
3.1. Determinación de la cuenca Arasá.....	93
3.2. Parámetros de Forma.....	102
3.2.1. Área.	102
3.2.2. Perímetro.....	102
3.2.3. Ancho promedio (Ap) (km).	103
3.2.4. Factor de forma (IF).	103
3.2.5. Coeficiente de Compacidad o índice de Gravelius (Kc).....	103
3.2.6. Relación de circularidad (Rci).....	103
3.2.7. Razón de Elongación (Re).....	104
3.2.8. Altura media (h)	104
3.2.9. Pendiente Media de la Cuenca	104
3.2.10. Rectángulo Equivalente	104

3.3. Parámetros de relieve	105
3.4. Parámetros de red de drenaje.....	110
3.5. <i>Parámetros Hidrológicos</i>	116
4. CONCLUSIONES.....	131
5. RECOMENDACIONES.....	132
6. PROPUESTA TÉCNICA	133
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136
8. ANEXOS.....	141

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: variables e indicadores del estudio</i>	12
<i>Tabla 2: Cuadro de comparaciones de características hidrológicas entre una cuenca pequeña y una grande</i>	23
<i>Tabla 3: Clasificación del coeficiente de Gravelius</i>	37
<i>Cuadro 4: Clasificación de la pendiente según D.S. N° 017-2009-AG.</i>	41
<i>Tabla 5: Composición atmosférica</i>	49
<i>Tabla 6: Grandes grupos de suelo de la provincia de Quispicanchi; Cusco.</i>	63
<i>Tabla 7: Capacidad de uso mayor de los suelo de la provincia de Quispicanchi; Cusco.</i>	68
<i>Tabla 8: Caudales generados medios mensuales en las principales subcuencas del río arasá (m3/seg)</i>	71
<i>Tabla 9: Principales Lagunas de la Cuenca del Arasá</i>	73
<i>Tabla 10: Uso Actual del Agua.</i>	74
<i>Tabla 11: Minicentrales hidroeléctricas existentes</i>	74
<i>Tabla 12: Disponibilidad hídrica en las Subcuencas del río Arasá.</i>	75
<i>Tabla 13: Características morfométricas de la subcuenca hidrográfica Arasá</i>	102
<i>Tabla 14: Estación de Quincemil</i>	116
<i>Tabla 15: Resumiendo los valores anteriores</i>	122
<i>Tabla 16: Periodos de retorno sugeridos por Máximo Villón</i>	124
<i>Tabla 17: Curvas número (CN) para complejos suelo cobertura en Cuencas en condición de humedad media.</i>	125
<i>Tabla 18: de Resumen de los datos anteriores</i>	127

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Partes de una cuenca hidrográfica</i>	18
<i>Figura 2: Estructura jerárquica de la cuenca hidrográfica</i>	22
<i>Figura 3: Enfoque Sistémico de una cuenca hidrográfica.</i>	25
<i>Figura 4: El ciclo hidrológico con un balance de agua promedio global en unidades relativas a un valor de 100 para la tasa de precipitación terrestre.</i>	30
<i>Figura 5: Mapa de Pendientes de la subcuenca hidrográfica arasá</i>	40
<i>Figura 6: Curvas hipsométricas adimensional característica del ciclo de erosión (Según Strahler)</i>	42
<i>Figura 7: Curva hipsométrica Adimensional</i>	44
<i>Figura 8: Jerarquización de una red hidrográfica según el criterio de Strahler (1952).</i>	48
<i>Figura 9: El ciclo hidrológico es el foco central de la hidrología</i>	51
<i>Figura 10: Naciente de la Micro cuenca Chumpe</i>	70
<i>Figura 11: Lagunas en el Sub cuenca Arasá</i>	72
<i>Figura 12: Generación de Energía Eléctrica Sector Chumpe</i>	75
<i>Figura 13: Disponibilidad Hídrica de la Subcuenca Arasá.</i>	76
<i>Figura 14: Bosque Pluvial-Subtropical (bp-S) Subcuenca Arasá</i>	78
<i>Figura 15: Equipos Utilizados para el estudio de la Sub Cuenca</i>	80
<i>Figura 16: Mosaico de imágenes de modelos de elevación digital GDEM ASTER</i>	93
<i>y el punto para delimitación de la Cuenca Arasá.</i>	93
<i>Figura 17: Imagen ASTER GDEM del Área de estudio</i>	94
<i>Figura 18: Imagen ASTER GDEM corregida</i>	96
<i>Figura 19: Dirección de flujos</i>	98
<i>Figura 20: Flujo acumulado</i>	99
<i>Figura 21: flujo acumulado</i>	100
<i>Figura 22: Cuenca delimitada mediante ArcHydro.</i>	101
<i>Figura 23: Relación entre la curva hipsométrica y el estado de evolución de la cuenca (Strahler, 1952).</i>	105
<i>Figura 24: Resultados del análisis en IDRISI Selva 17.0.</i>	106
<i>Figura 25: Curva Hipsométrica de la Cuenca</i>	107
<i>Figura 26: Pendiente Media de la subcuenca hidrográfica Arasá</i>	107
<i>Figura 27: Clasificación de la subcuenca hidrográfica arasá según el perfil transversal de la cuenca</i>	109
<i>Figura 28: Red de Drenaje</i>	112
<i>Figura 29: Cauce principal determinado mediante la herramienta "Integrated Water Management" de IDRISI Selva 17.</i>	113
<i>Figura 30: Jerarquización de la red de drenaje de la Cuenca Arasá según Strahler</i>	115

<i>Figura 31: Estación Climatologica Quincemil</i>	<i>122</i>
<i>Figura 32: Armando la wincha para realizar los aforos</i>	<i>141</i>
<i>Figura 33: Armando la wincha para realizar los aforos</i>	<i>141</i>
<i>Figura 34: Tomando la profundidad de la microcuenca.....</i>	<i>142</i>
<i>Figura35: Realizando la georeferenciacion del punto de interés.....</i>	<i>142</i>
<i>Figura 36: esta fotografía muestra la naciente de la microcuenca chumpe.....</i>	<i>143</i>
<i>Figura 37: Realizando la georeferenciacion de la microcuenca chumpe.....</i>	<i>143</i>
<i>Figura 38: Realizando una breve encuesta socio – económica y ambiental a los pobladores del sector chumpe.</i>	<i>144</i>
<i>Figura39: Realizando una breve encuesta socio – económica y ambiental a los pobladores del sector de Tillpa.</i>	<i>144</i>
<i>Figura 40: Imágenes del sector de Upis Pata, Quebrada Pullka</i>	<i>145</i>
<i>Figura 41: Imágenes del sector de Upis Pata Quebrada Pullka</i>	<i>145</i>
<i>Figura 42: Imágenes de un afluente ubicada en el sector Punkus</i>	<i>146</i>
<i>Figura 43: Tomando las coordenadas UTM WGS-84 de la naciente de la Quebrada Punkus.</i>	<i>146</i>
<i>Figura 44: Georeferenciando la quebrada Collasullo</i>	<i>147</i>
<i>Figura 45: Centro Poblado de Coyasullo.....</i>	<i>147</i>
<i>Figura 46: Sector Rosas Pata, verificando el mapa.....</i>	<i>148</i>
<i>Figura 47: Georeferenciando la Quebrada Rosas Pata afluente importante de la subcuenca hidrográfica Arasá</i>	<i>148</i>

RESUMEN

Este trabajo se centra en el estudio de la subcuenca hidrográfica arasá, el cual se encuentra ubicado en los distritos de, Marcapata, Quincemil, perteneciente a la provincia Quispicanchis departamento del Cusco, con una extensión de 4555.28km².

El objetivo que se planteó en este trabajo fueron: determinar los parámetros de relieve, drenaje, analizar las características morfométricas de la subcuenca hidrográfica arasá, analizar los parámetros hidrológicos, Elaboración de mapas temáticos como: Mapa de Ubicación, Mapa de Hidrografia, Mapa de Pendientes, Mapa de Capacidad de uso mayor de suelos, Mapa de Grandes grupos de suelos, Mapa de Vegetación.

Para ello se han utilizado una serie de análisis mediante herramientas del software ArcGIS, Versión (10.2.1.), además se ha utilizado la extensión ArcHydro Tools versión 2.0.

La información topográfica utilizada en este trabajo procede de las siguientes fuentes de información: i) Carta nacional del IGN (Instituto Geográfico Nacional) ii) Modelo Digital del Elevaciones (ASTER GDEM, ASTER Global Elevation Model) de 30 m de resolución espacial.

Los parámetros de relieve, drenaje, morfométricos, hidrológicos son: Relieve de 63.7%, Drenaje 0.36, Ancho promedio 30.12km, Factor de forma 0.20, Coeficiente de compacidad 1.52, Relación de circularidad 0.43, Relación de elongación 0.43, Relación de elongación 0.80, Pendiente medio 51.41%, Tiempo de concentración 4.08 horas, Numero de órdenes de la cuenca 5 orden, hidrológicos, Precipitación de 262.16 mm para un periodo de retorno de 10 años, con un caudal de 58.033 Lit/Seg en la subcuenca hidrográfica arasá. Por lo tanto en base a estos parámetro morfométricos e hidrológicos se determinó en base de la forma del curva hipsométrica, es ligeramente cóncava, se habla de un río maduro, por su relieve de 63.7%, presenta un cuenca con fuertes pendientes, marcadas por lo tanto la cuenca presenta riesgos de desplazamiento de las capas del suelo o deslizamientos de tierras por su fuerte pendiente.

PALABRAS CLAVES: Cuenca hidrográfica, parámetros morfométricos, parámetros hidrológicos.

ABSTRACT

This work focuses on the study of the hydrographic sub-basin arasa, which is located in the districts of Marcapata, Quincemil, which belongs to the Quispicanchis Province Department of Cusco, with an extension of 4555.28 km².

The objective that was raised in this study were: determine the parameters of relief, drainage, analyze the morphometric characteristics of the hydrographic sub-basin arasa, analyzing hydrological parameters, preparation of thematic maps as: location map, map of hydrography, earrings map, map of capacity of greater use of soils, large groups of soils, vegetation map.

We have used a series of analyses via the software ArcGIS, Version (10.2.1), also has been used extension ArcHydro Tools version 2.0.

The topographic information used in this work comes from the following sources of information: i) National Charter of the IGN (national geographical Institute) ii) Digital model of the elevations (ASTER GDEM, ASTER Global Elevation Model) of 30 m of spatial resolution.

Parameters of relief, drainage, morphometric, hydrological are: relief of 63.7%, drainage 0.36 wide average 30.12 km, 0.20 Form Factor, coefficient of compactness 1.52, 0.43 circularity ratio, elongation 0.43 ratio, 0.80 elongation ratio, average slope 51.41%, concentration 4.08 time hours, number of orders of the 5 order, hydrologic basin, precipitation of 262.16 mm for a return period of 10 years , with a flow of 58.033 Lit/sec in the hydrographic sub-basin arasa. Therefore on the basis of these parameter morphometric and hydrological was determined on the basis of the shape of the hipsometrica curve, is slightly concave, one speaks of a mature River, for its relief of 63.7%, has a basin with steep slopes, marked therefore the basin presents risks of displacement of the layers of the soil or by its steep slope landslide.

KEY words: Watershed, morphometric parameters, hydrological parameters.

INTRODUCCION

La caracterización es un inventario detallado de los recursos y las condiciones biofísicas, socioeconómicas y ambientales de la cuenca y sus interrelaciones; está dirigida fundamentalmente a cuantificar las variables que tipifican a la cuenca con el fin de establecer la vocación, posibilidades y limitaciones de sus recursos naturales con el ambiente, y las condiciones socioeconómicas de las comunidades que la habitan (Jiménez, 2009).

El Perú cuenta con importantes recursos hídricos superficiales (lagos, lagunas, ríos, quebradas, manantiales, etc.) distribuidos en 159 unidades hidrográficas que conforman las tres grandes vertientes que caracterizan al territorio nacional Pacífico (62 unidades), Atlántico (84 unidades) y Titicaca (13 unidades). Asimismo, cerca del 80% de la población peruana se asienta fundamentalmente en la costa árida y en la sierra semiárida y sub húmeda seca, lugares donde se concentran las actividades sociales y económicas, particularmente las actividades agropecuarias, industriales y mineras.

La caracterización geomorfológica ambiental de una cuenca fluvial se determina en primera instancia por su conocimiento morfométrico, este último es uno de los aspectos más influyentes en la ecología acuática, dado que muchos indicadores, composición físico-química, sedimentación dependen de la forma de la cuenca (Doffo & González, 2005).

La hidrología de una región está determinada por sus patrones de clima tales como la topografía, la geología y la vegetación. También a medida que la civilización progresa, las actividades humanas invaden gradualmente el medio ambiente natural del agua, alterando el equilibrio dinámico del ciclo hidrológico e iniciando nuevos procesos y eventos. Por tal razón podemos decir que, los fenómenos hidrológicos son extremadamente complejos y es posible que nunca se los entienda en su totalidad. Sin embargo, en ausencia de un conocimiento perfecto, pueden representarse en forma simplificada por medio del concepto de sistema, mismo que se puede decir que es, un conjunto de partes conectadas entre sí, que forman un todo. Con estos conceptos claros se puede mostrar que, el ciclo hidrológico, es un sistema cuyos componentes son precipitación, evaporación, escorrentía y otras fases del ciclo hidrológico, estos componentes analizados de manera conjunta nos dan como resultado el balance hídrico de una cuenca. El uso desmedido y no controlado de los recursos naturales de una cuenca hidrográfica conlleva a la generación de serios problemas

ambientales y de agotamiento de dichos recursos. Actividades tales como la deforestación, construcción de hidroeléctricas, uso agropecuario, minero, construcción de vías, urbanizaciones, etc., ocasionan efectos inevitables sobre las cuencas hidrográficas, que pueden incidir seriamente en el desarrollo de las sociedades presentes y futuras, si no se toma en cuenta su conservación, a través de un manejo racional.

Así mismo, el gobierno regional del Cusco, constituido dentro del proceso de descentralización tienen dentro de sus objetivos el ordenamiento territorial y del entorno ambiental, desde los enfoques de la sostenibilidad del desarrollo y la gestión sostenible de los recursos naturales y mejoramiento de la calidad ambiental entre ellos el agua, contenida en la cuenca hidrográfica, Arasá que en nuestro caso corresponde a la cuenca en estudio que se localiza en el Distrito de Marcapata, Provincia de Quispicanchis, Departamento del Cusco.

El propósito de esta investigación es determinar las características morfométricas y hidrológicas, de la cuenca hidrográfica, Arasá, y así poder tomar esta investigación como referencia para la elaboración un plan integral de manejo de cuencas hidrográficas que ayude a mitigar los impactos negativos ocasionados por las actividades antrópicas y darle un valor agregado a la cuenca para que mejore la calidad de vida de todos los que se ubican dentro de la cuenca en estudio.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

FUNDAMENTACION DEL PROBLEMA

El incremento acelerado de las actividades extractivas mineras, actividades agrícolas, debido a la dificultad de acceso a los bosques por lo general la actividad maderera se desarrolla en sentido longitudinal a la carretera de Quincemil-Puerto Maldonado, variando la intensidad de la actividad, a medida que se va descendiendo hacia los sectores de la selva baja y en cuanto a lo forestal (en el tercer lugar) está orientada al aprovechamiento maderero. En este sentido, la cuenca o cualquier otra unidad hidrográfica, aunque comprenda ecosistemas distintos, forma en su conjunto una unidad ecológica de gran valor. (Reynel, 1970).

Las áreas anexas y contiguas al eje carretero ubicados en los distritos Marcapata, Quincemil en los últimos 10 años, están sufriendo una fuerte presión por parte de la actividad minera, lo que ha ocasionado la ocupación desordenada de grandes áreas de bosque, el cual es ecosistema de flora y fauna de mucha importancia que probablemente, aún no han sido registradas, ni estudiadas por la ciencia teniendo estas una relación directa con las unidades hidrográficas o cuencas del sector, el cual juegan un papel muy importante en albergar una diversidad de ecosistemas acuáticos ya que el ciclo vital de muchas especies se configura para aprovechar o *eludir caudales de magnitudes diferentes y poder brindar servicios ambientales*, y así también como el disfrute de valores intrínsecos cada vez más apreciados (ecología, cultura, recreación o estética) que generarían ingresos económicos para mejorar la calidad de vida de la comunidad y el mantenimiento y cuidado de las *cuencas del sector, las cuales vienen siendo arrasadas, modificadas en su totalidad* por parte de la actividad minera informal asentada en los cauces principales de los ríos y quebradas, ocasionando pérdidas irreversibles.

Antecedentes del problema

El análisis morfométrico de la subcuenca hidrográfica Arasá, de la provincia Quispicanchis de la región. Cusco aplicando técnicas de percepción remota y sistemas de información geográfica, ha recibido nula atención a juzgar por la aparente escasez de trabajos publicados sobre esta cuenca.

Pregunta de investigación

¿Qué resultados se obtienen una vez aplicada las técnicas de percepción remota y sistemas de información geográfica en la caracterización morfométrica de la subcuenca hidrográfica Arasá, de la Provincia Quispicanchis de la región Cusco?

JUSTIFICACION E IMPORTANCIA

La realización de este proyecto se justifica en las siguientes razones:

Justificación Científica.

Durante los últimos 300 años, la demanda de agua para consumo humano ha crecido tres o cuatro veces más rápido que el crecimiento de la población mundial (Beazley, 1993), esta tendencia ha sido especialmente marcada en los últimos 50 años, durante los cuales la demanda de agua se ha triplicado (Holland et al, 2003). A nivel global, se calcula que la extracción de río y lagos alcanza aproximadamente a 4.000 kilómetros cúbicos de agua por año (Beazley, 1993) un patrón que es más preocupante si se considera que únicamente el 0.01% del agua existente en la tierra se puede usar directamente para actividades humanas, y el resto se encuentra en los océanos (97%), y en forma de nieve o de hielo (Giordan & Souchon, 1995).

Los cambios en el uso del suelo y la degradación de ecosistemas como consecuencia de actividades antrópicas, afecta la calidad, movimiento y distribución del agua. Los patrones hidrológicos del mundo han sido altamente alterados por las actividades humanas, lo cual ha afectado la integridad de ecosistemas terrestres y acuáticos, creando una crisis a nivel global. En este sentido, se prevé que, si los actuales niveles de consumo de agua se mantienen a nivel mundial, no será posible sostener a la población una vez que esta haya alcanzado los 10 billones (Beazley, 1993). Por lo tanto, es necesario tomar acciones adecuadas por parte de los científicos o autoridades regionales. Municipales y locales que nos permitan generar información básica del estado y la morfometría de las cuencas y los ecosistemas que lo habitan. Que sirva como línea base y soporte a otras disciplinas de investigación aplicada.

Justificación Económica.

Históricamente el distrito de Quincemil, (cuenca Arasá) como parte de la subcuenca hidrográfica Arasá, ha sido potencialmente zona de mayor concentración de la actividad minera. Y la agricultura es la actividad que se ubica en el segundo lugar debido a la dificultad de acceso a los bosques por lo general la actividad maderera se desarrolla en sentido longitudinal a la Carretera de Quincemil- Puerto Maldonado, variando la intensidad de la actividad; a medida que se va descendiendo hacia los sectores de la selva baja y en cuanto al aprovechamiento maderero se ubica, en el tercer lugar en el distrito de Camanti (Huertas et al, 2009)

Justificación social.

Este estudio pretende determinar la importancia para la sociedad en términos de beneficios ambientales potenciales de la zona, como, por ejemplo, el uso del agua para fines poblacionales tanto urbanos, como rurales que proviene principalmente de fuentes hídricas superficiales y subterráneas, como Manantes, ubicado en las pequeñas subcuencas. La demanda de recursos hídricos está determinada por la cantidad de población y sus necesidades reales, de consumo que varía de acuerdo a las características climáticas de la zona ya que el recurso hídrico es de mucha importancia para la actividad agrícola y pecuaria por la gran cantidad de pisos ecológicos; la producción pecuaria, en distrito de Camanti, se relaciona con el manejo tradicional de los bosques pluviales y cejas de montaña que se adecuan al emplazamiento de los centros poblados y también es de mucha importancia para la actividad pesquera a nivel de piscicultura. Otro de los beneficios de estos bosques es el uso energético de la fuente hídrica que abastece a la Micro-central (riachuelo. Yanamayo) la cual tiene un caudal de consumo de $0.30 \text{ m}^3/\text{seg}$ con una altura de caída neta de 43m y la energía que genera es de 110Kw (Huertas et al., 2009).

Justificación Ecológica.- En este estudio se analizará las características Morfométricas e hidrológicas de la subcuenca hidrográfica Arasá, debido a la enorme importancia de los recursos hídricos y de crecientes problemas relacionados con su calidad y cantidad, en la actualidad la importancia de su conservación es vital para la sostenibilidad de las comunidades y población en general desde este punto de vista, es imprescindible prestar atención a los ecosistemas cuya funcionalidad depende el suministro adecuado y la regulación de los ciclos

hidrológicos locales. Los bosques por ejemplo, son ecosistemas esenciales cuya estructura y funcionamiento controlan, en gran medida, el flujo continuo y permanente de agua hacia pueblos, ciudades, campos agrícolas, industrias (Costanza, *et al* 1998).

OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar características morfométricas e hidrológicas de la subcuenca hidrográfica Arasá, Región Cusco, a partir de la integración de técnicas de percepción remota y sistemas de información geográfica.

Objetivos Específicos

- Determinar el parámetro de relieve, drenaje de la subcuenca hidrográfica Arasá, Departamento de Cusco, Perú.
- Analizar las características morfométricas de la subcuenca hidrográfica Arasá, Departamento de Cusco, Perú.
- Analizar los parámetros hidrológicos de la subcuenca hidrográfica Arasá, Departamento de Cusco, Perú.
- Elaboración de mapas temáticos. Mapa de Ubicación, Mapa de Hidrografía, Mapa de Pendientes, Mapa de Capacidad de uso mayor de suelos, Mapa de Grandes grupos de suelos, Mapa de Vegetación.

Operacionalización de Variables e Indicadores.

Las variables que denominamos independientes o de medición directa son las calculada directamente sobre la base del mapa topográfico, sin operaciones matemáticas ni ninguna elaboración previa. En contraste, las variables dependientes, que precisan ya de operaciones matemáticas, aunque éstas sean sencillas. A continuación, presentamos el cuadro de variables:

Tabla 1: variables e indicadores del estudio

VARIABLES		INDICADORES	
Variable Independiente	Indicadores Independientes	Unidad de Medida	
a. Parámetros de relieve	1. Hipsométrica	M	
	2. Pendiente	%	
	3. Elevación	M	
b. Parámetros de Drenaje	1. Pendiente del cauce	%	
	2. Orden de corriente	1°, 2°, 3°, 4°	
Variable Dependiente:	Indicadores Dependientes:		
a. Parámetros de forma	1. Coeficiente de Compacidad	m.l./km ²	
	2. Razón de elongación	m/km ²	
	3. Factor de Forma	Km ² /m.l.	
	4. Tamaño	km ²	
b. Red de Drenaje	1. Densidad de Drenaje	km/km ²	
	2. Centro de gravedad		

FUENTE: Variables Morfometricas Fernando 2002 (1-2). P.88.

CAPITULO I

1. MARCO TEORICO

Según Vásquez, (2000) “Una cuenca hidrográfica es el sistema, área o ámbito geográfico, delimitado por el *divortium aquarum*, donde ocurre el ciclo hidrológico e interactúan los factores naturales, sociales, económicos, políticos e institucionales y que son variables en el tiempo”. Es definida también como la unidad natural definida por la existencia de la divisoria de aguas en un territorio dado, sus límites quedan establecidos por la divisoria geográfica principal de las aguas de las precipitaciones; también conocido como “*divortium aquarium*”, que teóricamente, es una línea imaginaria que une los puntos de máximo valor de altura relativa entre dos laderas adyacentes, pero de exposición opuesta; desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de emisión, en la zona hipsométricamente más baja. Al interior de las cuencas se pueden delimitar subcuencas o cuencas de orden inferior.

Las cuencas hidrográficas son unidades físicas que sirven como marco práctico y objetivo para la planificación y gestión de la conservación y el rendimiento sostenido de los recursos naturales, como demanda su dimensión social, productiva y ambiental (Bruno, 1973). Según Ramakrishna (1997), una cuenca hidrográfica es un área natural en la que el agua proveniente de la precipitación forma un curso principal de agua. La cuenca es la unidad fisiográfica conformada por el conjunto de los sistemas de cursos de aguas definidos por el relieve. Los límites de la cuenca o divisoria de aguas se definen naturalmente y corresponde a las partes más altas que encierra el río.

Según Faustino (2006), las cuencas son espacios socio geográficos donde las personas y sus organizaciones comparten el territorio, sus identidades, tradiciones y culturas; socializan y trabajan en función de la disponibilidad de recursos. Las cuencas hidrográficas se reconocen como un sistema debido a la existencia de interacciones entre el sistema natural del suelo, el agua y biodiversidad y el sistema socioeconómico, que si bien éste no tiene un límite físico, sí depende de la oferta, calidad y disposición de los recursos. Los diferentes componentes del sistema cuenca no siempre se encuentran dispuestos de manera coordinada.

Según Praus *et al.* (2005) lo que se espera con el manejo integrado de cuencas hidrográficas es la gestión consciente que el ser humano debe realizar a nivel de cuenca para aprovechar y proteger los recursos naturales que ésta le ofrece, incluyendo los ecosistemas marinos-costeros adyacentes a la misma, con el fin de obtener una producción óptima y sostenida y desde una perspectiva holística.

1.1. Antecedentes de estudios realizados

Chorley *et al.*, (1984); Lloyd, (1999). Estudió las cuenca hidrológica-forestal de San José del Cabo está localizada al sur de la península de Baja California, noroeste de México. La cuenca es una de las más extensas del estado y es considerada como una de las principales fuentes de recursos hídricos. Un análisis de balance de contraste, análisis de componentes principales (ACP) y filtrado de alto paso en una imagen Landsat ETM+, fotografías aéreas y modelo digital de elevación fueron usados para cartografiar la geomorfología y la geología del área y desarrollar un análisis morfométrico en la margen occidental de la cuenca. Los rasgos estructurales (alineamientos) fueron obtenidos del modelo digital de elevación. Los parámetros morfométricos y el análisis estructural de siete sub cuencas se derivaron para determinar áreas potenciales de captura hídrica hacia la cuenca hidrológica de San José del Cabo (CHSJC). Los datos obtenidos fueron integrados a un sistema de información geográfica para la realizar un análisis de decisión multi-criterios (ADMC). Se identificó que la captura toma lugar en la parte serrana de la cuenca, *dentro del basamento cristalino a través de un sistema de fracturamiento interconectado*, por lo mismo que los recursos Hídricos de regiones áridas y semiáridas del planeta se encuentran entre los más amenazados, debido a la escasa precipitación que limita la recarga de los acuíferos. A nivel mundial, el promedio anual de precipitación en estas regiones fluctúa entre 400 a 500 mm.

Raynal, (1970) Estudio el análisis matemático de la configuración de la superficie, forma y dimensiones del relieve de las cuencas que constituyen la red hidrográfica de Bizkaia, permitirá que se puedan determinar, en posteriores trabajos, posibles relaciones con aspectos ecológicos. En este sentido, la cuenca o cualquier otra unidad hidrográfica, aunque comprenda ecosistemas distintos, forma en su conjunto una unidad ecológica de gran valor. Asimismo, los estudios hidromorfológicos realizados

bajo un prisma ecológico enlazan con los aspectos de índole territorial y de ordenación, en especial a través del problema de la erosión.

Zarate *et al.*, (2005). Estudio la cuenca las Encadenadas del Oeste se localiza en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Es una cuenca endorreica y un escenario de suma fragilidad ante eventos hidrológicos extremos, debido a su incapacidad para evacuar grandes volúmenes de agua. Por esta razón, es de suma importancia el conocimiento y la delimitación de su cuenca hidrológica. El objetivo del presente trabajo es establecer la dirección de la escorrentía superficial a partir de la aplicación de modelos hidrológicos e identificar divisorias de aguas. Se aplicó el modelo «Hydrologic Modeling», de Arc Gis, el cual consiste en determinar todas las celdas que drenan a una en particular. Se obtuvo una clasificación de las subcuencas en mayores, medias y conos aluviales activos. Los primeros formados por arroyos principales permanentes, las segundas formadas por arroyos secundarios que nacen de cárcavas y los conos aluviales sin cursos definidos, formados en la desembocadura de los arroyos principales y secundarios. El espectro cronológico de la cuenca Las Encadenadas del Oeste incluye morfologías longevas en los sistemas serranos, anteriores al Cenozoico, hasta otras del Holoceno tardío La cadena serrana, localizada en el sector Sur de la cuenca, tiene forma sigmoidal y se interpreta como resultado de la presencia de componentes de cizalla durante la deformación.

Lankford, (1974) Realizó un estudio del comportamiento de las variables morfométricas, batimétricas, hidrodinámicas y físico químicas de la Laguna de Chautengo, Guerrero, a partir de fotografías aéreas y trabajo de campo con muestreos bimensuales de variables morfométricas, hidrodinámicas y físico-químicas del agua. Los resultados indicaron que la laguna presentó marcadas variaciones anuales en su morfometría y batimetría. El área máxima estimada fue de 29.6 km². La barra de la laguna es recta y está colonizada en un 36.8 % por comunidades de manglar, tiene una longitud de 10 km y una anchura media de 0.52 km. Las tres islas que presenta la laguna se ubican cerca de la desembocadura y tienen un área de 83,000, 3,680 y 61,440 m² respectivamente. La variación vertical de la columna de agua fluctuó entre 6 y 12 cm diarios, presentándose el máximo nivel a las 18:00 y 0:00 h y el mínimo a las 6:00 h. Las corrientes presentaron un valor promedio de velocidad de 1.97 m/min. La temperatura media anual fue de 29.8 °C, con una variación entre la

superficie y el fondo de 0.23 °C; la salinidad varió de 0.7 a 38 ‰; el oxígeno disuelto se registró en promedio en 4.71 mg/L, existiendo una diferencia del 8.7 % entre la superficie. La laguna presenta características de un cuerpo de agua somero y tropical en un proceso avanzado de evolución, pero con condiciones adecuadas para el desarrollo de la fauna y flora acuática. Este estudio servirá de base para el diseño de un plan de manejo sostenible de las pesquerías y acuicultura de la Laguna de Chautengo.

1.2. Revisión de Literatura

1.2.1. Cuenca hidrográfica

Sánchez y Artieda, (2004) Una cuenca hidrográfica es un área natural en la que el agua proveniente de la precipitación forma un curso principal de agua; también se define como la unidad fisiográfica conformada por el conjunto de los sistemas de cursos de agua definidos por el relieve. Los límites de la cuenca “divisoras de aguas” se definen naturalmente y corresponden a las partes más altas del área que encierra un río.

También se define como un ecosistema en el cual interactúan y se interrelacionan variables biofísicas y socioeconómicas que funcionan como un todo (Conagua, 2006) señala la cuenca hidrológica es la unidad del territorio, diferenciada de otras unidades, normalmente delimitada por una parte aguas o divisorias de las aguas “aquella línea poligonal formada por los puntos de mayor elevación en dicha unidad” en donde ocurre en distintas formas, y ésta se almacena o fluye hasta un punto de salida que puede ser el mar u otro cuerpo receptor interior a través de una red hidrográfica de cauces que convergen en uno principal, o bien el territorio en donde las aguas forman una unidad autónoma o diferenciada de otras, aun sin que desemboquen en el mar. En dicho espacio delimitado por una diversidad topográfica, coexistente el recurso agua, suelo, flora, fauna, otros recursos naturales relacionados con estos y medio habiente. La cuenca hidrológica conjuntamente con los acuíferos, constituye la unidad de gestión de los recursos hídricos. La cuenca hidrológica está a su vez integrada por subcuencas y estas últimas están integradas por microcuencas.

American Planning Association (2008) Por su parte, afirma que, la cuenca hidrológica es el área geográfica de donde el agua fluye hacia un sitio y está

determinada por la forma de la tierra (topografía) puede ser delimitada en base a las curvas de nivel en los mapas topográficos Chow et al (1994) señala que la cuenca hidrográficas es una superficie de tierra que drena hacia una corriente en un lugar dado y que se compone de una línea divisoria que separa la superficie de tierra cuyo drenaje fluye hacia un río de las demás superficies de tierra.

1.2.1.1. Características de la Cuenca

Según Sánchez (2003) la unidad fundamental para la gestión de los recursos hídricos, es la cuenca hidrológica. En virtud de la relación e interacción que se da entre los diferentes elementos que constituyen la cuenca hidrológica, el agua se convierte en el elemento integrado del análisis socioeconómico y sustento para la conservación de otros recursos.

La cuenca hidrológica está a su vez integrada por subcuencas y estas últimas están integradas por microcuencas, sin embargo, aunque es considerada la unidad fundamental en ocasiones es preciso dividirla en subcuencas o microcuencas para facilitar su estudio o aumentar el grado de precisión en los resultados.

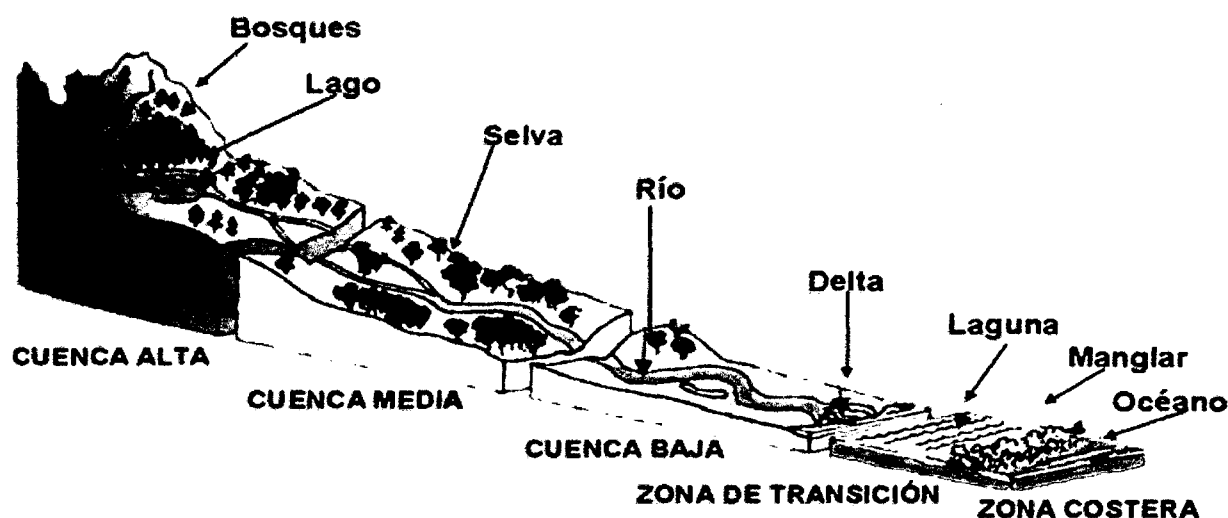
1.2.1.2. Divisiones de la cuenca hidrográfica

La cuenca puede subdividirse de varias formas, siendo común el uso del término subcuenca para denominar a las unidades de menor jerarquía, drenadas por un tributario del río principal. El término micro cuenca se emplea para definir las unidades hidrográficas más pequeñas dentro de una cuenca principal. Esta subdivisión de las cuencas permite una mejor priorización de las unidades de intervención o tratamiento (IDEAM, 2000).

1.2.1.3. Secciones o partes de una cuenca

Las cuencas hidrográficas tienen tres áreas o zonas donde el impacto del agua es distinto, aunque se mantiene una estrecha interacción e interconexión entre ellas.

Figura 1: Partes de una cuenca hidrográfica



Fuente: Ramos (1999).

1ra Curso alto: Corresponde a territorios de gran altitud, con fuertes pendientes; Es la parte de la cuenca donde nacen los ríos por tanto es la región de mayor captación del agua de lluvias y ayuda con la regulación y suministro de agua durante el resto del año a las otras partes de la cuenca. Además, en esta predomina la erosión causada por el agua ya que se transporta material terreo a las partes bajas de la cuenca.

2da Curso medio: Corresponde a territorios de media altitud con pendientes medianas a fuertes; En esta se dan la mayoría de las actividades productivas.

3ra Curso bajo: Corresponde a territorio de baja altitud, mayoritariamente planos, por esa razón es la región más utilizada por el ser humano ya que en ella se ubican la mayor cantidad de asentamientos humanos y sus redes de transporte y comunicaciones. Además, es la parte de la cuenca donde los ríos y suelos son altamente contaminados debido a dichos asentamientos.

1.2.1.4. Los componentes de la cuenca

Los componentes principales que determinan el funcionamiento de una cuenca son el Biológico integrado por la flora y la fauna, y los elementos cultivados por

el hombre; Físico integrado por el suelo, subsuelo, geología, recursos hídricos, y temperatura, entre otros; Económico integrado por todas las actividades productivas que realiza el hombre, en agricultura, recursos naturales, ganadería, industrias, servicios (camino, carreteras, energía, asentamientos y ciudades) y por último el Social integrado por los elementos demográficos, institucionales, tenencia de la tierra, salud, educación, vivienda, culturales, organizacionales, políticos y legal, es decir, Son las comunidades que habitan en la cuenca, las que aprovechan y transforman los recursos naturales para su beneficio, construyen obras de infraestructura, de servicio y de producción, los cuales elevan nivel de vida de estos habitantes.(Cuenca Hidrográfica, s.f.).

En cuanto a los componentes básicos de un sistema cuenca, con presencia humana, debemos a lo menos identificar los siguientes:

a) Componentes o elementos naturales:

- ❖ Agua.
- ❖ Suelo.
- ❖ Vegetación.
- ❖ el clima.

b) Componentes o elementos antrópicos (Socio-económicos).

- ❖ Infraestructura.
- ❖ Tecnología.
- ❖ Niveles de calidad de vida.

c) Jurídico-institucionales:

- ❖ Normas que regulan el uso de los recursos.
- ❖ Políticas de desarrollo.
- ❖ Instituciones involucradas.

El clima define las condiciones de temperatura, precipitación, humedad y otros factores importantes para el desarrollo de la vegetación y fauna en la cuenca. El Agua es un elemento importante en la cuenca, ya que permite el desarrollo de la flora y fauna de la zona, así como también ayuda a mejorar la productividad de los suelos. Es fundamental su presencia para satisfacer las necesidades de riego, consumo humano, generación hidroeléctrica, de la industria, etc. (Conesa, Fdez, Victoria, 1997).

Como se indicó la idea base es que la cuenca constituye un ecosistema. Los componentes o elementos naturales de este sistema natural interactúan o se influyen mutuamente, y éstos a su vez con los elementos o componentes de los sistemas económicos y sociales creados por el hombre. Los compartimentos físicos o naturales de este sistema: agua, suelo y aire, poseen una capacidad asimilativa de absorber impactos finitos, que pueden caracterizarse cualitativamente y cuantitativamente (Parra, 1988, Parra et. al., 2009). El uso sustentable de los recursos o servicios que ofrece el sistema cuenca depende en gran parte del respecto de esta "capacidad asimilativa o de carga".

1.2.1.5. Microcuenca

Una microcuenca es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una sub cuenca; o sea que una sub cuenca está dividida en varias microcuencas. 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. En la práctica, las microcuencas se inician en la naciente de los pequeños cursos de agua, uniéndose a las otras corrientes hasta constituirse en la cuenca hidrográfica de un río de gran tamaño. el concepto de microcuenca debe ser considerado desde un principio como un ámbito de organización social, económica, y operativa además de la perspectiva territorial e hidrológica tradicionalmente considerada. (Villanueva 2002).

1.2.1.6. Sub cuenca

Una sub cuenca es toda área en la que su drenaje va 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 sub cuencas (Faustino, 2006).

1.2.2. Tipos de cuencas

Existen fundamentalmente dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas, sin embargo, encontramos otros tipos considerando la salida, y son:

- a) **Cuenca Endorreica:** cuencas que desembocan a lagos, lagunas o salares, no tienen comunicación ni salida fluvial al mar, es decir, el punto de salida a los escurrimientos se encuentra dentro de los límites de la propia cuenca.
- b) **Cuenca Exorreica:** este tipo de cuenca, el punto de salida se encuentra en los límites de la misma y drena sus aguas a otra corriente o al mar u océano.
- c) **Cuenca Arreica:** las aguas de estas cuencas se evaporan o se filtran en el terreno antes de formar parte de una red de drenaje, ya que no existe una permanente.
- d) **Cuenca Criptorreica:** este tipo de cuenca se da cuando los escurrimientos se filtran y se convierten en ríos subterráneos.

1.2.3. Clasificación de las cuencas hidrográficas

En relación a la clasificación de las cuencas hidrográficas, ésta es bastante subjetiva, pero en general se las puede clasificar atendiendo a su tamaño; Sánchez, S.F. (1995), propone una clasificación de las cuencas por categorías de tamaño: de la siguiente manera.

- a) **Microcuenca:** Área determinada por divorcios de agua, con una superficie menor o igual a 10.000 Ha.
- b) **Cuenca pequeña:** Área con una superficie mayor a 10 000 ha., pero menor o igual a 100 000 ha.
- c) **Cuenca mediana:** Le corresponde una superficie mayor a 100 000 ha., pero menor o igual a 500 000 ha.
- d) **Cuenca grande:** Es aquella que tiene una superficie mayor de 500.000 ha, pero menor o igual a 1 000 000 ha.
- e) **Cuenca muy grande:** Es la que tiene una superficie mayor a 1.000.000 de ha.

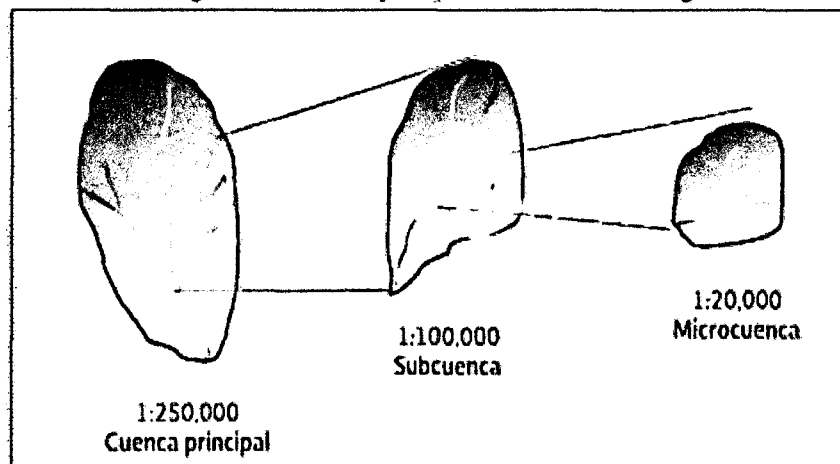
No necesariamente se analiza con el mismo criterio una cuenca pequeña que una grande. Para una cuenca pequeña, la forma y cantidad de escurrimiento están

Influenciadas principalmente por las condiciones físicas del suelo; por lo tanto, el estudio hidrológico debe enfocarse con más atención a la cuenca misma, mientras que, para una cuenca muy grande, el efecto de almacenaje del cauce es muy importante, por lo cual deberá darse también atención a las características de éste último (Villon, 2002).

Una cuenca es una zona de la superficie de la tierra, que, si se supone impermeable, al caer alguna precipitación (agua, granizo o nieve) escurrirá o será drenada por un sistema de corrientes a un mismo punto de salida con determinada velocidad y tiempo de escurrimiento. Está delimitada por el parteaguas, que es la línea imaginaria que une los puntos con mayor altitud de la cuenca. Las cuencas que orográficamente forman una salida para el agua se denominan exorreicas y las que no tienen una salida física, endorreicas.

La característica principal de una cuenca es su tamaño en este caso se habla de las cuencas pequeñas, según Chow (1994) una cuenca pequeña es aquella que es sensible a lluvias de alta intensidad y corta duración, es decir, que predominan las características fisiográficas de la cuenca sobre las del cauce. Chow (1994) fijó como límite para considerar una cuenca pequeña aquella que fuera menor de 25km^2 , sin embargo Para I – Pai – Wu y Sprigall este límite es de 250km^2 , (Aparicio 1992) para cuencas grandes el efecto de almacenamiento en el cauce es muy importante, para lo cual deberá darse mayor atención a las características de este.

Figura 2: Estructura jerárquica de la cuenca hidrográfica



Fuente: (Aparicio 1992).

Tabla 2: Cuadro de comparaciones de características hidrológicas entre una cuenca pequeña y una grande

PROCESOS	CUENCA PEQUEÑA	CUENCA GRANDE
Factor dominante en los caudales de crecida.	Escorrentamiento superficial en las vertientes	Escorrentía en el cauce.
Sensibilidad.	a) A lluvias de alta intensidad y corta duración. b) Uso de la tierra (manejo de la tierra).	La sensibilidad a estos factores es suprimida por el efecto de almacenamiento en el valle.
Efecto del escorrentamiento.	El efecto del escorrentamiento superficial en las vertientes predomina en los picos de Crecida. De ahí la importancia del uso de la tierra y manejo de las vertientes en general.	El efecto del almacenamiento en el valle determina las características del pico de crecidas.
Crecidas e inundaciones.	Súbitas y violentas.	Lentas y de larga duración.
Arrastre de material.	Arrastre de gran cantidad de sedimentos, con alto porcentaje de material de gran diámetro.	Arrastre moderado de Material, de baja granulometría.
Caudal de estiaje.	Reducido o nulo	Regular, régimen hídrico permanente.
Pendiente media.	Pronunciada.	Suave.
Tamaño.	Menor de 130 Km ² .	Mayor de 130 Km ² .

Fuente: Ideam (1998)

1.2.4. Enfoque sistémico de la cuenca hidrográfica

Un sistema es el conjunto de componentes que conforman un todo y que interactúan entre sí, dentro de un límite determinado, donde reciben insumos y generan productos a través de diferentes procesos y fenómenos naturales. El enfoque sistemático considera que, en el análisis de una cuenca lo más importante no consiste en considerar la actuación o papel particular de cada uno de los elementos

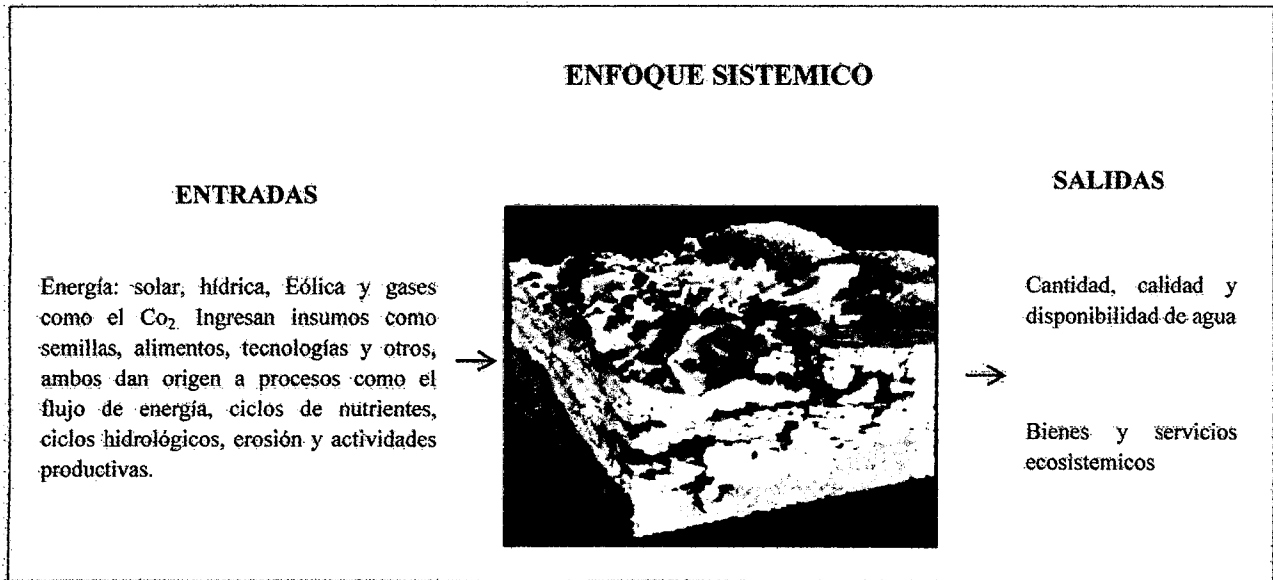
constitutivos: agua, suelo, clima, vegetación, fauna hombre, etc., sino la interacción entre éstos, para conocer a cabalidad la dinámica real de la cuenca.

Según Vásquez (2000), dentro de un enfoque sistémico, la cuenca hidrográfica puede ser considerada como un sistema abierto, de naturaleza intrínsecamente dinámica, con una organización geográfica propia, estando en dependencia e interrelación permanente con los llamados sistemas antecedentes. Como sistema, se sustenta en un equilibrio dinámico, en función a ciclos y fluctuaciones que son procesos no lineales.

Dourojeanni (1994), el enfoque ecosistémico es un concepto moderno para el manejo integral de la tierra, el agua y los recursos vivos, que propende por la conservación y el uso sostenible. Se fundamenta en conceptos científicos enfocados sobre los diferentes niveles de la organización biológica que abarcan la estructura esencial, procesos, funciones e interacciones entre los organismos y el medio ambiente, reconociendo al hombre, con su diversidad cultural, como parte integrante de los ecosistemas.

La TGS (Teoría General de Sistemas). Ha planteado, que muchos de los fenómenos que se presentan en la naturaleza son explicados por que hay unos elementos o componentes que constituyen o forman subsistemas y que a la vez estos subsistemas hacen parte de un gran sistema. En el sistema, estos elementos y componentes se suceden, interactúan e interrelacionan a veces como factores o insumos de entrada, soportan y explican procesos, situaciones, explican procesos o productos de tipo salida o resultado. Estos conjuntos de interrelaciones pueden sucederse o prolongarse *ininterrumpidamente*, de ahí que se hable de *sistemas abiertos o cerrados* y de procesos de retroalimentación en los sistemas o de procesos o sistemas cíclicos.

Figura 2: Enfoque Sistémico de una cuenca hidrográfica.



Fuente: Vásquez (2000).

Ver a una cuenca hidrográfica como un sistema de interacciones físicas, bióticas y socio-económicas. Lo cual hace necesario un manejo integral de todos los factores o elementos que constituye una cuenca.

El enfoque sistémico es la aplicación de la TGS (Teoría General de sistemas) en la ordenación de cuencas permite el análisis de la cuenca como sistema, en donde se pueden identificar las características generales de cualquier sistema como son:

- a) La interrelación de sus componentes (relación entre las partes y el todo).
- b) Los sistemas están ordenados en una jerarquía.
- c) Las partes de un sistema no son iguales al todo.
- d) Los límites de los sistemas son artificiales.
- e) Los sistemas pueden ser abiertos o cerrados - según la influencia con el ambiente.
- f) Cada sistema tiene entradas, procesos, salidas y ciclos de retroalimentación.
- g) Las fuerzas dentro de un sistema tienden a ser contrarias entre ellas (*feedback*) para mantener el equilibrio.
- h) Entropía.

Es así, como el enfoque sistémico es el más adecuado para llevar a cabo procesos de ordenación y acciones de planificación en la cuenca hidrográfica; dado que la cuenca naturalmente constituye un sistema donde se cierra el balance del agua y la energía y por ser dinámico, la acción sobre sus partes genera reacción sobre otras partes del sistema, se considera como abierto y complejo, en cuyo interior sus componentes están interconectados o entrelazados y cuyos vínculos contienen información adicional. En la cuenca son evidentes las interacciones entre los sistemas naturales (suelo, agua, biodiversidad, aire) y los sistemas socioeconómicos y culturales (Vásquez 2000).

Según Parra (2009) desde un enfoque ecosistémico una cuenca hidrográfica es un ecosistema que según sea el caso podrá o no tener la presencia del hombre, de sus actividades y de su influencia.

Desde una óptica más utilitaria (Parra, 1988; Parra, 1996), a una cuenca, se le puede considerar como un sistema integrado o máquina para transformar la radiación que viene del sol, precipitaciones y otros factores ambientales, que sumados al trabajo humano y la inversión de capital permite rescatar servicios ecosistémicos, como; productos forestales, agrícolas, vida silvestre, satisfacciones estéticas, recreacionales, producción de energía y agua para la población, agricultura e industria. De este modo, una cuenca es un gran ecosistema que entrega diversos servicios a la sociedad (servicios ecosistémicos). En este sentido puede entenderse el territorio de la cuenca como el espacio en donde se expresan las interrelaciones más complejas del ciclo del agua tanto naturales como antrópicas.

Como resultado de dichas interacciones, surgen propiedades nuevas dentro del sistema de cuenca, que no pueden explicarse a partir de las propiedades de sus elementos aislados; dichas propiedades se denominan propiedades emergentes y son la base del análisis sistémico.

La comprensión de estas relaciones constituye el pilar para la identificación de las problemáticas, potencialidades y restricciones de la cuenca (causas, efectos, soluciones).

1.2.5. Funciones de una cuenca.

A partir de conocer las características de una cuenca hidrográfica, Bernex (2006) clasifica las diversas funciones:

- a) **Función hidrológica:** captar agua de las diferentes fuentes de precipitación para formar el escurrimiento de manantiales, ríos y arroyos, almacenamiento del agua en sus diferentes formas y tiempos de duración y al mismo tiempo genera descarga del agua como escurrimiento.
- b) **Función Ecológica:** proveer de hábitat para la flora y fauna constituyendo los elementos biológicos del ecosistema y manteniendo interacciones entre las características físicas y biológicas del agua.
- c) **Función Ambiental:** regular la recarga hídrica y los ciclos biogeoquímicos, conservar la biodiversidad, constituir sumideros de CO₂, albergar bancos de germoplasma, mantener la integridad y la diversidad de los suelos.
- d) **Función Socioeconómica:** suministrar recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas que dan sustento a la población y proveer de un espacio para el desarrollo social y cultural.

1.2.6. Sostenibilidad en el manejo de cuencas

En las intervenciones y toma de decisiones que se realizan a nivel de estado para tratar de mejorar las condiciones de las cuencas a través de programas, proyectos y planes siempre el énfasis va enfocado en lograr que las alternativas propuestas puedan ser sostenibles en el tiempo. Los recursos iniciales procedentes de diferentes fuentes pueden ser factibles, sin embargo, los requisitos primordiales exigidos hacen que estos recursos sean valorados, y sirvan como una estrategia inicial en donde los demás actores participen y aporten.

Según Faustino (2007), el reto de lograr la sostenibilidad en manejo de cuencas, puede considerarse desde diversas perspectivas; ecológica, social y económica, para cada variable de análisis se requieren procesos articulados a las condiciones particulares de los ecosistemas.

a) La sostenibilidad ecológica:

La sostenibilidad ecológica depende del grado de deterioro de la cuenca. Muchos autores o técnicos que se han dedicado a trabajar e investigar el fenómeno de lograr la recuperación de las cuencas sostienen que se puede lograr una sostenibilidad a largo plazo, atendiendo las acciones a corto y mediano plazo que se presente. Es importante realizar las obras, acciones, prácticas, tomar medidas o acciones indirectas de manera que pueda ir originando un cambio positivo en el paisaje y en las necesidades de la población. De esta forma se puede percibir un cambio efectivo y lograr un mayor apoyo a las acciones de recuperación de cuencas.

Por lo tanto, la sostenibilidad ecológica de la cuenca a nivel de las subcuencas es viable lograr, todo dependerá del tratamiento técnico y la forma de asegurar la continuidad de las prácticas, medidas, obras o acciones indirectas. De tal manera que suelos degradados e infértiles, pueden mejorar su productividad, tierras deforestadas pueden restablecer su cobertura vegetal y regenerar las condiciones muy similares a las originales, la cantidad y calidad del agua se puede mejorar, y como consecuencia las inundaciones, sequías y problemas de contaminación de aguas se pueden regular, mitigar o controlar.

El plan de manejo de cuencas desde el punto de vista ambiental considera programas y proyectos muy vinculados a los objetivos ambientales, todos tienen proyectos afines a la conservación y protección de los recursos naturales (Autoridad Nacional del Ambiente, ANAM, 2008).

b) La sostenibilidad Social:

Esta es un aspecto importante al trabajar con cuencas porque es la sociedad la que puede provocar con su aptitud un cambio en la cuenca. Según Faustino (2007) todo dependerá de la intervención humana organizada o individual, formar capacidades de gestión, lograr cambios de actitudes, tener marcos legales y normativos adecuados, promover organizaciones responsables del manejo de cuencas, no es una tarea fácil y de rápido resultado.

La sostenibilidad social, se logra dirigiendo el desarrollo al mejoramiento de la calidad humana mediante una mejor educación, mejor salud y la formación de capacidad, fortaleciendo la cohesión social entre los miembros de la sociedad, mejorando la gobernabilidad, transparencia, solidaridad social, la

cooperación, la tolerancia entre religiones, razas, agrupamientos étnicos, profesionales y políticos. A su vez, es necesario lograr este desarrollo social tomando en consideración al mismo tiempo su impacto sobre la sostenibilidad económica y del medio ambiente (Salim, 2006).

Los gobiernos locales juegan un papel importante en lograr la sostenibilidad social, ya que tienen que liderar y crear las bases para que la sociedad civil, los empresarios y organizaciones puedan interesarse y participar de la planificación y ejecución de acciones que conlleven la mejora de su propia calidad y nivel de vida.

c) La sostenibilidad económica:

Los recursos para implementar acciones en cuencas es uno de los principales obstáculos al momento de pensar en lograr una sostenibilidad, ya que las planificaciones son costosas y a largo plazo. Además, que muchos de los productos que se generan no son tangibles, solo un mecanismo para mejorar la situación de la cuenca. Se tiene que pensar en mecanismos de financiamientos que permitan gestionar, ejecutar, operar y dar continuidad a las acciones en un horizonte largo de tiempo.

Se han promovido estrategias como el de internalizar las externalidades de las cuencas, pero a la fecha son muy pocas las personas que manejan el concepto y están dispuesta a realizar aportes para mantener un flujo constante de capital que permita continuar con el manejo de la cuenca.

1.2.7. Sistema hídrico.

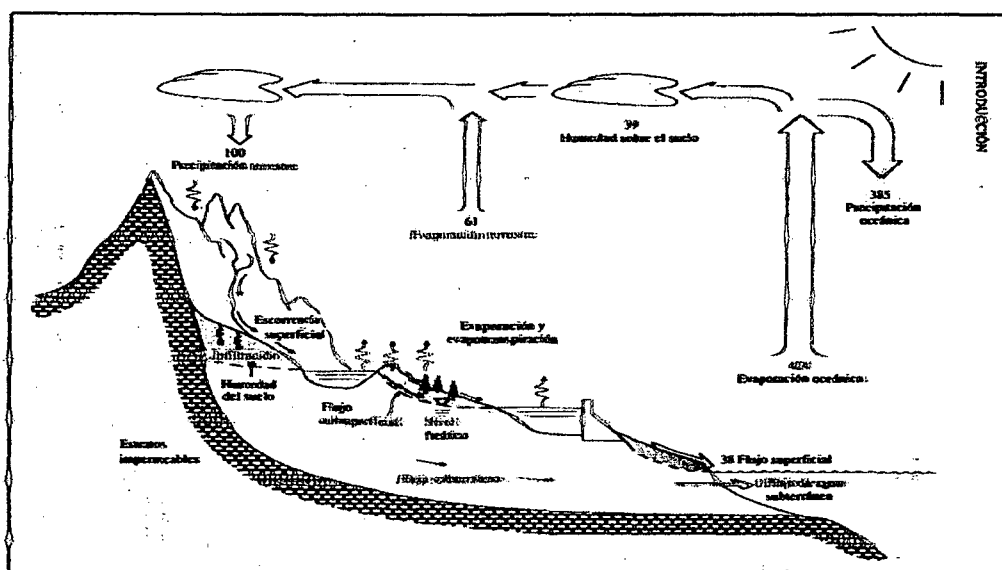
También a la cuenca hidrográfica se le reconoce como un área de terreno conformada por un sistema hídrico, el cual tiene un río principal, sus afluentes secundarios, terciarios, de cuarto orden o más. El sistema hídrico refleja un comportamiento de acuerdo a cómo se están manejando los recursos agua, suelo y bosque; y qué actividades o infraestructuras afectan su funcionamiento. Todo punto de la tierra puede relacionarse con el espacio de una cuenca hidrográfica, a veces corresponde a las partes altas, laderas, lugares ondulados, sitios planos y zonas bajas, que pueden localizarse hasta en las zonas costeras, cuando la cuenca conduce su drenaje a un océano ó mar (World Vision, 2004).

1.2.8. El ciclo hidrológico.

El funcionamiento de una cuenca se basa en los principios del ciclo del agua y sus relaciones con el suelo, la cobertura y uso de la vegetación, la topografía y el agua, en tiempo y espacio. Debido a ello, al estudiar una cuenca hidrográfica se analiza y trata de describir el comportamiento del agua superficial (Gaspari, Rodríguez, Senisterra, Delgado, & Besteiro, 2013).

El conocimiento particular del movimiento del agua en una cuenca permite organizar, ordenar y planificar la misma. Por ello la caracterización del ciclo hidrológico generará un diagnóstico básico para todo estudio en esta unidad hidrológica. La Figura 6 representa un esquema general del ciclo hidrológico, indicando la proporción media global entre los diferentes procesos, tomando como referencia la precipitación de la tierra igual a 100, según Chow et al (1994).

Figura 3: El ciclo hidrológico con un balance de agua promedio global en unidades relativas a un valor de 100 para la tasa de precipitación terrestre.



Fuente: Faustino 2006.

Comprende una serie de procesos continuos e interdependientes, de movimiento y *transferencia de agua en la tierra, océano, cuerpos de agua y atmósfera*. El ciclo hidrológico permite definir entradas y salidas en la cuenca, de manera que puede determinarse un balance. Cuando uno de los componentes ó factores se altera,

Entonces el ciclo se manifiesta en efectos de exceso ó defecto. (Faustino, 2007).
~~Como se trata de un ciclo podríamos considerar todas sus fases comenzando desde cualquier punto, pero lo más intuitivo puede ser comenzar en la precipitación y considerar qué caminos puede seguir el agua que cae sobre los continentes mediante las precipitaciones (Faustino, 2006).~~

El ciclo hidrológico no es homogéneo en todas las partes de la cuenca hidrográfica. Hay áreas que al inicio de la precipitación no aportan flujo de agua y viceversa. Además, el agua puede cambiar el modo de circulación de horizontal a vertical, recíprocamente, antes de alcanzar el cauce ó la salida de la cuenca. ~~El ciclo se basa en una entrada principal, la precipitación, y salidas de agua como~~ ser la evaporación del suelo y de cuerpos de aguas (si estos existieran), la ~~evaporación - transpiración de las plantas o evapotranspiración como agua que~~ ~~regresa a la atmósfera, la que ingresa al suelo (Infiltración y Percolación) y el~~ ~~escurrimiento, que se encuentran en movimiento casi continuo en las capas~~ ~~horizontales del suelo (Gaspari et al, 2013).~~

Los componentes principales del ciclo en una cuenca hidrológica son ilustrados por la ecuación del balance hídrico (Ward & Robinson, 1990), ver Ecuación 1.

$$P = ET + Q + \Delta S + \Delta G$$

Ecuación 1.

Dónde:

P: Precipitación

ET: Evapotranspiración

Q: Caudal de esorrentía

ΔS : Cambio en el almacenamiento de agua en el suelo

ΔG : Cambio en almacenamiento de aguas subterránea (freática)

Con todos los valores expresados en mm de agua por unidad de tiempo (día, semana, mes o año).

1.2.9. Caracterización de cuencas hidrográficas.

La caracterización está dirigida a cuantificar las variables que tipifican a la cuenca con el fin de establecer las posibilidades y limitaciones de sus recursos naturales y las condiciones socioeconómicas de las comunidades humanas que la habitan.

Es conocida como la fase de inventarios, evaluación e interpretación de los aspectos biofísicos, sociales, económicos y administrativos de todos los recursos de la cuenca.

La caracterización permite definir:

- a) Las condiciones físicas, climáticas y topográficas del área.
- b) El inventario y condiciones de los recursos naturales renovables.
- c) El uso y la tecnología aplicada en el aprovechamiento de los recursos naturales de la cuenca y sus efectos sobre los mismos.
- d) Localización, dotación, operación y mantenimiento de los servicios públicos.
- e) Las condiciones socioeconómicas y culturales de la población (Faustino, 2007).

1.2.10. Delimitación de la cuenca hidrográfica

Consiste en definir la línea de divortium aquarum, que es una línea curva cerrada que parte y llega al punto de captación o salida mediante la unión de todos los puntos altos e interceptando en forma perpendicular a todas las curvas de altitudes del plano o carta topográfica, por cuya razón a dicha línea divisoria también se le conoce con el nombre de línea neutra de flujo. La longitud de la línea divisoria es el perímetro de la cuenca y la superficie que encierra dicha curva es el área proyectada de la cuenca sobre un plano horizontal. Aparicio (1999) uno de los primeros pasos que se consideran para efectuar el análisis hidrológico de una cuenca, es definir la ubicación y delimitar la cuenca de estudio. Lo que lleva a efectuar el trazo de la línea imaginaria que la delimita, comúnmente llamada parteaguas, es una línea formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas, además, Molina (1975) menciona que las líneas de flujo son perpendiculares a las curvas de nivel del terreno hasta un punto del cauce del río que sirve como salida de las aguas que caen dentro de la cuenca.

1.2.10.1. Metodología para delimitar una cuenca hidrográfica.

En la metodología desarrollada para esta delimitación, la importancia de cualquier curso de agua está relacionada con el área de su unidad hidrográfica (cuenca). De acuerdo a los cursos principales conocidos se efectuó una distinción entre río principal (primario) y los tributarios (secundario, terciario, etc.), en función del criterio del área drenada. Así, en cualquier confluencia, el río principal será siempre aquel que posea la mayor área drenada entre los dos denominándose cuencas a las áreas drenadas por los tributarios e intercuenas de las áreas restantes drenadas por el río principal.

1.2.10.2. Método automático para delimitación de cuencas.

El método automático utiliza algoritmos que facilitan el procesamiento de la información, requiriendo poca intervención de los analistas, minimizando el tiempo de dedicación en el proceso de generación de la información (Rodriguez & Mourao, 2013). El software utilizado para la delimitación de cuencas es ArcHydro versión 12, que es una extensión de ArcGis 10.2.3 que trabaja básicamente con modelos de elevación digital, es utilizado para obtener varios juegos de datos que colectivamente describen los patrones de drenaje de la cuenca; mediante un análisis de rasters genera datos sobre la dirección de flujos, acumulación de flujos, definición de corrientes, segmentación de corrientes y líneas de drenaje de puntos seleccionados. Estos datos son utilizados luego para desarrollar una presentación vectorial de las subcuencas y líneas de drenaje, la utilidad de las herramientas de ArcHydro esta demostrada en la aplicación en modelación hidrológica (Maidment et al, 2010).

1.2.10.3. Modelo digital de elevación

Burrough y Mcdonnell, (1998). El Modelo Digital de Elevación (DEM) es un Modelo Digital del Terreno Cuyos datos almacenados representan valores de altitud. En la actualidad es posible caracterizar la superficie y sobre todo, delimitar Unidades Hidrográficas a partir de Modelos Digitales de Elevación (DEM).

1.2.11. 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 (del suelo, subsuelo y manto rocoso, aquí la importancia de caracterizar y evaluar el agua subterránea) 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).

Cadie, (2006), en esta visión de las dimensiones existe una interacción de las mismas, el ancho y largo influyen por ejemplo en el comportamiento de la escorrentía o tiempo de concentración, también en las posibles vinculaciones de los actores. La dimensión de altura o profundidad ha sido menos integrada en los análisis, de allí que el movimiento del agua en el perfil del suelo, la infiltración y percolación profunda no se consideran en los efectos de contaminación de acuíferos, recarga natural y desplazamientos de elementos peligrosos en largos periodos y sus efectos retardados.

1.2.12. Características morfológicas de una cuenca hidrográfica.

Aparicio (1999) menciona que el ciclo hidrológico, visto a nivel de una cuenca, se puede esquematizar como un estímulo, construido por la precipitación, al que la cuenca responde mediante el escurrimiento en su salida. Entre el estímulo y la respuesta ocurren varios fenómenos que condiciona la relación entre una y otra, y que están controlados por las características morfológicas de la cuenca y su urbanización.

El funcionamiento de una cuenca se asemeja al de un colector que recibe la precipitación y la convierte en escurrimiento, dependiendo de las condiciones climáticas y las características físicas de la cuenca. Desde este punto de vista, una cuenca hidrográfica se puede caracterizarse por su morfología, por la naturaleza del suelo y por la cobertura vegetal y uso del suelo (Hénao, 1988; Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990; Gaspari, 2002; Gaspari et al, 2009).

La influencia de estos factores sobre la transformación de la precipitación en escurrimiento es fácilmente intuible cualitativamente mediante parámetros sencillos, susceptibles de servir de referencia, en la clasificación de cuencas y de facilitar los estudios de semejanza (López, 1998; Gaspari et al, 2013).

Las propiedades morfométricas de una cuenca hidrográfica proporcionan una descripción física - espacial que permite realizar comparaciones entre distintas cuencas hidrográficas. Al mismo tiempo, ofrecen conclusiones preliminares sobre las características ambientales del territorio a partir de la descripción precisa de la geometría de las formas superficiales. La morfometría particular de cada cuenca hidrográfica es proporcional con la posibilidad de cosecha hídrica, ante eventos climáticos, y con la generación de una respuesta a los mismos, como ser la escorrentía superficial, expresada en términos de caudales, la incidencia en el transporte de sedimentos y nutrientes, a lo largo de los ecosistemas que la integran. En la actualidad, herramientas metodológicas tales como los sistemas de Información Geográfica (SIG) y la interpretación de imágenes satelitales, permiten realizar la caracterización espacio temporal de las propiedades morfométricas de las cuencas hídricas y de las redes de drenaje (Gaspari et al, 2013).

Asimismo el análisis de las características morfométricas y funcionales de una cuenca hidrográfica a través de parámetros de forma, relieve y red de drenaje, es básico en la modelación hidrológica para determinar el movimiento y captación del agua de lluvia (Gaspari et al, 2009). Para efectos de este estudio solo se describieron las características de acuerdo a los requerimientos de los estudios en los apartados siguientes, se engloban en los parámetros de forma, relieve y de la red de drenaje (López, 1998; Gaspari et al, 2013).

1.2.12.1. Parámetros de forma.

Perímetro (P) (km).

El perímetro de la cuenca es la longitud del parteaguas en proyección horizontal, es decir, el contorno de la superficie de la cuenca, se expresa en unidades de metros. 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).

Longitud Axial (La) (km).

La longitud de la cuenca también llamada axial y se define 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, esta línea es paralela al cauce principal.

Área (A) (km²).

Es la superficie encerrada por la divisoria de aguas. El área de la cuenca se considera como la superficie que contribuye con la escorrentía superficial y está delimitada por la divisoria topográfica. Es considerada como el parámetro físico básico que define a una cuenca, siendo determinante de la escala de varios fenómenos hidrológicos tales como, el volumen de agua que ingresa por precipitación, la magnitud de los caudales, etc. (Campos, 1998).

Ancho promedio (Ap) (km).

Es la relación entre la superficie de la cuenca y su longitud axial.

$$AP = \frac{A}{La}$$

Ecuación 2

Dónde:

Ap: Ancho promedio de la cuenca (km).

A: Área (km²)

La: Longitud axial (km)

Factor de forma (IF).

Tiene relación con las crecidas en la cuenca. Si el factor de forma es bajo, se producirá más crecidas que en otra cuenca del mismo tamaño, pero con un factor de forma mayor (Horton, 1945; Llamas, 1993).

$$R_f = \frac{A}{L_{m^2}}$$

Ecuación 3

Dónde:

A: área de la cuenca en km².

Lm: Distancia entre la exudatoria y el punto más alargado de la cuenca siguiendo el curso principal, en km.

Coeficiente de Compacidad o índice de Gravelius (Kc)

Monsalve (1999) citado por Domínguez (2009) menciona que el coeficiente de compacidad es el cociente entre el perímetro de la cuenca y la longitud de una circunferencia como un área igual a la de la cuenca y se presenta mediante la siguiente formula.

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = \frac{0.28P}{\sqrt{A}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde:

Kc: Es el coeficiente de compacidad

P: Es el perímetro de la cuenca en (Km)

A: Es el área de la cuenca (Km²)

π : Signo "Pi" que es igual a 3.1416.

Este coeficiente está relacionado con el tiempo de concentración, que es el tiempo que tarda una gota de lluvia en moverse desde la parte más lejana de la cuenca hasta el desagüe; en este momento ocurre la máxima concentración de agua en el cauce, puesto que está llegando gotas de lluvia de todos los puntos de la cuenca.

A medida que el coeficiente (Kc) tiende a 1,0, sea cuando la cuenca tiende a ser redonda, aumenta la peligrosidad de la cuenca a las crecidas, porque las distancias relativas de los puntos de la divisoria con respecto a uno central, no presentan diferencias, mayores y el tiempo de concentración se hace menor, por lo tanto, mayor será la posibilidad de que las ondas de crecida sean continuas (Vásquez 2000).

Gaspari et al., 2009, presenta una clasificación de este coeficiente que crecerá con la irregularidad de la forma de la cuenca, establecida en la Tabla N° 3.

Tabla 3: Clasificación del coeficiente de Gravelius

Coeficiente de Compacidad		
Forma	Cc	Forma de la Cuenca
Clase I	1.0 a 1.25	Casi redonda a oval - redonda
Clase II	1.26 – 1.50	Oval – redonda a oval oblonga
Clase III	1.51 a más de 2	Oval – oblonga a rectangular - oblonga

Fuente: Gaspari et al., 2009.

Relación de circularidad (Rci).

Es el cociente entre el área de la cuenca y la del círculo cuya circunferencia es equivalente al perímetro de la cuenca y la expresión mediante la cual se calcula es:

$$R_{ci} = \frac{4 \pi A}{P^2} \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

Rci: Es la relación de Circularidad, adimensional

P: Es el perímetro de la cuenca en m.

A: Es la superficie de la cuenca en m^2 .

De acuerdo con análisis realizados (Summerfield, 1991) en diversas cuencas han determinado que si:

$R_{ci} = 1.0$, la cuenca es circular

$R_{ci} = 0.785$, la cuenca es cuadrada

Razón de Elongación (Re):

Es la relación entre el diámetro (D) de un círculo que tenga la misma superficie de la cuenca y la longitud máxima (Lm) de la cuenca. La variable Lm se define como la más grande dimensión de la cuenca a lo largo de una línea recta trazada desde la desembocadura del cauce principal, hasta el límite extremo del parte aguas y de manera paralela al río principal Shumm (1956).

$$R_e = \frac{D}{L_m} = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{L_m} \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde:

Re = Relación de elongación.

Lc = Longitud del cauce principal de la cuenca.

A = Área.

Donde Re es la relación de elongación, adimensional; D es el diámetro de un círculo que tenga la misma superficie de la cuenca, en m; y Lm es la longitud máxima de la cuenca, en m. A partir de estudios realizados (Summerfield, 1991).

Altura media (h)

Es la relación entre la diferencia de cotas (máxima y mínima) del área de estudio dividida para 2, se la expresa en metros o kilómetros.

$$h = \frac{H_{max} - H_{min}}{2}$$

Ecuación 6

Dónde:

h: Altura media (m)

Hmax: cota máxima (m)

Hmín: cota mínima (m)

Pendiente Media de la Cuenca

Este parámetro controla en buena parte la velocidad con que se da la escorrentía superficial y afecta, por lo tanto, el tiempo que lleva el agua de la lluvia para concentrarse en los lechos fluviales que contribuyen la red de drenaje de las cuencas, Monsalve 1999.

Criterio de Alvord.

Este criterio se apoya en la definición de la pendiente del terreno entre curvas de nivel y posteriormente se obtiene el promedio ponderado. Es decir, la pendiente de la cuenca es igual a la longitud total de curvas de nivel dentro de ella, multiplicada por el desnivel constante entre estas y dividida entre el tamaño de la cuenca, Campos 1998. La ecuación para calcular la pendiente por medio de este criterio es la siguiente.

$$Sc = \frac{D \cdot L}{A}$$

Ecuación 7

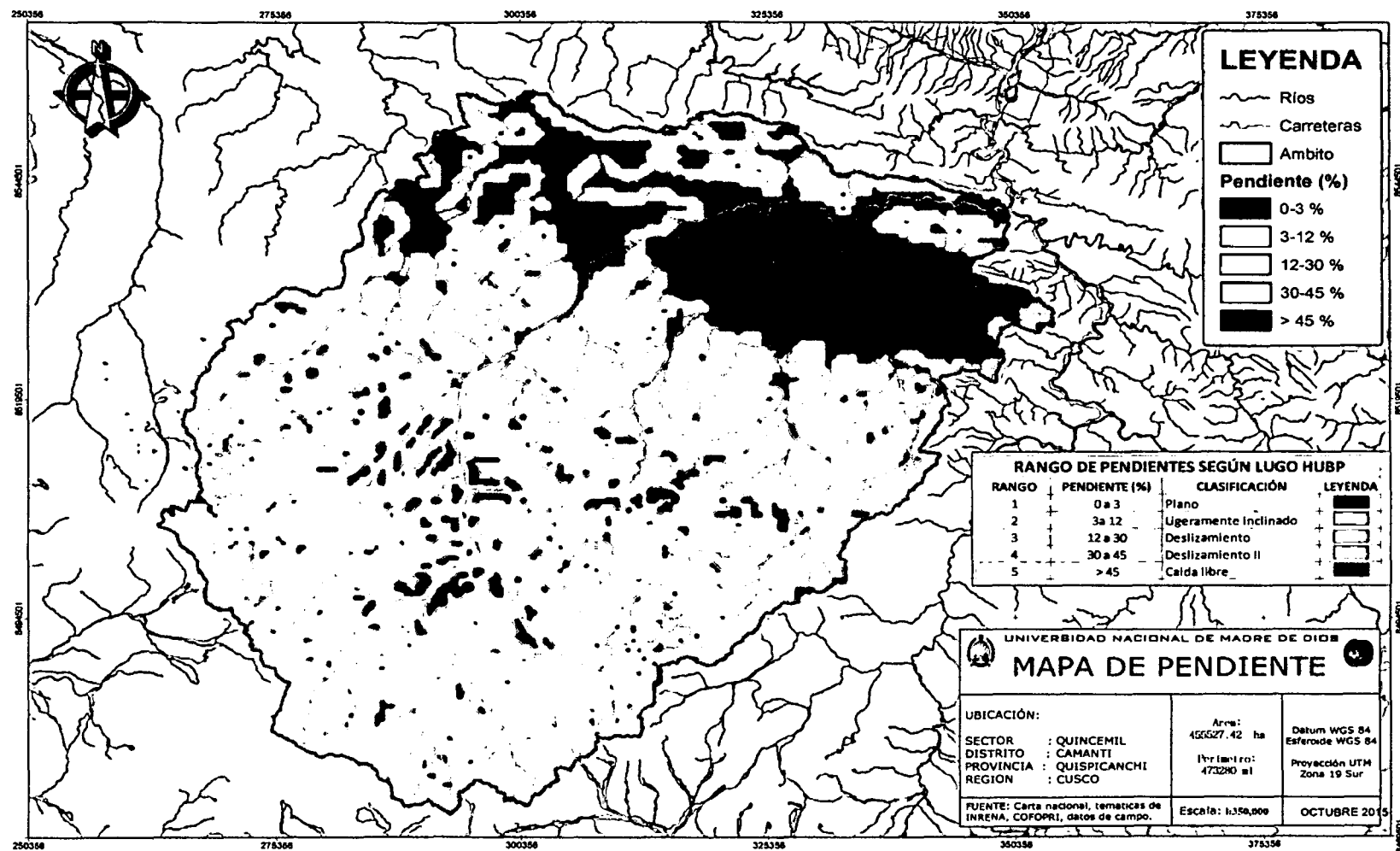
Dónde:

D = La equidistancia entre las curvas consideradas de nivel.

L = Longitud total de las curvas de nivel, y

A = Área de la cuenca

Figura 5: Mapa de Pendientes de la subcuenca hidrográfica arasá



Se determina según la relación entre el desnivel que hay entre los extremos el cauce y la proyección horizontal de su longitud (VILLON, 2002).

Cuadro 4: Clasificación de la pendiente según D.S. N° 017-2009-AG.

RANGO	TERMINO DESCRIPTIVO
0 - 2 %	Plano o casi a nivel
2 - 4 %	Ligeramente inclinado
4 - 8 %	Moderadamente inclinado
8 - 15 %	Fuertemente inclinado
15 - 25 %	Moderadamente empinado
25 - 50 %	Empinado
50 - 75 %	Muy empinado
> 75 %	Extremadamente empinado

Fuente: EL PERUANO 2009.

Rectángulo Equivalente

El escurrimiento de una cuenca debe ser aproximadamente el mismo en condiciones climatológicas idénticas en un rectángulo de igual área a, este le llamo el rectángulo equivalente. El rectángulo equivalente es la transformación de la cuenca a un rectángulo de igual perímetro, convirtiéndose las curvas de nivel en rectas paralelas al lado menor. (1)

Para poder comparar el comportamiento hidrológico de dos cuencas, se construye el rectángulo equivalente o de *Gravelius*, que es un rectángulo que tiene el mismo perímetro, área, coeficiente de compacidad y curva hipsométrica que los de la cuenca. Para la construcción del rectángulo equivalente, se utilizan las fórmulas (Morgan, 1997).

$$\frac{L}{\sqrt{A}} = \frac{Kc}{1.12} + \sqrt{\left(\frac{Kc}{1.12}\right)^2 - 1} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$\frac{l}{\sqrt{A}} = \frac{Kc}{1.12} - \sqrt{\left(\frac{Kc}{1.12}\right)^2 - 1} \quad \text{Ecuación 9}$$

Dónde:

L = lado mayor del rectángulo (km)

l = lado menor del rectángulo (km)

K_c = índice de Gravelius (adimensional)

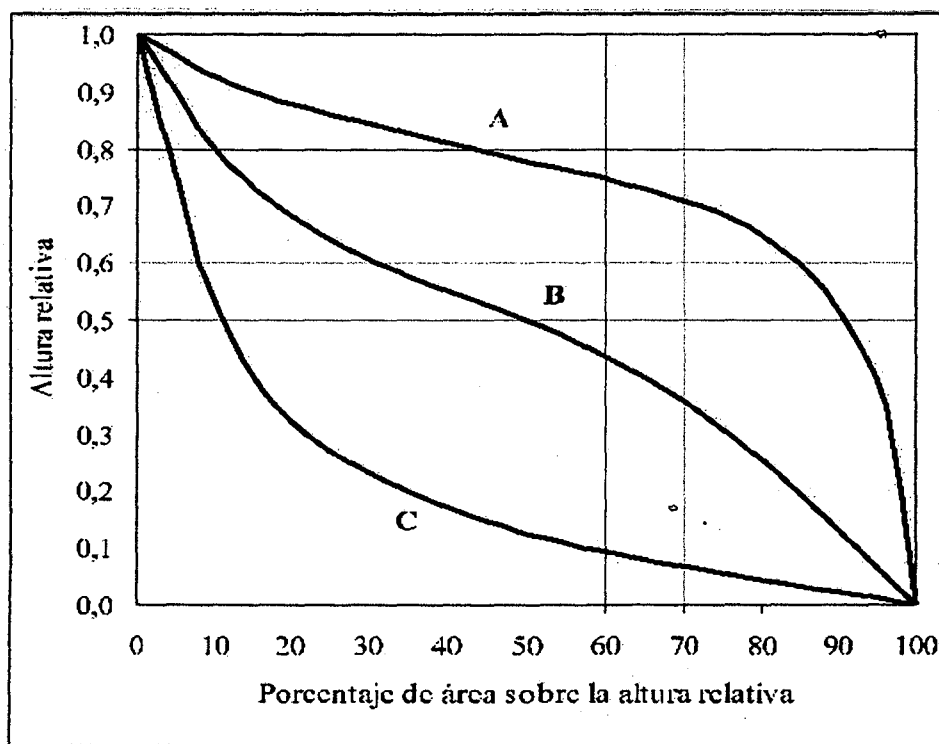
A = área de la cuenca km^2)

1.2.12.2. Parámetros de relieve.

Curva hipsométrica (CH).

La generación de la curva hipsométrica en un área fue sugerida por Langbein et al., (1947), para proporcionar información sintetizada sobre la altitud de la cuenca, que representa gráficamente la distribución de la cuenca vertiente por tramos de altura. CH representa la distribución del área de acuerdo a su elevación (Gaspari et al, 2009).

Figura 6: Curvas hipsométricas adimensional característica del ciclo de erosión (Segun Strahler)



La CH se puede determinar con apoyo de un modelo digital de elevación con Sistema de Información Geográfica. La importancia de CH reside en que es un indicador del estado de equilibrio dinámico de la cuenca. La Figura 5 muestra tres curvas hipsométricas, confeccionadas por Strahler correspondientes a otras tantas cuencas que tienen potenciales evolutivos distintos (Llamas, 1993). La curva superior (curva A) refleja una cuenca con un

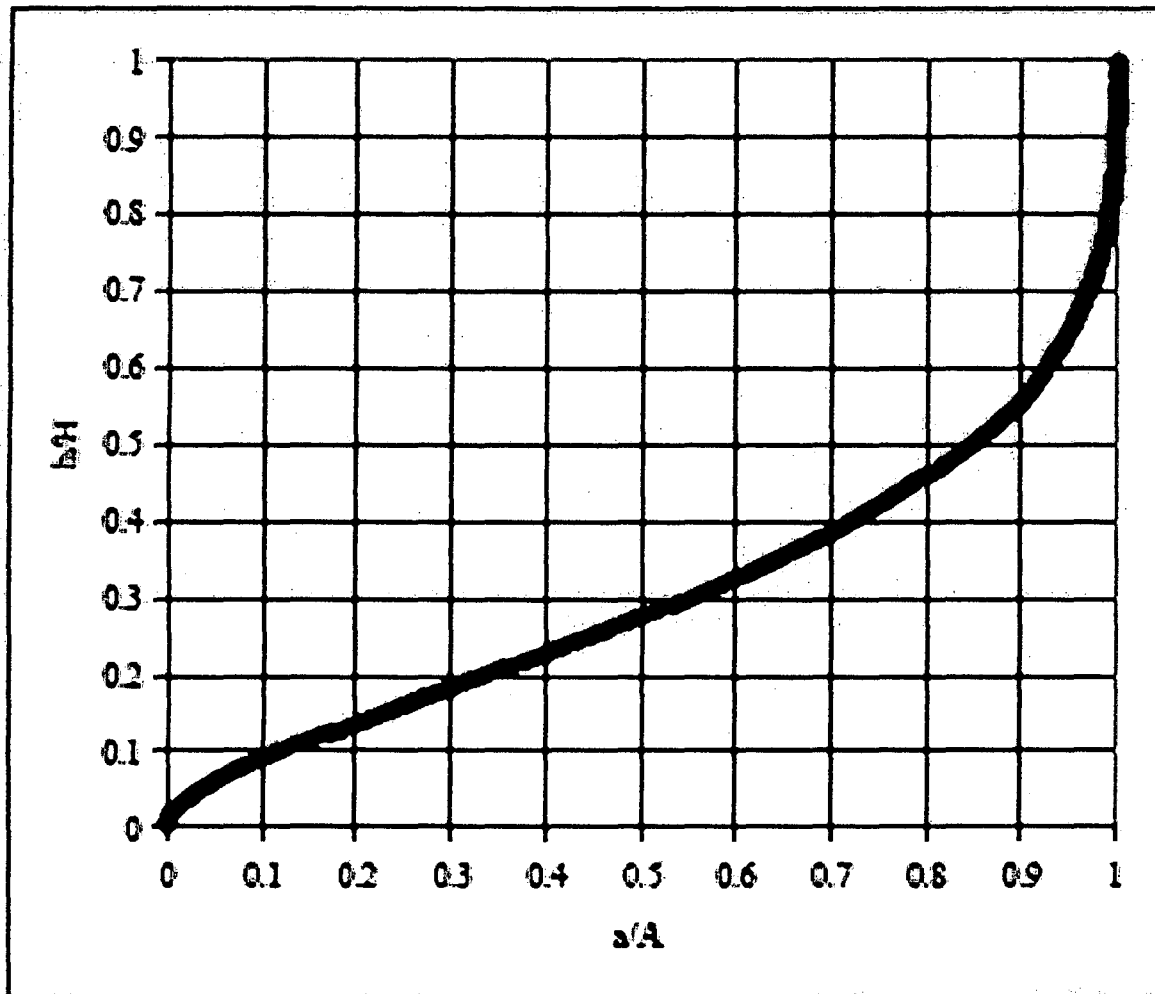
gran potencial erosivo; la curva intermedia (curva B) es característica de una cuenca en equilibrio; y la curva inferior (curva C) es típica de una cuenca sedimentaria. Las fases de la vida de los ríos quedarían representadas por: curva A que representa la fase de juventud, la curva B que indica la fase de madurez y la curva C que expresa la fase de vejez.

$$I = \frac{t\sqrt{2}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{t} \right)^2} \right)$$

Curva hipsométrica adimensional (CHA).

Expresa el potencial evolutivo de la cuenca hidrográfica, por medio de un gráfico de dos ejes donde la ordenada es la Altura relativa (h/H) y la abscisa es Área relativa (a/A), donde h : Intervalo entre curvas de nivel (m), H : Desnivel total de la cuenca (m) establecido como diferencia entre la cota máxima y la mínima del área analizada, A : Superficie total de la cuenca (ha) y a : Área entre curvas de nivel (ha). Su forma es sigmoidal, cóncava hacia arriba en la parte superior y convexa en la parte baja, como se expresa en la figura 7.

Figura 7: Curva hipsométrica Adimensional



Pendiente media de la cuenca (PM).

El proceso de degradación a que se ve sometida una cuenca hidrográfica, al igual que el caudal máximo, está muy influenciados por la configuración topográfica, debido a que el poder erosivo se manifiesta en mayor o menor grado de acuerdo a los distintos grados de pendiente (López Cadenas de Llano, 1998).

Para determinar la pendiente media de una cuenca se utiliza el mapa topográfico y el modelo digital de elevación, cuyo procedimiento se expresa en la Ecuación 8. Según la clasificación de López Cadenas de Llano (1998), la pendiente refleja los diferentes tipos de relieve, considerándose muy plano a un relieve menor del 0.5 %; plano a 0.5 a 1 %, de 1 a 3 % suave; de 3 a 12 % presenta lomadas; 12 a 20 % relieve accidentado; 20 a 50% muy

fuerte; escarpado cuando se distribuye entre 50 y 75 %, y mayor al 75 % se corresponde a un relieve muy escarpado.

$$PM = 100 * \left[\frac{(H*L)}{A} \right] \quad \text{Ecuación 10}$$

Dónde:

PM: Pendiente Media (%)

H: Equidistancia entre curvas medidas (km)

L: Longitud de las curvas de nivel (Km)

A: Superficie (km²)

Coefficiente de rugosidad (Ra).

Es la relación existente entre el desnivel de la cuenca (H) y su densidad de drenaje (Dd). Es adimensional (López Cadenas de Llano, 1998; Gaspari et al., 2009).

1.2.12.3. Parámetros de Drenaje.

Densidad de drenaje (Dd).

Está definida para cada cuenca como la relación entre la suma de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan por la cuenca con respecto al área de la misma (López Cadenas de Llano y Mintegui Aguirre, 1987; López Cadenas de Llano, 1998). Dd caracteriza cuantitativamente la red hidrográfica de la cuenca, por medio del grado de relación entre el tipo de red y la clase de material predominante (Henao, 1988; López Cadenas de Llano, 1998; Gaspari, 2002). Cabe mencionar que se denomina red hidrográfica a la totalidad del drenaje natural, permanente o temporal, por el que fluye el escurrimiento superficial.

La densidad de drenaje (Dd) fue establecida por Horton según el cociente entre la sumatoria de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan por la cuenca (Ln) y el área total de la cuenca (A) (López Cadenas de Llano, 1998; Gaspari et al., 2009).

En un principio, y sin tener en cuenta otros factores del medio físico de la cuenca, cuanto mayor sea la densidad del drenaje, más rápida será la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, evacuando el agua en menos tiempo. En efecto, al ser la densidad de drenaje alta,

una gota deberá recorrer una menor longitud de ladera, con una mayor velocidad de escurrimiento.

Longitud del cauce principal (Ln) (km).

Es la longitud definida con la sumatoria de las longitudes de todos los cursos de agua que conforman el cauce principal y que drenan por la cuenca.

Pendiente media del cauce (J).

Se deduce a partir del desnivel topográfico sobre el cauce principal y la longitud del mismo (L) (López Cadenas de Llano y Mintegui Aguirre, 1987; López Cadenas de Llano, 1998; Gaspari, 2002). Se expresa en porcentaje.

Tiempo de concentración (Tc).

El tiempo que tarda el flujo superficial en contribuir al caudal de salida, desde el punto más alejado hasta la desembocadura de la cuenca (Chow et al., 1994; Gaspari et al., 2009). El tiempo de concentración también depende de la forma de la cuenca (López Cadenas de Llano y Mintegui Aguirre, 1987).

El Tc (horas) se calcula particularmente con la relación entre la longitud del cauce principal, expresada en kilómetro (L), y la pendiente media de la cuenca, expresada en metro/metro (J). Kirpich (1940) desarrolló una ecuación empírica, a partir de información antecedente de siete cuencas rurales estadounidenses, con canales bien definidos y pendiente pronunciadas (3 a 10%) (Chow et al., 1994). La Ecuación 11 muestra su expresión de cálculo.

Ecuación 11

$$Tc = 0.06628 * \left(\frac{L^{0.77}}{J^{0.385}} \right) \quad \text{Ecuación 11}$$

Jerarquización de la red de Drenaje.

El análisis de la red de drenaje permite deducir la relación entre el sistema fluvial y otras características de la cuenca como la litología, el relieve, la vegetación, etc.

La jerarquización de la red de drenaje consiste en subdividir los cursos de agua que forman dicha red de drenaje superficial en segmentos de cauce clasificados en función del orden de

magnitud de los mismos. Horton (1945) propuso un esquema de ordenamiento para la red de drenaje. Estableció una jerarquización de los cauces de un río asignando a cada segmento de la red un orden según el número de afluentes.

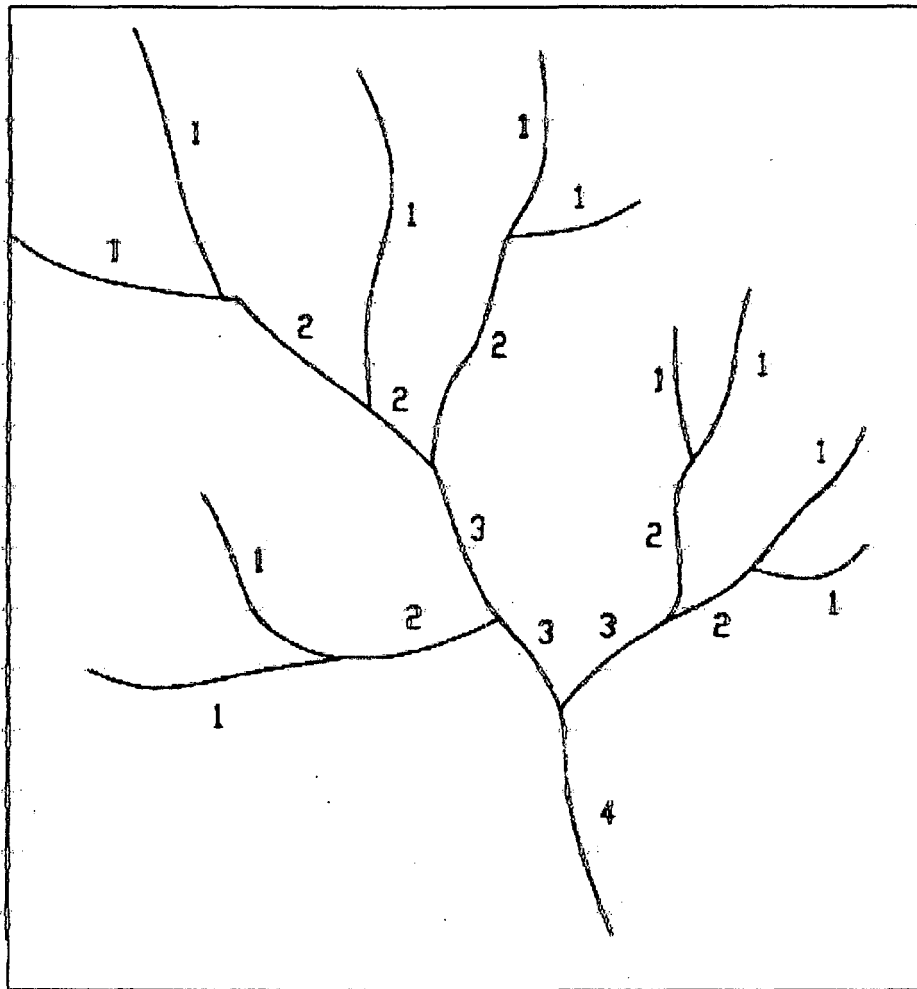
Mediante esto, encontró una serie de regularidades en la red de drenaje relacionadas con la estructura de bifurcación y su distribución espacial. Los primeros resultados de estas regularidades fueron recogidos en las conocidas como "leyes de Horton": ley de los números de corriente y ley de longitudes de corriente. Strahler (1952) revisó y perfeccionó (1957) este esquema de Horton dando lugar al esquema de clasificación Horton-Strahler, el cual es el más utilizado hoy en día.

Las redes de drenaje pueden ser representadas como árboles formados por un conjunto de nodos conectados por segmentos, de tal modo que cada nodo solo tenga una ruta de salida. Según Strahler una corriente puede tener uno o más segmentos ya que un canal es una unión arbitraria de segmentos. Es decir, para jerarquizar una red por el método Horton-Strahler se asignan valores numéricos a los cauces de la siguiente manera (Figura 6):

1. A los cursos que son los nacientes de la red se les asigna valor 1.
2. La unión de dos cauces de orden 1 implica un aumento de orden de magnitud en el Curso resultante de la confluencia. Ese curso resultante tendría valor 2.
3. Si se encuentran dos cursos de orden 2, la magnitud vuelve a incrementarse en el Curso resultante, siendo el valor tras la confluencia 3. Es decir, cuando confluyan Dos cursos de orden de magnitud "U", el curso resultante tras la confluencia Obtendrá el valor "U+1".

Así sucesivamente hasta completar la red. El encuentro de un curso de orden inferior Con otro de orden superior no significa un cambio de orden de magnitud. Es decir, si se Origina una confluencia entre un curso de orden 1 y otro de orden 3, el curso resultante Continúa siendo 3. Solo aumenta cuando se da la confluencia entre dos cursos de Idéntica magnitud.

Figura 8: Jerarquización de una red hidrográfica según el criterio de Strahler (1952).



Fuente: Strahler (1952).

A mayor número de orden, es mayor el potencial erosivo, mayor el transporte de sedimentos y por tanto mayor también la componente de escurrimiento directo que en otra cuenca de similar área.

1.2.12.4. Parámetros Hidrológicos

Análisis Hidrológico

Es ampliamente conocido que uno de los factores, quizás el más importante, el agua, bajo las diversas formas de precipitación, agua subterránea y principalmente como escorrentía superficial, es el elemento que más daño hace a las vías de comunicación si es que estas no cuentan con un adecuado sistema de drenaje que permita evacuar suficientemente dicho escurrimiento.

Es por esto importante el análisis hidrológico que se le pueda dar a un estudio de manejo de cuencas hidrográficas o Proyecto de carreteras, desde la obtención y análisis de datos hasta la aplicación de metodologías en la solución de problemas en el drenaje de caminos.

Climatología.

La atmosfera

La atmosfera se define como aquella capa de aire que rodea a la tierra y donde se realiza parte del ciclo hidrológico. La atmosfera resulta comportándose como un gran reservorio de vapor de agua, un sistema amplio de transporte de agua y un gran colector de calor.

a) Composición.- la atmosfera está compuesta de aire seco y vapor de agua. La composición del aire seco es la siguiente, con los porcentajes en volumen:

Tabla 5: Composición atmosférica

ELEMENTO	PORCENTAJE %
Nitrógeno	78
Oxígeno	21
Argón	0.94
Otros gases	0.06

Fuente: Wendor Chereque Moran - Hidrología - 1989

b) División.- Desde el punto de vista de la variación de la temperatura la atmósfera se divide en capas. Las que se conocen de ordinario son:

- Troposfera. Es la capa inferior de la atmósfera, comprendida desde el nivel del mar hasta unos 6 km. En los polos y unos 17 km. En el ecuador. La temperatura disminuye a razón de 0.6 C por cada 100 metros de ascenso. Se caracteriza por ser la zona de las perturbaciones atmosféricas. En ella se forman las nubes, tienen lugar los vientos, las lluvias, etc.
- Estratosfera. Se extiende por encima de la troposfera hasta una altitud de 30 a 40 km. La temperatura permanece sensiblemente constante en todo su espesor.

La superficie que separa la troposfera de la estratosfera es la tropopausa. Marca el límite de la atmósfera meteorológica.

- La Ionosfera. Se ubica encima de la estratosfera y se desvanece gradualmente en el espacio. La temperatura aumenta con la altura.

El ciclo hidrológico

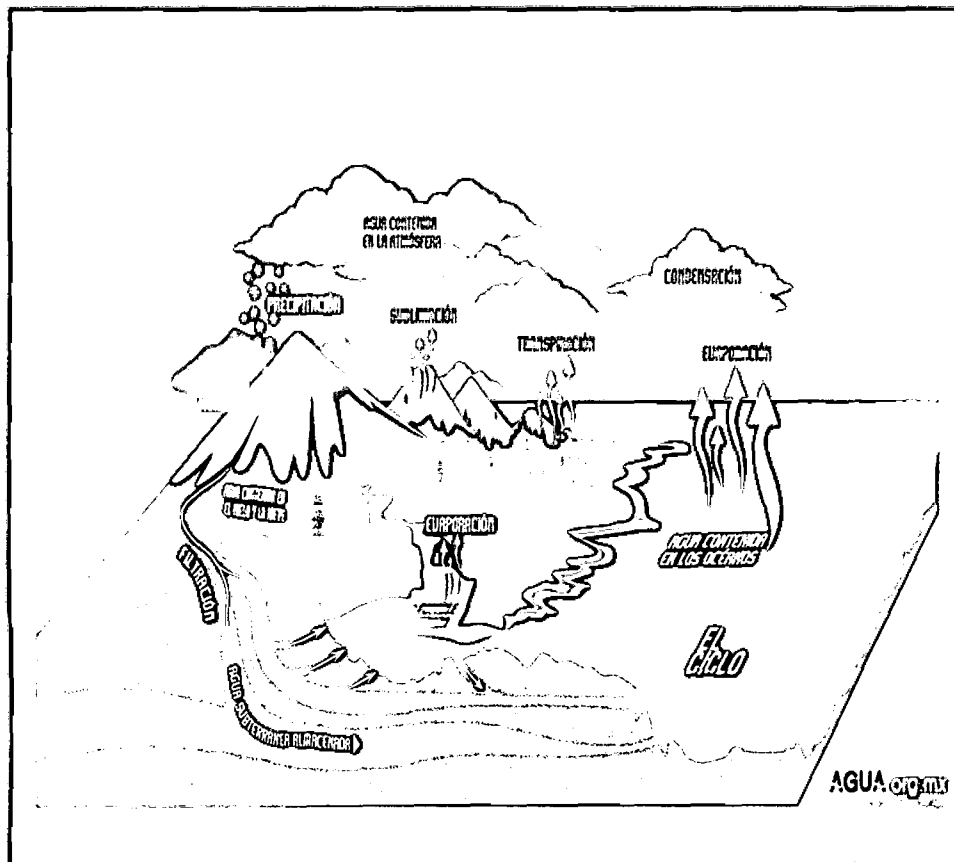
El ciclo hidrológico es el foco central de la hidrología. El ciclo no tiene principio ni fin y sus diversos procesos ocurren en forma continua en la figura N° 9 se muestra en forma esquemática como el agua se evapora desde los océanos y desde la superficie terrestre para volverse parte de la atmósfera: el vapor de agua se transporta y se eleva en la atmósfera hasta que se condensa y precipita sobre la superficie terrestre o los océanos; el agua precipitada puede ser interceptada por la vegetación, convertirse en flujo superficial sobre el suelo, infiltrarse en él, correr a través del suelo como flujo sub-superficial y descargar en los ríos como escorrentía superficial. La mayor parte del agua interceptada y de escorrentía superficial regresa a la atmósfera mediante la evaporación. El agua infiltrada puede percolar profundamente para recargar el agua subterránea de donde emerge en manantiales o se desliza hacia los ríos para formar la escorrentía.

Ese circuito cerrado perfecto que es el ciclo hidrológico, ahora tiene fugas, no funciona como es debido. A la naturaleza le ha salido un duro competidor "EL

HOMBRE". Hasta ahora se había integrado en el sistema con los demás seres vivos del planeta, pero de unos años a esta parte, ha crecido y se ha hecho poderoso, tanto, como para competir con la Naturaleza.

Hoy, todos los usuarios del agua estamos en la encrucijada: Escasez y Deterioro de la calidad de las fuentes, lo cual es un círculo vicioso pues todo lo que se descargue al entorno inexorablemente irá al subsuelo, a los ríos o al océano.

Figura 9: El ciclo hidrológico es el foco central de la hidrología



Fuente: Ordoñez, 2011

Precipitación

La precipitación incluye la lluvia y otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre. Tales como granizo y nevisca. La formación de la Precipitación requiere la elevación de una masa en la atmósfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense. Los tres mecanismos principales para la elevación de masas de aire son la elevación frontal, donde el aire caliente

es elevado sobre aire frío por un pasaje frontal; la elevación orográfica. Mediante la cual una masa de aire se eleva para pasar por encima de una cadena montañosa; y la elevación convectiva, donde el aire se arrastra hacia arriba por una acción convectiva, como ocurre en el centro de una celda de una tormenta eléctrica (Maderrey, 2005).

Evapotranspiración

La evapotranspiración es el término que engloba en una variable única la evaporación y la transpiración de los seres vivos. La evaporación es el fenómeno físico en el que el agua pasa de estado líquido a vapor, incluye también de sólido a vapor. La transpiración es el fenómeno biológico por el cual los seres vivos pierden agua a la atmósfera (Sánchez, 2003). Este fenómeno es relevante en hidrología por su importancia en el entendimiento de pérdidas de agua en las corrientes, canales y embalses (Monsalve, 2000).

Se ha establecido el término de *evapotranspiración potencial*, al que Thornthwaite (1948) definió como la cantidad máxima posible de agua que perdería el suelo por evaporación y transpiración, suponiendo que éste estuviera saturado. Sólo en condiciones ideales la evapotranspiración real coincidirá con la potencial, en los demás casos, generalmente, la real será menor (Rosenberg, 1974).

Escorrentía superficial

Caudal

El caudal es la cantidad de unidades de volumen de agua que pasan en un tiempo dado a través de un conducto natural o artificial (Chacón *et al.*, 1993). El caudal se expresa en m^3s^{-1} . A continuación se definen algunos conceptos referentes a caudal:

- Nivel de agua, es la altura alcanzada por el nivel de agua en relación a un nivel de referencia. Se expresa en metros o centímetros.
- Creciente, es la elevación normal del nivel de agua dentro de la corriente de agua.
- Inundación, elevación no usual del nivel de agua, que provoca desbordamiento y posibles perjuicios.

Variaciones de la precipitación

a) Variaciones geográficas

En general, la precipitación es mayor cerca al ecuador y disminuye al aumentar la latitud. Sin embargo, la irregularidad y orientación de las isoyetas en los mapas de precipitación media anual del mundo, indican que la distribución geográfica de la precipitación depende de factores más relevantes que la distancia desde el ecuador.

La fuente principal de humedad para la precipitación es la evaporación a partir de las superficies de grandes masas de agua. Es por esto que la precipitación tiende a ser mayor cerca a las costas.

b) Variaciones en el tiempo

Aunque algunas fracciones de registro de precipitación pueden sugerir una tendencia al aumento o a la disminución, existirá siempre una tendencia a regresar hacia la media; los periodos extraordinariamente húmedos tienden a ser balanceados por periodos secos. La irregularidad de estas fluctuaciones se ha investigado en muchas ocasiones. Aun cuando se ha registrado más de 100 ciclos aparentes, que varían en periodos desde 1 hasta 744 años, y la bibliografía registra numerosos esfuerzos para detectar

Características de la Precipitación Pluvial

Análisis de la información pluvial

Las precipitaciones pluviales de agua medida con pluviómetros varían de un lugar a otro y, en un mismo lugar, de un tiempo a otro. Estas medidas son un numeroso conjunto de datos, que es necesario analizar y sintetizar en unos pocos valores manuable y fáciles de utilizar en proyectos hidráulicos. Entonces para esto se recurre a la estadística, escogiendo un modelo matemático que represente el comportamiento de la lluvia en el lugar de estudio.

a) estimación de datos faltantes frecuentemente se encuentran registros en los cuales faltan datos de lluvias. Esto se debe a ausentismo del operador o a fallas Instrumentales.

Para esto podemos utilizar un procedimiento llamado *correlación* por el cual se completan los datos faltantes. Para esto se utilizan los datos de estaciones índices, que sí tienen los datos completos y que se seleccionan de modo que estén el más cerca posible y sean de altitud parecida a la estación de estudio.

CAPITULO II

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Características generales

2.1.1. Ubicación Política

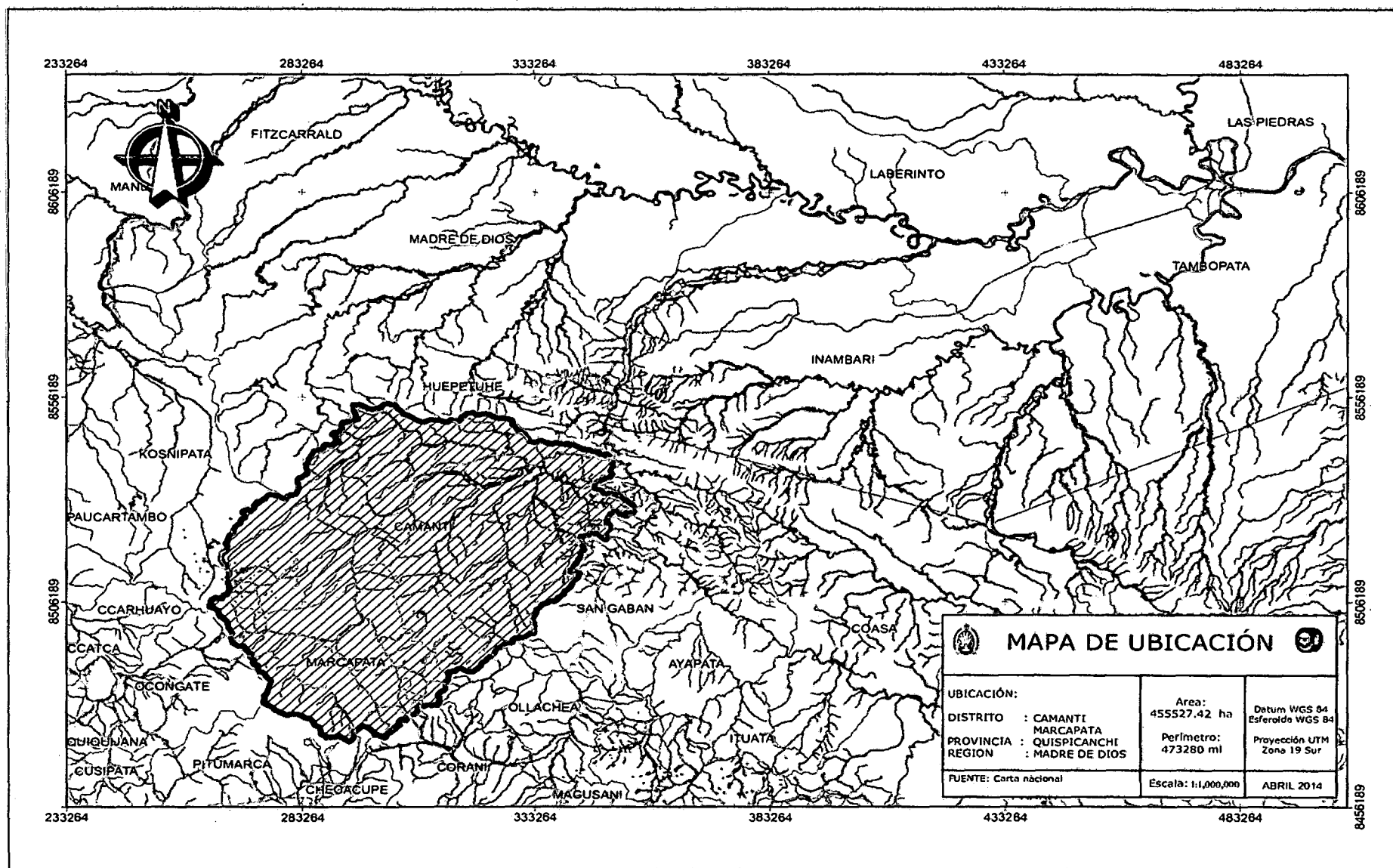
Región : Cusco

Departamento : Cusco

Provincia : Quispicanchis

Distrito : Marcapata y Camanti

Sectores : Chumpe, Tillpa, Quincemil.



2.1.2. Clima

Debido a su ubicación fisiográfica, la temperatura media mensual oscila entre los 15°C a 27°C. Es decir tiene un clima de las características de ceja de selva, templado moderado.

La temporada de lluvias se intensifica en el mes de Diciembre hasta el mes de abril, se observa en las primeras horas del día una densa neblina debido a la altura en la que se encuentra la zona durante todo el año.

Este sector es netamente montañoso, de flancos rocosos abruptos de fuerte pendiente, formado principalmente por rocas intrusivas impermeables que prácticamente no generan acuíferos significativos. En estas zonas, el régimen hídrico es esencialmente superficial, alimentado por voluminosas en el piso ecológico.

2.1.3. Accesibilidad

Partiendo de la ciudad del Cusco se llega Vía Urcos - Ccatca - Ocongate - Marcapata - Quincemil, 144 Km., por carretera asfaltada en un tiempo aproximado de 6 horas.

Partiendo de la ciudad de Puerto Maldonado se llega vía la carretera interoceánica Sur, Puerto. Maldonado – Quincemil en un tiempo aproximado de 4 horas hasta el ingreso del área (Huertas et., al 2009).

2.1.4. Fisiografía

En la subcuenca hidrográfica Arasá, se puede distinguir los siguientes tipos de unidades fisiográficas:

Paisaje Andino:

- **Paisaje colinosos.-** Este paisaje se caracteriza por presentar superficies de forma ondulada, de altura variable, de contornos homogéneos suaves y localizadas principalmente en los pisos altitudinales más elevados. En base a sus características morfológicas y erosionales, comprenden colinas suaves o moderadamente disectadas, de relativa utilización agrícola y mayormente dedicadas al pastoreo extensivo.

- **Paisaje montañoso.-** Esta unidad fisiográfica es la más amplia área estudiada. Aquí se encuentran la mayoría de los suelos que se ha reconocido a través del presente estudio. Está conformada por una gran masa de tierras de ladera que constituye parte de los flancos cordilleranos que enmarcan la zona estudiada. Los suelos que tipifican a este paisaje de complicada topografía presentan caracteres diversos: de moderada a baja fertilidad, moderadamente profundos a superficiales, altamente erosionables y en la mayoría de los casos con fragmentos gruesos tanto en el perfil del suelo como en la superficie del mismo. Son tierras intensamente utilizadas y sobre esta unidad se encuentran situadas casi la totalidad de los centros poblados. La utilización de las tierras se realiza indiscriminadamente y este hecho ha dado lugar a la proliferación de la erosión hídrica, transformando a estas tierras en un paisaje fuertemente afectado por procesos de denudación y zanjeo o cárcavas.
- **Valle interandino.-** Son zonas de poca altitud normalmente acompañadas de ríos que los atraviesan. Esto permite que haya una diversidad climática muy interesante de conocer, ya que por estas condiciones, la naturaleza desborda en variedad, y belleza. En muchos lugares del planeta estos valles se producen por la erosión fluvial.
- **Bofedal.-** es un humedal de altura y se considera una pradera nativa poco extensa con permanente humedad. Los vegetales o plantas que habitan el bofedal reciben el nombre de vegetales hidrofiticos. Los bofedales se forman en zonas como las de los macizos andinos ubicadas sobre los 3.800 metros de altura, en donde las planicies almacenan aguas provenientes de precipitaciones pluviales, deshielo de glaciares y principalmente afloramientos superficiales de aguas subterráneas.
- **Cesped de puna.-** Se caracteriza por una vegetación baja de hierbas rizomatosas que ocupan terrenos más o menos planos, con suelos poco pedregosas y medianamente húmedas. Predominan las especies graminiformes que se asocian en matas, otras especies forman cojines

planos o convexos, varias otras poseen hojas en roseta. Aunque poco conspicuos, también suelen crecer sufrútices postrados.

- **Matorrales.-** Una comunidad de plantas caracterizada por una vegetación dominada por arbustos, que a menudo incluyen céspedes, plantas de porte herbáceo, y plantas geófitas.
- **Nevados.-** Montaña cubierta de nieves perpetuas
- **Pajonal.-** Terreno húmedo poblado de juncos, espadañas, pajón.

2.1.5. Geología

Las rocas que se encuentran en el ámbito de muestra sub cuenca pueden diferenciarse de acuerdo a su tipo (ígneas, metamórficas o sedimentarias) o composición (granitos, pizarras, areniscas, etc.) y también de acuerdo a su edad (cámbricas, terciarias, paleozoicas, etcétera), también reflejan las estructuras (pliegues, fallas, etc.) que afectan a los materiales. Nos da a conocer el territorio de la sub cuenca para así realizar un uso responsable tanto del propio territorio como del recurso natural, como los recursos minerales que ahí se encuentran.

En la Sub cuenca de estudio afloran rocas que en edad van desde el Paleozoico Inferior (Ordovícico) hasta el Cenozoico (Terciario Superior). Depósitos de origen glacial y aluvial de gran potencia están limitados a la depresión de Crucero-Ananea y de menor magnitud al fondo de los valles.

Pi-ca/c: era paleozoica serie inferior Pizarras-Lutitas pizarrosas-Cuarcitas

Ps-gr/gd: era paleozoica serie superior Granito, granodiorita.

(Qp- g): Depósito Glaciares

(INGEMMET, 2001)

De acuerdo a la información recopilada, (INGEMMET, 2001); las características geológicas del área de influencia del proyecto son:

☞ **Grupo Huayabamba: (Ti-h)**

Este grupo consiste mayormente de lodolitas y arcillitas firmes a friables, de color rojo a marrón rojizo, localmente abigarrados, con intercalaciones de limolita blanco verdosas glauconíticas, material tufáceo, niveles calcáreos y areniscas rosadas con estratificación cruzada.

Los afloramientos de esta unidad se distribuyen en forma discontinua al pie de la gran escarpa de sobreescurreimiento que delimita la Zona Subandina del Llano Amazónico, dando la apariencia de conformar una franja paralela al territorio cordillerano; ocurren también en la zona central y norte conformando núcleos de anticlinales.

☞ **Formación Ipururo: (Ts-ip)**

Esta formación se halla constituida en su sección inferior por arcillitas rojizas calcáreas, graduando a limolitas, con intercalaciones de areniscas finas gris claras a verdosas y lechos calcáreos. En su sección media incluye margas grises, areniscas rojizas de grano fino a medio, arcillitas rojas calcáreas y sedimentos volcánicos. En la sección superior, comprende areniscas claras de color pardo, marrón, rojo y grisáceo con estratificación cruzada y granos poco coherentes, intercaladas con arcillitas rojizas. Las capas prácticamente no han sido disturbadas por lo que se hallan en posición horizontal a sub horizontal.

☞ **Depósitos Aluviales de Pie de Monte: (TsQp-a)**

Son extensas y potentes acumulaciones aluviales de pie de monte, de naturaleza conglomerádica, medianamente consolidadas. El conglomerado mayormente monomítico consiste de bloques y gravas gruesas (de areniscas) redondeadas y aplanadas, con una matriz de arena y arcilla, intercalados presenta algunos horizontes lenticulares de composición limo-arcillosa.

Conforman un frente coalescente de abanicos aluviales a lo largo del alineamiento sub andino, originados por fenómenos tectónicos y erosivos en la vertiente montañosa, durante una época en que imperaba en la región un clima semiárido. Su espesor se estima bordea los 200 metros.

En la región, constituyen un paisaje de superficies planas ligeramente inclinadas hacia el Este y de colinas altas, fuertemente disectadas, que aún conservan en sus partes superiores, remanentes de material conglomerádico.

Estos materiales sobreyacen. En discordancia angular, a los sedimentos del Grupo Huayabamba y probablemente con discordancia erosiva, a las capas de la Formación Ipururo. Por sus relaciones estratigráficas se le asigna una edad comprendida entre el Plioceno y el Pleistoceno (Terciario-Cuaternario).

⌘ **Depósitos Aluviales Subrecientes: (Qsr-a)**

Son las acumulaciones aluviales depositadas en el límite Pleistoceno - Holoceno, por la red de drenaje de aquél entonces. Consiste de materiales finos como arenas, limos y arcillas, no consolidadas o con ligera consolidación.

2.1.6. Suelos

Los suelos constituyen la capa superficial natural de la corteza terrestre regional, compuesta por elementos orgánicos e inorgánicos (minerales) aislados o mezclados en mayor o menor proporción.

En el territorio provincial las variaciones geomorfológicas y climáticas determinan una gran variedad de suelos diferenciados por su naturaleza y condiciones productivas.

La lectura de calicatas para la clasificación de los suelos se efectuó según los lineamientos del Manual de Levantamiento de Suelos (Soil Survey Manual, USDA 1993), que explica las características del suelo que se tienen que determinar, y los criterios e instrumentos requeridos para este fin.

Para clasificar los suelos se utilizaron el Sistema del Soil Taxonomy USDA, (2006),

El cual tiene seis categorías: orden, suborden, gran grupo, sub grupo, familia y serie. En este estudio se empleó el nivel de sub grupo, dándole un nombre local para facilitar su lectura. Tanto el manual de levantamiento como el sistema soil taxonomy son empleados por el INRENA para los estudios de suelos.

En la presente sección se identificaron y describieron las unidades cartográficas de suelo a nivel de subgrupo, delimitadas en el mapa de suelos, se identificaron

14 unidades taxonómicas de suelo descritas al nivel categórico de “subgrupo” según la clasificación del Soil Taxonomy.

La capacidad de uso mayor de tierras (potencial gropecuario), se establece según el Reglamento de Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso Mayor, del Ministerio de Agricultura (D.S. No. 0062-75-AG, 1975), con las ampliaciones hechas por la ONERN (1980), ahora INRENA. Los grupos y clases de capacidad de uso mayor encontrado, se detallan más adelante al final de este capítulo.

La información de suelos se completó con información de estudios realizado por la ONERN, INRENA en evaluaciones de recursos naturales en la zona de estudio así como el Estudio de Impacto Ambiental de la carretera interoceánica realizado por y WALSH.

UNIDADES TAXONÓMICAS DE SUELO

Los suelos de la provincia están determinados por las condiciones ecológicas, se determina un régimen de humedad ústico (seco), para la parte correspondiente a la sierra, y un régimen de humedad údico (húmedo), para el sector de la selva.

El régimen ústico comprende dos condiciones de humedad en el suelo: cuando los suelos están secos por 90 o más días acumulativos al año, y cuando están Húmedos por 90 o más días consecutivos al año. El régimen es údico, cuando el Suelo no está seco por 90 días o más al año.

Respecto a la temperatura del suelo, la provincia presenta tres regímenes de temperatura: crítico, cuando el promedio anual de la temperatura es menor de 8 °C y mayor de 0 °C; mésico, cuando la temperatura tiene un promedio anual Entre 8 y 15 grados centígrados; y térmico, cuando el suelo tiene un promedio Anual entre 15 y 22 °C.

Los materiales a partir de los cuales se han formado los suelos son mayormente Derivados de formaciones cuaternarias de tipo fluvial, aluvial, coluvio-aluvial, fluvio glacial y glacial, aunque también son frecuentes los suelos residuales Derivados de la meteorización del substrato rocoso, que corresponden a *formaciones geológicas de mayor antigüedad.*

En general, los suelos muestran ligeros desarrollos edáficos, que se manifiestan

Tanto en un horizonte superficial con mayor acumulación de materia orgánica, Como en otros casos que muestran un horizonte cambriano, debido a cierto Cambio que se produce en un horizonte subsuperficial a consecuencia de los Procesos de formación del suelo.

Los Subgrupos de suelos encontrados con la aplicación del sistema de Clasificación de Suelos del Soil Taxonomy (2003) se muestran en el siguiente Tabla 5.

Tabla 6: Grandes grupos de suelo de la provincia de Quispicanchi; Cusco.

ORDENA	SUBORDEN	GRAN GRUPO	SUBGRUPO	SUPERFICIE (Ha)	%
ENTISOLES	AQUENS	CRYAQUENTS	Tipyc cryaquents	5070.6	0.67
		FLUVAQUENTS	Tipyc fluvaquents	420.1	0.06
	FLUVENS	CRYOFLUVENS	Aquic cryofluvens	21927.7	2.90
			Mollic cryofluvens	2172.4	0.29
		USTIFLUVENS	Aquic ustifluvens	2880.2	0.38
			Mollic ustifluvens	7608.3	1.01
		UDIFLUVENS	Aquic udifluvens	7226.2	0.96
			Tipyc udifluvens	17544.2	2.32
INCEPTISOLES	ORTHENS	CRYORTHENS	Lithic criorthens	46855.1	6.20
		USTHORTHENS	Lithic usthorthens	71595.0	9.48
			Tipyc usthorthens	162412.4	21.51
	TROPEPTS	EUTROPETS	Tipyc eutropets	303841.0	40.23
	OCHREPTS			68409.1	9.06
MOLLISOLES		CRIOBOROL	Tipyc crioborol	13526.6	1.76
NO SUELOS	NEVADO			18213.6	2.41
	LAGUNAS			1551.4	0.21
	RIOS			3940.4	0.52
			TOTAL	755194.3	100.00

Fuente: ZEE; cusco 2007.

TYPYC CRYAQUENTS

Constituyen los suelos permanentemente inundados, ubicados en las zonas frías y altas de la provincia, suelos sin perfil AC y acumulación de materia orgánica. Localmente se califica a estos suelos como bofedales.

FLUVAQUENS

Constituyen suelos permanentemente inundados (pantanos) y donde el agua está en mayor proporción que el suelo y se conocen como pantanos, se presentan particularmente en las orillas de la lagunas de Lucre, constituyendo lo que se conoce como el humedal del mismo nombre.

AQUIC CRYOFLUENTS

Constituye los suelos temporalmente inundados ubicados en las terrazas bajas de los principales ríos en climas fríos y frígidos, se caracterizan por presentar un horizonte orgánico profundo sobre una base de materiales de canto rodado y arena.

MOLLIC CRYOFLUENTS

Se ubican sobre terrazas medias en la parte alta del río Mapacho en climas fríos y semifrígidos, presentan ya un suelo con horizonte orgánico de unos 10 a 15 cm de profundidad sobre un horizonte de transición de material arenopedregoso.

AQUIC USTIFLUENS

Se ubican principalmente en las terrazas bajas del río Mapacho y el Araza, y muy poco representativo en el río Vilcanota; constituye suelos de naturaleza lítica compuesta por acumulaciones de cantos rodados, arenas y límos.

MOLLIC USTIFLUENS

Se ubican en las terrazas medias del río Vilcanota y un poco en el río Arazá, constituyen suelos en proceso de formación con un horizonte A de unos 20 a 25 cm de profundidad y con cierta acumulación de materia orgánica y un horizonte C conformado por una agregado de arcillo limoso con piedras angulares redondeadas.

AQUIC UDIFLUVENS

Se ubican principalmente en las terrazas medias del río Arasá y sus principales afluentes, en climas calidos y muy lluvioso, presentan un horizonte A profundo de 20 a 30 cm y un horizonte C conformado por roca madre en proceso de meteorización.

TYPIC UDIFLUVENS

Se ubican en las terrazas altas de la zona de Quincemil, conformado por suelos de origen aluvial muy antigua y se encuentran en proceso de lixiviación, presentan un horizonte A orgánico de 20 a 25 cm de profundidad sobre una base arenosa limosa.

LITHIC CRYORTHENS

Constituyen los suelos ubicados en las zonas circundantes a los nevados cuyo origen está ligado a los procesos de meteorización de la roca madre y se depositan por gravedad; se caracterizan por presentar suelos de naturaleza lítica muy superficiales.

LITHIC USTHORTHENS

Constituyen los suelos cuyo origen es por la meteorización y acumulación por gravedad y se distribuyen en las zonas de fuerte pendiente climas fríos y frígidos. Son suelos muy superficiales.

TYPYC USTHORTHENS

Constituyen los suelos de acumulación por gravedad en las planicies y vertientes de montañas allandas, presentan cierto desarrollo genético con un horizonte superficial A orgánico de 20 a 25 cm de profundidad sobre un horizonte C de material arcillo limoso.

TYPYC EUTROPETS

Se ubican sobre laderas fuertemente empinadas y escarpadas en las zonas de clima cálido y muy lluvioso, la característica principal de estos suelos es que presentan un horizonte orgánico superficial de 10 a 15 cm de profundidad.

OCRHEPTS

Se ubican sobre las vertientes empinadas y escarpadas en climas fríos y semisecos, son suelos superficiales con un horizonte A de poco contenido orgánico de una coloración clara a parduzca, desarrollan un horizonte cálcico.

CRIOBOROL

Se ubican sobre las altiplanicies onduladas de climas fríos y lluviosos, son suelos que presentan un horizonte A orgánico profundo 30 a 40 cm sobre un horizonte C arcilloso, son suelos fértiles de colores oscuros y reacción básica.

CAPACIDAD DE USO MAYOR DE SUELOS

La naturaleza de un suelo está condicionada por multitud de factores que van desde el sustrato geológico, la pendiente, hasta el clima y la comunidad biótica que soporta. Su desarrollo, profundidad, textura y contenido en materia orgánica son parámetros que entre otras, van a determinar en forma conjunta la capacidad de uso del suelo.

Para la determinación y la interpretación del potencial del recurso suelo se tomó como base el Reglamento de Clasificación de Tierras, según su Capacidad de Uso Mayor establecido por el Ministerio de Agricultura del Perú, aprobado según Decreto Supremo número 0062 del año de 1975; del mismo modo se ha empleado el esquema metodológico para la Clasificación de Tierras, propuesto por INRENA y adecuado para el presente estudio.

Según la clasificación de Suelos por su capacidad de uso mayor, los suelos de la provincia se organizadas en las siguientes Grupos:

Tierras aptas para cultivo en limpio (SÍMBOLO A)

Las tierras de aptitud para cultivo en limpio, son suelos de calidad agrológica media, con muy pocas limitaciones que restrinjan su uso y sin problemas de manejabilidad, de excelente productividad bajo un manejo acertado y regular fertilidad natural.

Tierras aptas para cultivo Permanente (SÍMBOLO C)

Suelos cuyas condiciones ecológicas no son adecuada al remoción periódica (no arables) y continuada del suelo, pero que permiten la implantación de

cultivos perennes, sean herbáceas, arbustivas o arbóreas, estas tierras podrían dedicarse también a otros fines (forestal, protección y pastoreo) siempre y cuando se obtenga rendimientos económico superior a su aptitud natural.

Tierras aptas para Pastos (SÍMBOLO P)

Tierras Aptas para Pastos, son los que no reúnen las condiciones ecológicas mínimas requeridas para el cultivo en limpio o permanente, pero que permiten su uso continuado o temporal para el pastoreo, bajo técnicas económicamente accesibles a los agricultores del lugar, sin deterioro de la capacidad productiva del recurso.

Tierras para producción Forestal (SÍMBOLO F)

Las Tierras Aptas para Producción Forestal, son tierras que no reúnen las condiciones ecológicas requeridas para su cultivo o pastoreo, pero permite su uso para la producción de maderas y otros productos forestales, siempre que sean manejadas en forma técnica para no causar deterioro en la capacidad productiva del suelo, estos suelos pueden soportar también plantaciones de cultivos permanentes pero requieren el uso de tecnologías adecuadas para conservar el suelo.

Así mismo, y siguiendo con la clasificación de las clases agrológicas de acuerdo a la calidad que indica la potencialidad del suelo para producir plantas específicas o secuenciales bajo un conjunto definido de prácticas de manejo, la ONERN identifica 3 niveles dentro de cada grupo de capacidad de uso mayor con la finalidad de darle mayor consistencia a las interpretaciones de los estudios de suelos; así tenemos las siguientes clases agrológicas:

- | | | |
|----------------------------|---|---|
| ☒ Calidad agrológica alta | : | 1 |
| ☒ Calidad agrológica media | : | 2 |
| ☒ Calidad agrológica baja | : | 3 |

Por último y para dar mayor especificidad a la clasificación de las tierras, se debe considera la deficiencia más relevante como el factor limitante que define la clasificación de un determinado suelo dentro de una clase y grupo de capacidad

de uso mayor, ello lo podemos apreciar en la siguiente descripción:

- ☒ Deficiencia o limitación por suelo (factor edáfico) : **s**
- ☒ Deficiencia o limitación por sales : **l**
- ☒ Deficiencia o limitación por topografía (factor relieve) : **e**
- ☒ Deficiencia o limitación por drenaje (factor drenaje) : **w**
- ☒ Deficiencia o limitación por Inundación : **i**
- ☒ Deficiencia o limitación por Clima (factor climático) : **c**

Tabla 7: Capacidad de uso mayor de los suelos de la provincia de Quispicanchi; Cusco.

CAPACIDAD DE USO MAYOR DE SUELOS			SUPERFICIE
DESCRIPCIÓN	SUBCLASE	HA	%
Cultivos en limpio de calidad agrológica media con limitaciones de suelo y clima	A2sc	3415.8	0.45
Cultivos en limpio de calidad agrológica media con limitaciones de suelo, erosión y clima	A2sec	4139.4	0.55
Cultivos en limpio de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo y erosión	A3se	1033.7	0.14
Cultivos en limpio de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo, erosión y clima	A3sec	6382.4	0.85
Pastos de calidad agrológica alta con limitaciones de suelo, erosión y clima asociado a cultivos			
en limpio de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo, erosión y clima	P1sec-A3sec	4021.7	0.53
Pastos de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo, erosión y drenaje	P1sw	5388.5	0.71
Pastos de calidad agrológica media con limitaciones de suelo, erosión y clima	P2sec	6310.8	0.84
Pastos de calidad agrológica media con limitaciones de suelo, erosión, clima y drenaje	P2sew	22520.5	2.98
Pastos de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo	P3s	14101	1.87
Pastos de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo, erosión y clima asociado a protecciones de suelos y erosión	P3sec-Xse	45796.3	6.06
Forestal de calidad agrológica alta con limitaciones de suelo y erosión	F1se	7780.8	1.03
Forestal de calidad agrológica media con limitaciones de suelo y erosión	F2se	53345.7	7.06
Forestal de calidad agrológica media con limitaciones de suelo, erosión y clima	F2sec	2587	0.34
Forestal de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo y erosión	F3se	35761.6	4.74
Forestal de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo, erosión y clima	F3sec	3604	0.48
Forestal de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo, erosión y clima asociado a			
Protección bosque nublado	Xn	197261.1	26.12
Protección con limitaciones de suelo y erosión	Xse	115744.7	15.33
Protección con limitaciones de suelo y erosión **	Xse**	47156.1	6.24
Protección con limitaciones de suelo y erosión asociado a forestal de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo y erosión	Xse-F3se	20226.8	2.68
Protección con limitaciones de suelo y erosión asociado a pastos de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo, erosión y clima	Xse-P3sec	95749.7	12.68
Protección con limitaciones de drenaje	Xw	420.1	0.06
Nevado		19079	2.53
Río		3940.4	0.52
Lagunas		1551.4	0.21
	TOTAL	755194.3	100.00

Fuente: ZEE; cusco 2007

de uso mayor, ello lo podemos apreciar en la siguiente descripción:

Deficiencia o limitación por suelo (factor edáfico)	: s
Deficiencia o limitación por sales	: l
Deficiencia o limitación por topografía (factor relieve)	: e
Deficiencia o limitación por drenaje (factor drenaje)	: w
Deficiencia o limitación por Inundación	: i
Deficiencia o limitación por Clima (factor climático)	: c

Tabla 7: Capacidad de uso mayor de los suelos de la provincia de Quispicanchi; Cusco.

CAPACIDAD DE USO MAYOR DE SUELOS			SUPERFICIE
DESCRIPCIÓN	SUBCLASE	HA	%
Cultivos en limpio de calidad agrológica media con limitaciones de suelo y clima	A2sc	3415.8	0.45
Cultivos en limpio de calidad agrológica media con limitaciones de suelo, erosión y clima	A2sec	4139.4	0.55
Cultivos en limpio de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo y erosión	A3se	1033.7	0.14
Cultivos en limpio de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo, erosión y clima	A3sec	6382.4	0.85
Pastos de calidad agrológica alta con limitaciones de suelo, erosión y clima asociado a cultivos			
en limpio de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo, erosión y clima	P1sec-A3sec	4021.7	0.53
Pastos de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo, erosión y drenaje	P1sw	5388.5	0.71
Pastos de calidad agrológica media con limitaciones de suelo, erosión y clima	P2sec	6310.8	0.84
Pastos de calidad agrológica media con limitaciones de suelo, erosión, clima y drenaje	P2sew	22520.5	2.98
Pastos de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo	P3s	14101	1.87
Pastos de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo, erosión y clima asociado a protecciones de suelos y erosión	P3sec-Xse	45796.3	6.06
Forestal de calidad agrológica alta con limitaciones de suelo y erosión	F1se	7780.8	1.03
Forestal de calidad agrológica media con limitaciones de suelo y erosión	F2se	53345.7	7.06
Forestal de calidad agrológica media con limitaciones de suelo, erosión y clima	F2sec	2587	0.34
Forestal de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo y erosión	F3se	35761.6	4.74
Forestal de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo, erosión y clima	F3sec	3604	0.48
Forestal de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo, erosión y clima asociado a			
Protección bosque nublado	Xn	197261.1	26.12
Protección con limitaciones de suelo y erosión	Xsc	115744.7	15.33
Protección con limitaciones de suelo y erosión **	Xse**	47156.1	6.24
Protección con limitaciones de suelo y erosión asociado a forestal de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo y erosión	Xse-F3sc	20226.8	2.68
Protección con limitaciones de suelo y erosión asociado a pastos de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo, erosión y clima	Xsc-P3sec	95749.7	12.68
Protección con limitaciones de drenaje	Xw	420.1	0.06
Nevado		19079	2.53
Río		3940.4	0.52
Lagunas		1551.4	0.21
	TOTAL	755194.3	100.00

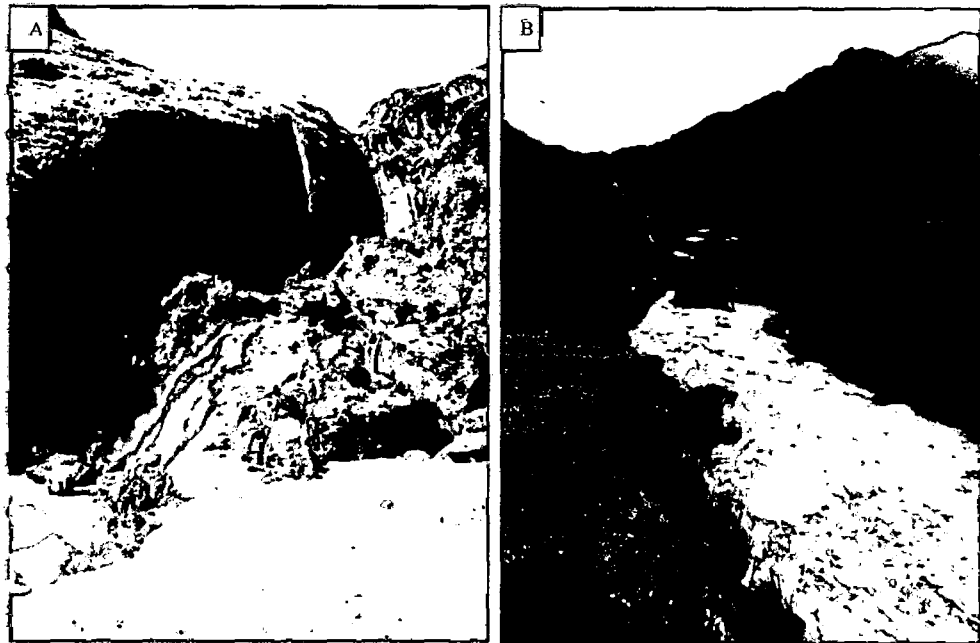
Fuente: ZEE; cusco 2007

2.1.7. Hidrología

La cuenca hidrográfica Arasá comprende los distritos de Quincemil y Marcapata donde se identificaron 7 subcuencas; el recurso hídrico de esta cuenca proviene fundamentalmente de los aportes del nevado Carabaya, cuyos deshielos suministran agua en grandes cantidades para la parte alta de la cuenca (subcuenca de Arasá Alto) y las lluvias para la parte media y baja de la cuenca, dado que en estas zonas se presenta de manera continua altas precipitaciones pluviales entre rangos de 850 a 1,000. Y con una temperatura media anual de 0°C. En general las lluvias son de origen convectivo, las mismas que varían de acuerdo al nivel, así en la parte alta la precipitación es reducida, la cual va incrementado a media que se desciende a través de la cuenca, llegando a abundante en las partes bajas, este comportamiento se explica porque la cuenca presenta zonas de sierra, ceja de selva y selva cuya transición de una a otra es muy corta en altura; estas características favorecen el desarrollo de una cobertura vegetal peculiar para cada zona, variando desde pastizales característica de las zonas altas a una cobertura abundante en las partes bajas que caracteriza a la zona de selva.

Los aportes del nevado y las precipitaciones mantienen ríos de régimen permanente de características caudalosas y tormentosas en las partes altas y caudalosos con bajas pendientes en las partes bajas (dependiendo de la época). Estas fuentes hídricas son recursos importantes para las poblaciones asentadas en la zona debido a que muchos de ellos se dedican a la extracción del oro en lavaderos a orillas de los ríos, por otro lado sirven para la generación de energía eléctrica mediante la instalación de minicentrales hidroeléctricas, también son usadas para satisfacer la necesidad de agua de las poblaciones asentadas a lo largo de los ríos, permitiendo el normal desarrollo de las actividades económicas.

Figura 10: Naciente de la Micro cuenca Chumpe



Fuente: Gregorio Huamán Y, (2014).

A. Caudales Generados para las Subcuencas del río Arasá (m3/seg)

Para la estimación de caudales se tuvo que recurrir a la recopilación de información pluviométrica de las estaciones de Puerto Maldonado, Pilcopata, San Gabán y Quincemil; en las que se evaluó su consistencia para luego ser completadas y regionalizadas para las cuencas de interés, por otro lado es conveniente señalar que en la determinación de la magnitud de los volúmenes de agua de los ríos en forma mensualizada, se ha empleado diferentes metodologías con el fin de comparar resultados entre ellos y confrontar con mediciones directas de aforos en los Principales ríos a los que se tuvo acceso.

Tabla 8: Caudales generados medios mensuales en las principales subcuencas del río arasá (m3/seg)

MESES	SUBCUENCAS													
	NUSINISCATO		ARAZA ALTO		AMANTI		SOCAPATA		AZULMAYO		JUNJUMANTA		JAPUMAYO	
	Q.GEN	Q.AFOR	Q.GEN	Q.AFOR	Q.GEN	Q.AFOR	Q.GEN	Q.AFOR	Q.GEN	Q.AFOR	Q.GEN	Q.AFOR	Q.GEN	Q.AFOR
Ene	144.60		32.40		136.20		15.90		26.90		19.70		26.30	
Feb	147.60		35.50		139.00		17.10		26.30		20.30		28.40	
Mar	142.10		29.30		133.80		14.00		24.40		19.50		23.30	
Abr	112.60		16.00		106.00		7.00		19.10		15.80		11.80	
May	89.30		9.90		84.10		4.20		14.50		12.70		6.50	
Jun	74.00		9.20		69.70		4.00		13.10		10.50		5.80	
Jul	70.30		8.80		66.20		3.80		12.40		10.20		5.50	
Ago	59.80		9.40		56.30		4.10		10.50		8.70		5.80	
Sep	59.00	57.00	10.00	10.00	56.20	31.00	4.40	4.40	10.50	10.00	8.50	8.50	6.50	7.00
Oct	83.60		12.00		79.10		5.50		15.60		11.80		8.10	
Nov	90.60		16.10		85.50		7.70		16.80		12.30		12.70	
Dic	118.80		24.90		112.00		12.20		22.30		16.10		19.80	

Fuente: ZEE; cusco 2007.

Q.Gen : Caudal generado

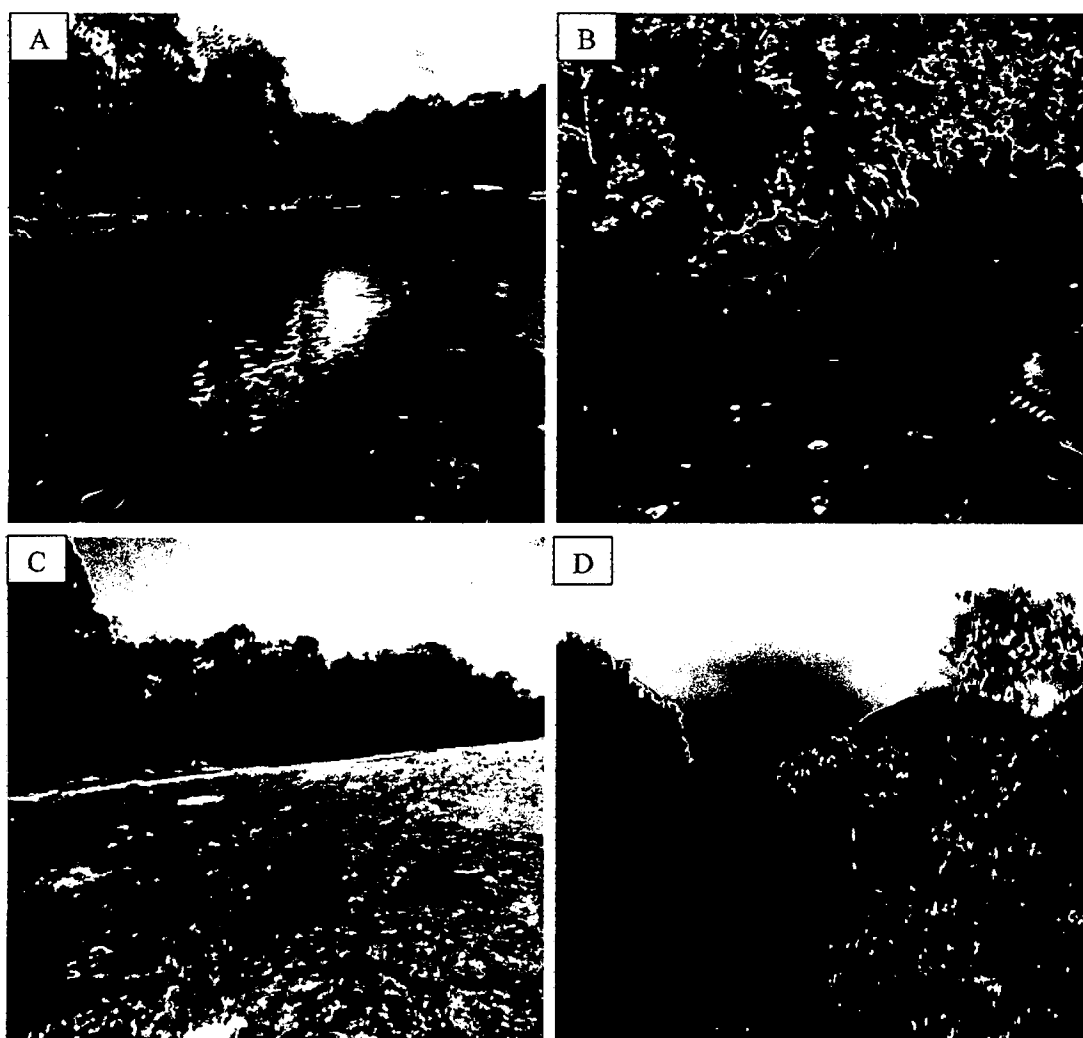
Q.Afor : Caudal Aforado

B. Lagunas

En la cuenca en estudio existen lagunas de origen glaciar rodeadas de cumbres y Nevados, pertenecientes al flanco oriental, la mayoría de lagunas están concentradas en las subcuencas de Japumayo, Camanti y Socapata.

En el siguiente cuadro se muestra la superficie total de lagunas en las principales subcuencas.

Figura 11: Lagunas en el Sub cuenca Arasá



Fuente: Gregorio Huamán Y, (2014).

Tabla 9: Principales Lagunas de la Cuenca del Arasá

NOMBRE	SUPERFICIE (KM ²)	PERIMETRO (KM)	% QUE OCUPA EN LA CUENCA
Ampatuna	0,249	2,627	
Yaquimo	0,110	1,377	
Armaccocha	0,583	3,563	
Uchuypuca Faucet	0,006	0,425	
Yanacocha	0,026	0,639	
Mullucocha	0,116	1,586	
Huarurumicocha	0,375	3,871	
Quillhuacocha	0,110	1,747	
Caycocha	0,165	2,038	
Pucacocha	0,165	1,839	
Minaparayoc	0,043	0,892	83,56
Azulcocha	0,091	1,435	
Uturungococha	0,032	0,855	
Ampatuna	,,231	2,440	
Singrinacocha	2,911	9,310	
Comercococha	0,154	1,517	
Yanacocha	0,038	0,841	
Vinococha	0,038	0,724	
UchuyPucacocha	0,114	1,468	
Fauchintacocha	0,043	0,979	
JatunPucacocha	0,364	2,629	
Minascococha	0,387	3,366	5,422
OTROS	0,786		11,016
	7,137		100,00

Fuente: ZEE; cusco 2007.

C. Uso actual de agua

El uso del agua en esta cuenca es casi insignificante en comparación al volumen de agua que se tiene durante todo el año, la actividad que requiere agua en mayor cantidad es la generación de energía eléctrica. El riego prácticamente no se da en la parte media a baja de la cuenca y se da mínimamente en la parte alta (Marcapata), esto debido a los factores climáticos antes mencionados.

El uso consultivo actual llega a $0.914 \times 106\text{m}^3/\text{año}$, el uso no consecutivo a $35.3 \times 106\text{m}^3/\text{año}$, en conjunto hacen un total de $3.21 \times 106 \text{ m}^3/\text{año}$, que

equivale a 0.05% del total de la oferta de la cuenca, considerada en $985562.36 \times 106\text{m}^3/\text{año}$.

Tabla 10: Uso Actual del Agua.

DEMANDA	CANTIDAD $\times 10.6\text{m}^3/\text{año}$
Uso consultivo	0,914
Domestico	0,052
Pecuario	0,73
Riego	0,132
Uso no consecutiva	35,3
Minicentrales	33,4
Pesca	1,9
Total	3,214

Fuente: ZEE; cusco 2007.

D. Uso Energético

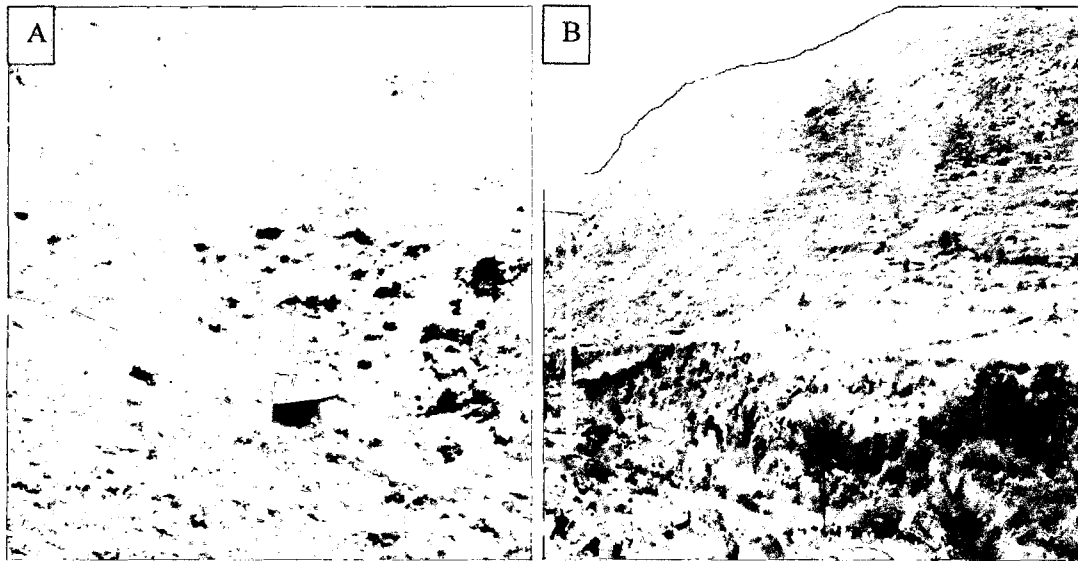
En la cuenca de Araza se pudo ubicar varias minicentrales hidroeléctricas, principalmente en el Distrito de Marcapata, entre ellas tenemos la MCH San Francisco de Asis (Marcapata), la MCH Capire, la MCH Chumpi, la MCH Limacpunqo; y en el distrito de Camanti la MCH Quincemil, todas las MCHs existentes en esta cuenca cuentan con el mantenimiento del PROMIDECH. Las características de cada MCH se detallan a continuación:

Tabla 11: Minicentrales hidroeléctricas existentes

NOMBRE	POTENCIA GENERADA (KW)	NIVEL DE FUNCIONAMIENTO	USUARIOS	MANTENIMIENTO
San Francisco de Asis	0,350	Muy Bueno	Marcapata	PROMIDECH
Capire	0,025	Recién Concluido	Capire	PROMIDECH
Limacpunqo	0,035	En Construcción	Limacpunqo	PROMIDECH
Chumpi	0,075	Bueno	Marcapata	PROMIDECH
Quincemil	0,110	Regular	Quincemil	PROMIDECH
Total	0,60			

Fuente: ZEE; cusco 2007.

Figura 12: Generación de Energía Eléctrica Sector Chumpe



Fuente: Gregorio Huamán Y, (2014).

E. Disponibilidad Hídrica

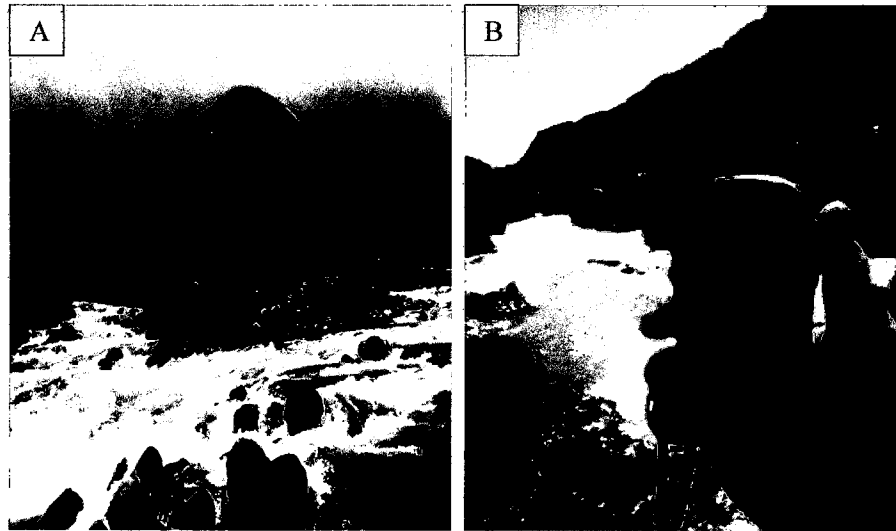
Las subcuencas del río Arasá cuentan con una gran disponibilidad hídrica, principalmente en la subcuenca de Nusiniscato, Camanti, Arasá Alto y Azulmayo, debido a su generación hídrica provenientes de nevados y lagunas, esto hace que tengan un régimen permanente durante todo el año, con una gran oferta por aprovechar especialmente en la parte media a baja de la cuenca.

Tabla12: Disponibilidad hídrica en las Subcuencas del río Arasá.

Nº	SUBCUENCAS/MICROCUENCAS	DISPONIBLE Q(m ³ /s)
1.00	Nusiniscato	57,00
2.00	Camanti	31,00
3.00	Arasá Alto	10,00
4.00	Azulmayo	10,00
5.00	Junjumunta	8,50
6.00	Japumayo	7,00
7.00	Socapata	4,40
Total	127.90	

Fuente: ZEE; cusco 2007.

Figura 13: Disponibilidad Hídrica de la Subcuenca Arasá.



Fuente: Gregorio Huamán Y, (2014).

2.1.8. Clima

El clima de este sector corresponde al de la selva alta del país, concepto que está asociado a la alta pluviosidad y a temperaturas tropicales. Para realizar el análisis de los parámetros meteorológicos más importantes se tomaron datos de Quincemil, que es la única estación climatológica relativamente cercana al área de estudio, y que tiene cierta similitud en sus características geográficas con las que tiene este sector vial (Huertas et., al 2009).

La temperatura para el área de estudio disminuye hacia el oeste conforme aumenta la altitud; aproximadamente unos 5 °C por cada kilómetro de ascenso. Sin embargo, otros factores modifican parcialmente esta distribución; por ejemplo, la nubosidad Interviene en diversos sentidos: reduce la radiación solar sobre la superficie, ya que el elevado albedo reflectivo de las nubes disminuye la incidencia del calentamiento directo de la superficie terrestre, y por ello, en las etapas más nubladas la temperatura En superficie es menor que en días despejados. Pero por otro lado, la nubosidad reduce también la irradiación terrestre ya que las nubes absorben la radiación infrarroja terrestre produciendo el efecto invernadero. Según estas incidencias, en los días

despejados se produce un intenso calentamiento diurno, pero igualmente un mayor enfriamiento nocturno (Huertas et., al. 2009).

2.1.9. zonas de vida

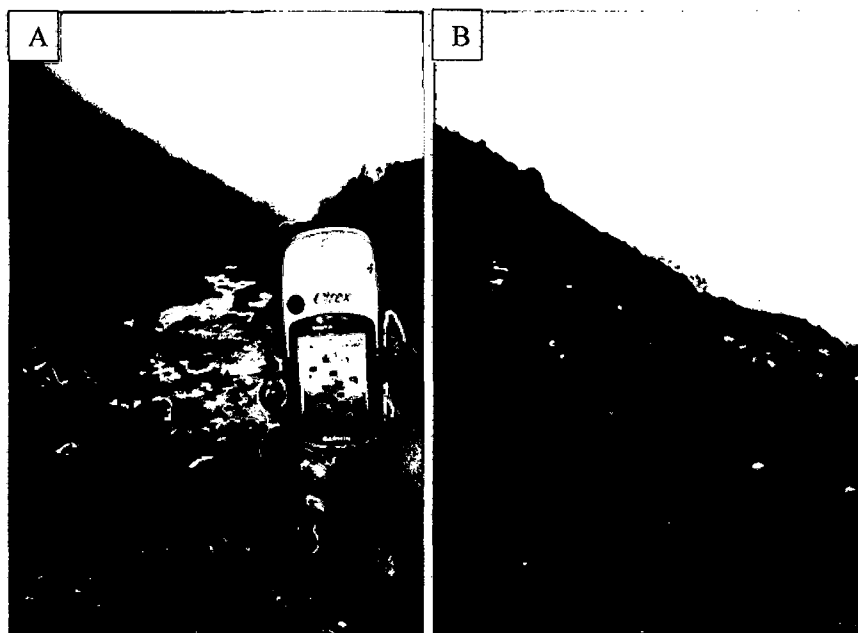
Climáticamente la zona de estudio es muy homogénea, como corresponde al pie de monte de la selva alta. Por ello se registra solamente una sola zona de vida natural según el sistema de clasificación desarrollado por Leslie R. Holdridge y otra zona de carácter transicional, que difiere sólo en pocos aspectos de la mencionada zona. A continuación se describen los caracteres de dichas unidades (Holdridge 1967).

Las características de la zona de vida han sido obtenidas de la guía explicativa del Mapa Ecológico del Perú, publicado por el ex Instituto Nacional de Recursos Naturales – INRENA, Edición 1994.

• Bosque Pluvial-Subtropical (bp-S)

La temperatura promedio anual es de 23 °C y el promedio de precipitación está por encima de 6 000 mm anuales. Según el Diagrama de Holdridge esta zona de vida tiene una evapotranspiración potencial que varía entre la octava (0,125) y la cuarta parte (0,25) del promedio de precipitación total por año, es decir hay un claro exceso de disponibilidad hídrica entre lo que precipita y lo que evapora, hecho que ubica esta zona de vida en la provincia de humedad *superhúmedo*. En estas condiciones climáticas, la vegetación selvática es sumamente densa y diversificada, con un epifitismo muy abundante; casi todos los árboles, que no son de porte muy elevado, están cubiertos de por heliófitas y esciófitas, así como numerosas especies de trepadoras. Esta composición del bosque pluvial, está muy alterada en las inmediaciones de la carretera, donde la vegetación natural casi ha sido reemplazada por un bosque secundario y en muchos casos completamente deforestada para dar paso a terrenos de cultivo y pastizales para ganado. El bosque pluvial propiamente dicho subsiste en las zonas de cumbres que bordean los fondos de valle por donde está emplazada la carretera.

Figura 14: Bosque Pluvial-Subtropical (bp-S) Subcuenca Arasá.



Fuente: Gregorio Huamán Y, (2014).

Bosque muy Húmedo Subtropical Transicional a Bosque Pluvial-Subtropical (bmh-S/bp-S)

Esta zona tiene una biotemperatura media anual de 24 a 25°C, es decir un valor térmico ligeramente superior al indicado para el bosque pluvial subtropical, pero tiene un promedio de precipitación total anual inferior, entre 3 500 y 4 500 mm anuales.

Según el Diagrama de Holdridge esta zona de vida tiene un promedio de evapotranspiración potencial total por año variable entre la cuarta parte (0,25) y la mitad (0,5) del promedio de precipitación total por año, lo que ubica esta zona en un rango intermedio entre las provincias de humedad *superhúmedo* y *perhúmedo*, que tienen un claro exceso de disponibilidad hídrica entre lo que precipita y lo que evapora.

En condiciones naturales poco intervenidas, la vegetación selvática es sumamente densa y diversificada, y tiene similares características que las descritas para el bosque pluvial, aunque con una menor presencia de especies epífitas y sobre todo con la presencia de bosques de árboles de porte elevado y bien desarrollados. Sin embargo esta composición del bosque en el área está muy alterada ya que la mayor parte de terrenos cercanos a la carretera

muestran que su vegetación natural casi ha sido reemplazada por un bosque secundario y en muchos casos completamente deforestados para dar paso a terrenos de cultivo y pastizales para ganado.

• **Bosque muy Húmedo Subtropical (bmh—S)**

Esta zona tiene una biotemperatura media anual de 24 a 25°C, con un promedio de precipitación total de 2 000 a 4 000 mm anuales.

Según el Diagrama de Holdridge esta zona de vida tiene un promedio de evapotranspiración potencial total por año variable entre la cuarta parte (0,25) y la mitad (0,5) del promedio de precipitación total por año, lo que ubica esta zona en un rango en la provincia de humedad *perhúmedo*.

Esta zona de vida es la que comprende la totalidad del trazo de carretera en este sector, cuya vegetación natural ha sido casi reemplazada por cultivos, pastizales para ganadería y vegetación secundaria de tipo purmas.

2.2. Materiales, equipos y herramienta

2.2.1. Materiales, equipos y herramientas.

2.2.2. Materiales y Equipos de campo.

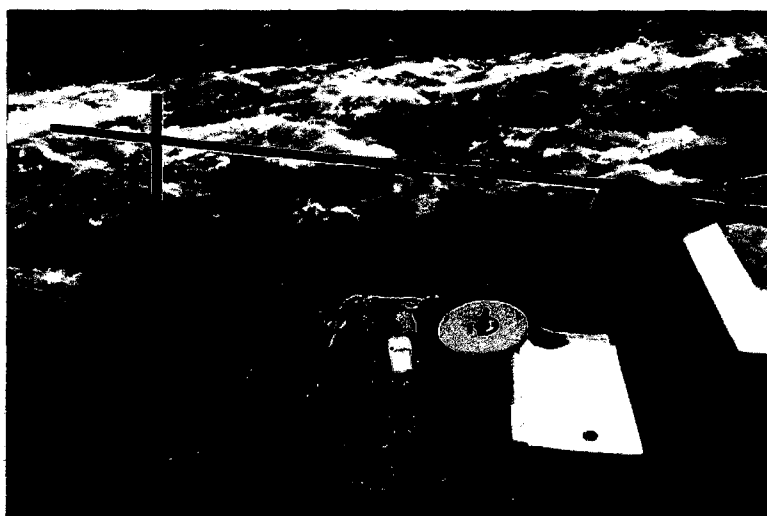
2.2.2.1. Materiales.

- ✓ Mapas Hidrográficos.
- ✓ Libreta de Campo.
- ✓ Tablero de apuntes.
- ✓ Carta nacional escala 1/100,000
- ✓ Ponchos Impermeables.
- ✓ Imágenes GDEM.
- ✓ Mapa ecológico del Perú 1/1000,000

2.2.2.2. Equipos.

- ✓ Binocular Nikon 10x42.
- ✓ Brújula (SUUNTO).
- ✓ Receptor GPS map 60 CSX (Garmin).
- ✓ Cámara Fotográfica Digital.
- ✓ Wincha de fibra de vidrio de 100Mets, Ancho de la cinta 1/2 pulgada
- ✓ Regla de medición de profundidad artesanal.

Figura 15: Equipos Utilizados para el estudio de la Sub Cuenca



Fuente: Gregorio Huamán Y, (2014).

2.2.2.3. Materiales y equipos de Gabinete

- ✓ Computadora.
- ✓ Impresora.
- ✓ Papel Bond.
- ✓ Útiles de escritorio.
- ✓ Calculado Científica.

2.2.2.4. Sistemas Informáticos

- ✓ Software para análisis estadístico (SPSS v21, Estadística v5.0, etc.).
- ✓ Paquete ESRI ArcGis 10.2.1.
- ✓ ArcHydro 10.2.
- ✓ Idrisi Selva 17.
- ✓ Cobertura digital de los siguientes campos: Geología, Geomorfología, Suelos, Clima, Pendiente y Vegetación de Cusco
- ✓ Software Microsoft office 2016 (Word, Excel, Power point).

2.3. Metodología

2.3.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación es descriptiva porque se sometió a un análisis en el que se midieron, y evaluaron diversos aspectos como, los parámetros morfométricos, parámetros de drenaje, relieve, y parámetros hidrológicos, se utilizó el tipo de investigación explicativa que consisten en establecer las causas de los eventos, sucesos, porque se darán a conocer las definiciones y conceptos legales, y propuestas técnicas referentes al estudio de investigación.

2.3.2. Metodología

Procedimiento para determinar el parámetro de Relieve de la subcuenca hidrográfica Arasá.

Fase I: Gabinete.

La metodología empleada para determinar el parámetro de **RELIEVE** de la subcuenca hidrográfica Arasá, fue empleando, el modelo de elevación digital - MED- de la zona de estudio. Las características topográficas del terreno, como las pendientes de la cuenca se obtienen a partir de la aplicación del MED (Modelo de Elevación Digital).

La pendiente controla la velocidad de la escorrentía superficial y afecta el tiempo que tarda la lluvia para concentrarse en los lechos fluviales, que constituyen la red de drenaje de la subcuenca hidrográfica Arasá.

La velocidad de escurrimiento de las corrientes de agua depende de la pendiente, y es directamente proporcional, pendientes marcadas como las que se presenta en la cuenca alta

La aplicación de la metodología aquí descrita para la construcción de un MDE, a escala 1:10.000, adecuado para representar la dinámica de flujos, de agua en relieves.

La preparación y organización de la información cartográfica digital disponible y el análisis espacial para construir el MED, se utilizaron mediante la herramienta ArcGIS Desktop, en sus módulos de ArcMap y ArcCatalog. Como propiedades

principales, este software permite descubrir patrones relacionados y tendencias de datos de manera espacial; provee la facilidad del manejo y la integración de los datos para realizar análisis avanzados, modelamiento y automatización de procesos operacionales, y muestra de los resultados en mapas de gran calidad. Dado que el ArcGIS es un software que debe de ser operado con la respectiva licencia.

La metodología empleada para mejorar la calidad de un MDE, es aplicable en zonas con relieve, suave o plano, de las que se tenga cartografía básica a escala 1:25.000 con una buena representación de la red de flujo, pero en las cuales los métodos estándares de interpolación espacial no permiten obtener representaciones adecuadas de la fisiografía y condiciones de flujos de agua acordes con la lógica de los sistemas hidrológicos, razón por la cual se hace necesario recurrir a procedimientos alternativos para la construcción de nuevos datos que permitan el desarrollo de un MDE con la resolución espacial requerida para los propósitos del proyecto sea escala 1:10.000 o mayor.

La metodología aparte de la elevación del MDE inicial desarrollado a partir de la cartografía básica, disponible; si este método no es adecuado, se establece la necesidad de uno mejor y para lograrlo se definen los criterios para construir nuevos datos en nuevos puntos de control posteriormente, se realizan los ejercicios de modelación espacial utilizando los métodos de interpolación disponibles en el software para SIG. Mediante sucesivas comparaciones entre los resultados y apoyados en el control de campo y en el conocimiento del moldeador acerca de la zona de estudio, se define cual es el modelo elegido; siendo este el que mejor representa la fisiografía del dominio.

El procedimiento para obtener los puntos de control mediante esta metodología, se basa en la configuración cartográfica de curvas de nivel y drenaje principales, buscando identificar algunas de las siguientes características que faciliten su aplicación:

La cobertura de drenajes se debe de poseer como mínimo un atributo que permita la agrupación de los drenajes afluentes (generalmente digitalizados como segmentos), de acuerdo con el orden de la cuenca principal a la que atributan, para luego seleccionarlos y unificarlos en un nuevo mapa de drenajes principales con

su correspondiente longitud. Es necesario que cada drenaje tenga una única extensión para proceder luego a su segmentación de acuerdo con la pendiente y la diferencia de altura entre los sitios de nacimiento y afluencia a otra corriente o cuerpo de agua.

La cobertura de curvas de nivel debe poseer información correcta a la cota de elevación sobre el nivel del mar de acuerdo con la escala, para ser empleado en la creación del MDE.

Procedimiento para determinar el parámetro de Drenaje de la subcuenca hidrográfica Arasá

Fase I: Gabinete.

Elaboración del Modelo de Dirección de Flujo

Una vez terminados todos estos pasos, el nuevo MDE debería tener continuidad Hidrológica, por lo que es posible definir las direcciones de flujo a través de la herramienta "Flow Direction" (Terrain Preprocessing/Flow Direction). Este modelo, representa la dirección hacia la que drenaría un determinado volumen de agua de una celda en función del valor de cota que toma cada píxel circundante del MDE. Para ello, en primer lugar es necesario realizar el Modelo de Direcciones de Flujo y, a partir de él, se genera el Modelo de Flujo Acumulado (Terrain Preprocessing/Flow Accumulation) el cual, calcula el número de celdas que vierten a cada celda. Con este paso se define la dirección de las pendientes de descenso para cada celda del terreno.

Elaboración del Modelo de Flujo Acumulado

A partir de éste, se genera el Modelo de Flujo Acumulado con la herramienta Terrain Preprocessing/Flow Accumulation. Esta herramienta calcula para cada píxel el número de píxeles que vierten.

Con este paso se determina el número de corrientes en las celdas de drenaje para una determinada celda. Las áreas de drenaje aguas arriba en una celda determinada se calculan como la multiplicación de los valores de acumulación del flujo por las áreas de celdas.

Creación de shape de puntos “desembocadura”

A partir del modelo de Direcciones de Flujo y utilizando el SIG se puede definir la cuenca hidrográfica del Río Nalón. Para ello es necesario crear un shape de puntos, con un único punto que representa la desembocadura del río.

Delimitación de la cuenca de drenaje

A partir de este shape y el ráster correspondiente al Modelo de Direcciones de Flujo mediante la herramienta “Watershed” (Spatial Analyst Tools/Hidrology/Watershed), se delimita automáticamente la cuenca.

Obtención de la red de drenaje

El último paso es obtener la red de drenaje, que permitirá elaborar posteriormente los perfiles longitudinales. Para ello, mediante la herramienta “Stream Definition” (*Terrain Preprocessing/Stream definition*) se calcula un ráster de corrientes a partir del modelo de flujo acumulado, especificando u área o un número de celdas que, desde un punto de vista hidrológico, indica el momento en que se genera la escorrentía. En esta ocasión se dio un valor de área en torno a 5 (un valor bajo respecto al dado por defecto superior a 45) ya que nos interesa una red densa. En el archivo ráster generado, todas las celdas que sean consideradas como cauce tendrán valor 1, mientras que a las que a las demás se les asigna el valor “no data”.

Jerarquización de la red de drenaje

A partir de raster de red de drenaje y el ráster correspondiente al Modelo de Direcciones de Flujo mediante la herramienta “Clasificación de arroyos” (Spatial Analyst Tools/Hidrology/), que realiza la jerarquización de los de la red de drenaje mediante el método propuesto por Strahler.

Transformación de la red de drenaje a fichero vectorial

A partir de la red de drenaje en formato ráster, se transforma en formato vectorial para poder realizar posteriormente los perfiles longitudinales. Mediante la herramienta “Stream to Feature” (Spatial Analyst Tools/Hydrology/Stream to Feature) se convierte el raster a shape. Una vez creado el shape, se corta mediante la herramienta “clip” usando el límite de la cuenca.

Determinación del curso principal de la subcuenca Arasá.

Para determinar el curso principal se utilizara la herramienta “Integrated Water Management” del software Idrisi Selva 17; que utiliza un modelo numérico de altitud (DEM) el raster de la cuenca definida, el DEM de la misma y el punto de desembocadura de la cuenca.

Fase II: de Campo

- Medición de pendientes.
- Medición y foro en los puntos de interés en la cuenca.

Procedimiento para determinar las características morfométricas de la subcuenca hidrográfica Arasá

Fase I: Gabinete, recopilación de datos

En primer lugar se ha llevado a cabo la recopilación de la información cartográfica más reciente disponible para el territorio objeto de estudio. el almacenamiento y tratamiento de la información se ha llevado a cabo mediante el software de la casa comercial ESRI, ArcGIS, versión 10.2.1. Además, se ha utilizado la extensión ArcHydro Tools versión 2.0.

La información topográfica utilizada en este trabajo procede de las siguientes fuentes de información: i) Carta nacional del IGN (Instituto Geografico Nacional) ii) Modelo Digital del Elevaciones (ASTER GDEM, *ASTER Global Digital Elevation Model*) de 30 m de resolución espacial (<http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>), publicados por el METI (Ministry of Economy, Trade, and Industry) de Japon en convenio con la NASA (United States National Aeronautics and Space Administration).

Análisis de los mapas de morfometría en base a modelo de Elevación Digital (GDEM) descargadas del servidor de la NASA, Imágenes de satélite e información de campo.

Fase II: Procesamiento de datos

Esta fase consta de la secuencia de actividades ejecutadas durante la aplicación de los programas utilizados para el tratamiento de la información del modelo de elevación digital, a continuación se escribirán las formas de procesar la información.

Procesamiento Geográfico de la Subcuenca hidrográfica Arasá, mediante el Uso del módulo de ArcMap del Paquete de ArcGis 10.2.1.

Para realizar el procesamiento geográfico de la cuenca, se proyectó los archivos raster a utilizar al sistema de coordenadas que se utilizó (UTM WGS 84, zona 19 sur), a continuación se generó un mosaico con las imágenes descargadas y corregidas a utilizar para delimitar la cuenca de interés.

Fase III: Implementación de los programas hidrológicos

Procesamiento de las características físicas del terreno de la Subcuenca hidrográfica Arasá, mediante el uso Arc Hydro para ArcGis 10.2.1.

a) Pre procesamiento del Terreno.

El pre procesamiento del terreno implicó ejecutar las siguientes opciones en forma consecutiva: reacondicionamiento del terreno, relleno de depresiones, direccionamiento del flujo, acumulación del flujo, definición de corrientes, segmentación de corrientes, delineación de cuencas, procesamiento poligonal de la cuenca, procesamiento de los segmentos de corrientes y agregación de cuencas.

Rellenado de los depresiones

Si un pixel está rodeado por pixels de mayor elevación, el agua quedará "atrapada" en ese pixel y no fluye. La herramienta "*Fill Sinks*", permite rellenar los sumideros encontrados en el MDE (*Terrain Preprocessing/DEM Manipulation/Fill Sinks*) Con esta herramienta se modifica el valor de ese pixel permitiendo que el agua fluya.

b) Procesado de la información mediante Archydro Tools

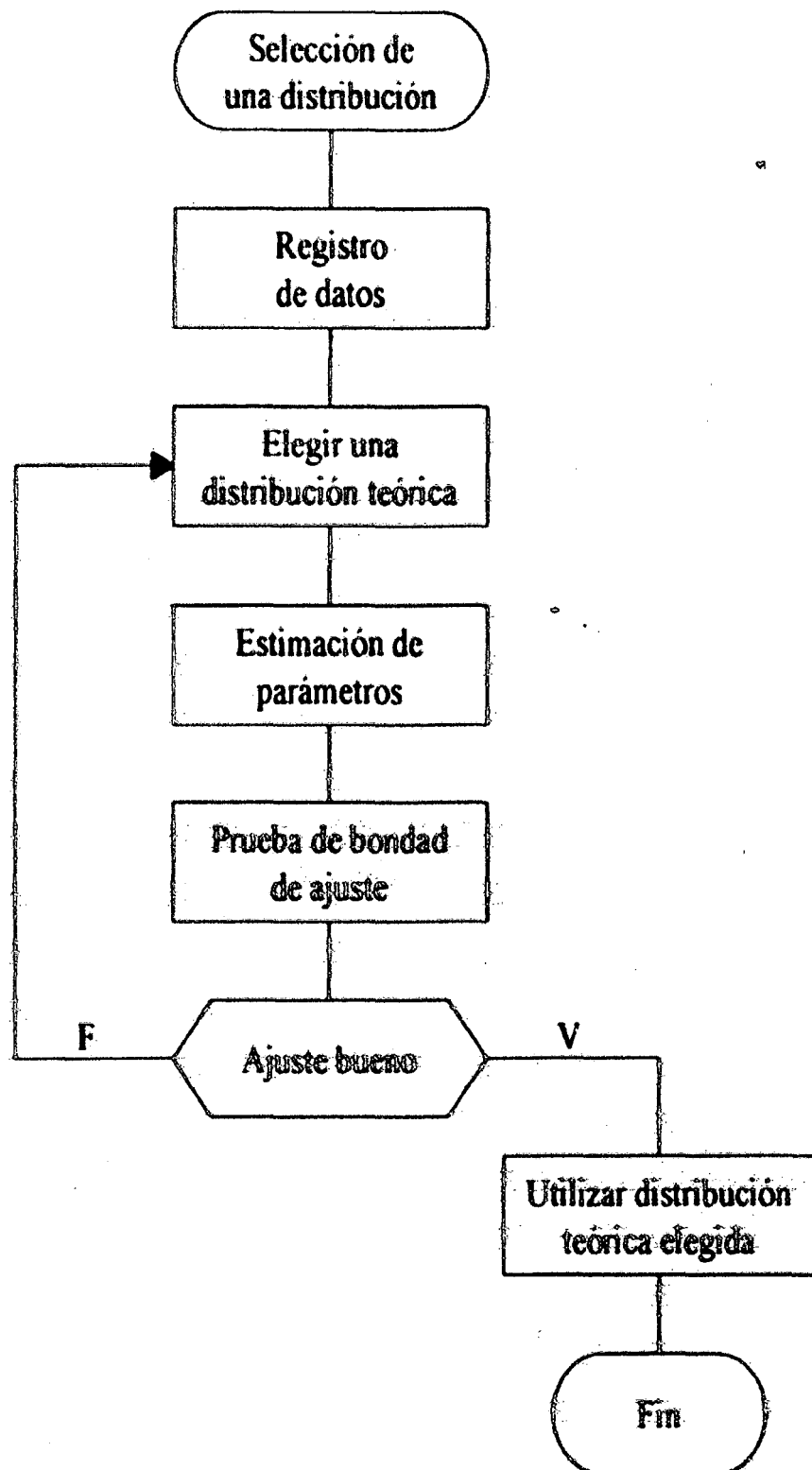
ArcHydro Tools consiste en un conjunto de herramientas que permite trabajar con gran variedad de datos sobre recursos hídricos: balances hídricos, calidad de agua, parámetros morfométricos, etc. Una vez que se dispone de un fichero vectorial (shape) de ríos completamente depurado y correcto, se puede realizar el preprocesado del terreno mediante una serie de procedimientos recogidos en la extensión de ArcGIS ArcHydro (ArcHydro 2.0).

Fase IV: de campo.

- ❖ Verificación de los parámetros morfométricos más importantes en campo, con la ayuda de mapas temáticos, como son el mapa de pendientes.
- ❖ Medición de tributarios importantes de la subcuenca hidrográfica arasá
- ❖ Toma de coordenadas UTM WGS 84, en la subcuenca hidrográfica arasá de los puntos aforados.

Procedimiento para determinar el parámetro hidrológico de la subcuenca hidrográfica Arasá.

Metodología resumida para determinar los parámetros hidrológicos mediante el diagrama de flujo explicativo.



Fase I: Gabinete procesamiento de datos.

1. ***Selección de una distribución.***- En la estadística existen diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas; recomendándose utilizar la distribución Normal.
2. ***Registro de datos.***- Se ingresamos los datos y creamos un archivo para poder usarlo con otras Distribuciones, trabajamos con la estación Quincemil: Distribuciones →Normal→Insertamos Datos→Crear Archivo.
3. ***Elegir una distribución teórica.***- Averiguamos si la serie de datos de la estación Quincemil se ajustan a una Distribución Normal. Para Cargar el archivo hacemos la siguiente secuencia: Distribucion→Normal→Accesar→ Lluvias Máxima 24h Quincemil →Abrir.
4. ***Estimación de parámetros.***- Se trabajó con la Estación Quincemil pero con otras distribuciones y capturamos las pantallas para luego resumir resultados en una tabla: Para llamar al archivo→***Lluvias Máxima 24h Quincemil:*** Distribuciones →Log Normal de 2 Parámetros→Accesar, Calculamos la distribución Log Normal de 2 Parámetros: Distribuciones →Log Normal de 2 Parámetros→ Lluvias Máxima 24h Quincemil→Calcular→Grafica.
5. ***Prueba de bondad de ajuste.***- Consiste en comparar las diferencias existentes entre la “PROBABILIDAD EMPÍRICA DE LOS DATOS DE LA MUESTRA” y la “PROBABILIDAD TEÓRICA”, tomando el valor máximo del valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor de la recta teórica del modelo.
6. ***Ajuste bueno.***- el ajuste bueno para darle más precisión a los datos, que serán procesados.
7. ***Utilizar la distribución teórica elegida.***- la distribución elegida que más se ajusta es la distribución Normal.

Fase II: Campo

La etapa de campo se efectuó el levantamiento de información referida a las características hídricas del ámbito de estudio, principalmente aforos (medición de caudales) en ríos y quebradas que conforman la red hidrográfica del ámbito de estudio. Los caudales fueron medidos en los meses de julio del 2014, durante la estación seca. En la estación húmeda siendo el mes de enero, se pudo observar que los ríos y quebradas principales crecen en función a la precipitación existente.

Con el propósito de conocer la cantidad de agua que fluye por los ríos en un determinado momento, se efectuó la medición de los caudales de los afluentes y Quebradas en 10 puntos de control, abarcando gran parte de la red hidrográfica Del ámbito de estudio.

2.3.3. Estadística Empleada

Para estudio de la subcuenca hidrográfica Arasá, se empleó la estadística descriptiva, por lo que se utilizó el programa de Excel, para realizar cálculos estadísticos, también se utilizó el software Idrisi Selva 17, que utiliza un modelo numérico de altitud DEM.

6.1. Población.

La población de la cuenca de estudio es la cuenca hidrográfica Inambari con código 46648 con un Área total de 19,905 km², con un caudal medio anual de 1,709.9 m³/s. está ubicada entre el departamento de Puno, Cusco y Madre de dios, nace en la cordillera de Apolobamba, provincia de Sandía (Puno) y tiene una longitud de 340 km de largo.

6.2. Muestra.

La muestra de la población de estudio es la subcuenca hidrográfica Arasá, con un área total de 4555.28 km², con un caudal total de 442.34 m³/s, en toda la subcuenca Arasá, está ubicada en el Departamento de Cusco, Provincia de Quispicanchis, Distrito de Marcapata.

6.3. Técnicas de análisis de datos

6.3.1. Procesamiento de los datos

Los datos colectados en campo serán ordenados en una base de datos utilizando el software Excel para facilitar el análisis de los mismos de acuerdo a las variables relacionadas se realizarán análisis estadísticos utilizando el Software Excel y otros softwares estadísticos especializados.

a) Manejo de base de datos.

Con el software Excel se organizara todo los datos levantados en campo y obtenidos del procesamiento de imágenes de satélite y DEM.

Con el software de ArcGis v10.2 se correrán todos cálculos necesarios para estimar los parámetros de forma de la subcuenca hidrográfica Arasá.

b) Análisis descriptivo-exploratorio

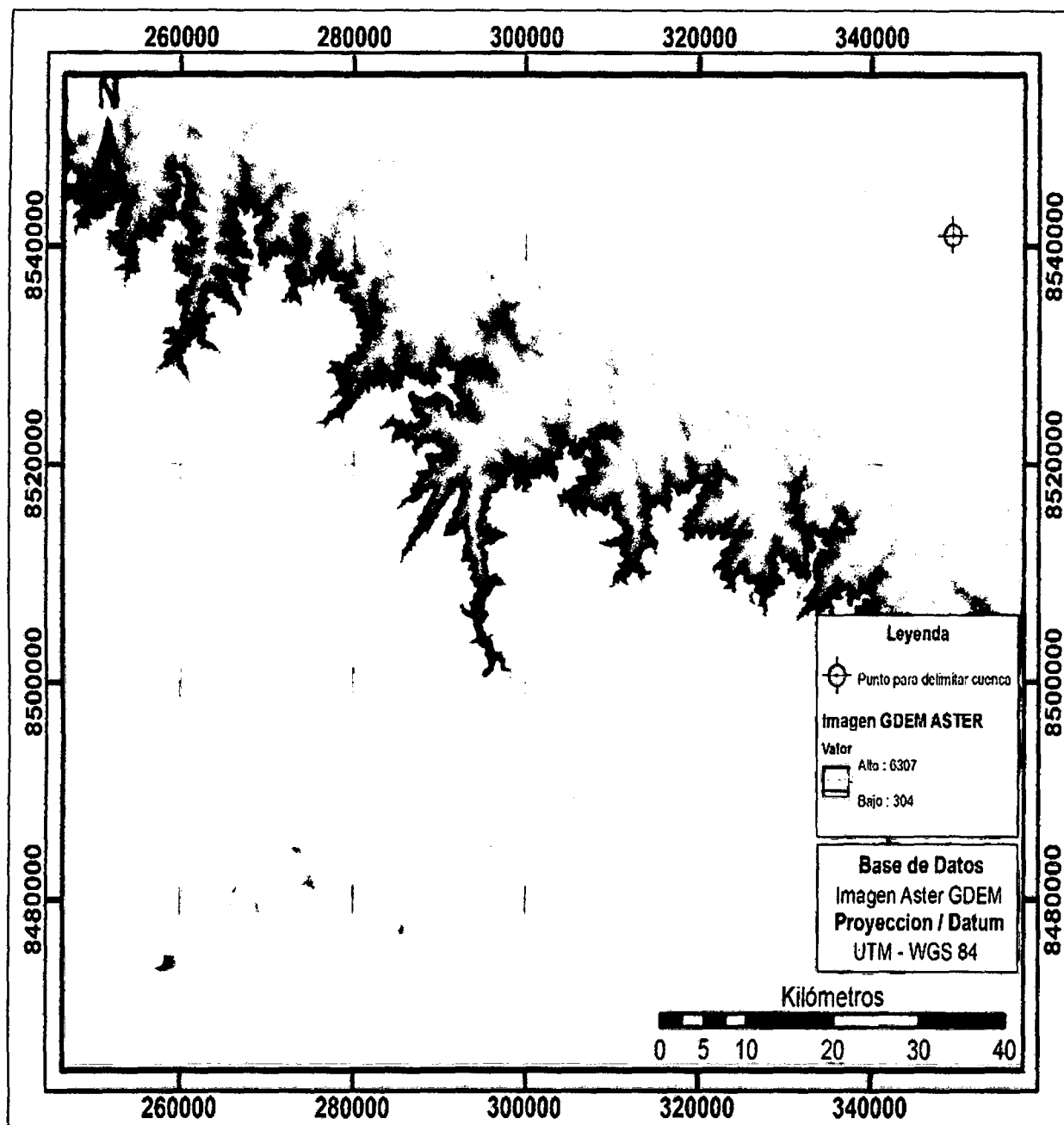
Se utilizará el paquete estadístico SPSS v21 (IBM, 2011), para obtener el análisis descriptivo de todas las variables obtenidas en el campo, asimismo el análisis exploratorio para verificar las condiciones para aplicar análisis comparativos de datos morfométricos de la sub cuenca Arasá, Quispicanchis, Cusco, Perú.

CAPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSION

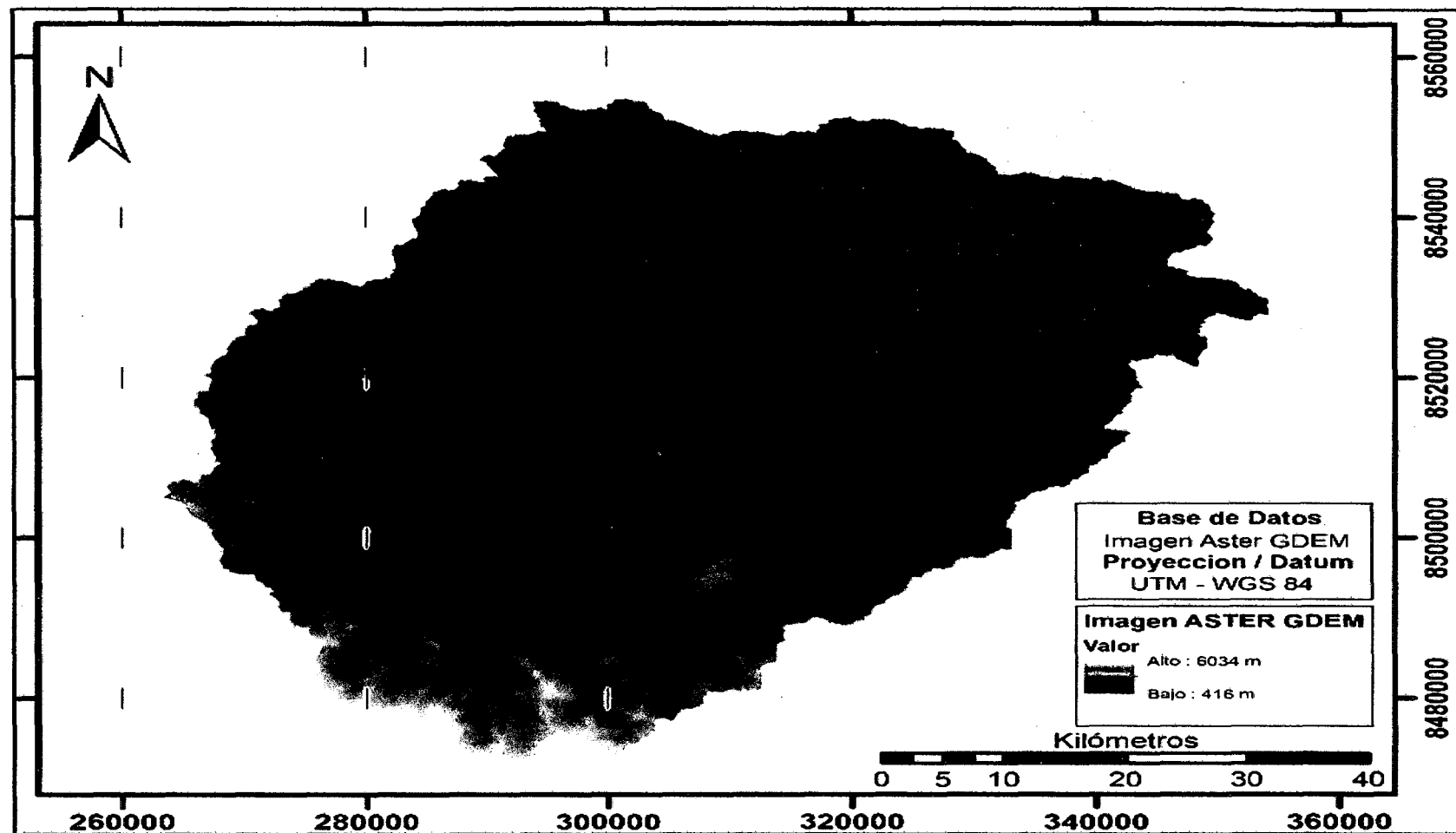
3.1. Determinación de la cuenca Arasá

Figura 16: Mosaico de imágenes de modelos de elevación digital GDEM ASTER y el punto para delimitación de la Cuenca Arasá.



Fuente: Elaboración propia (2015)

Figura 17: Imagen ASTER GDEM del Área de estudio

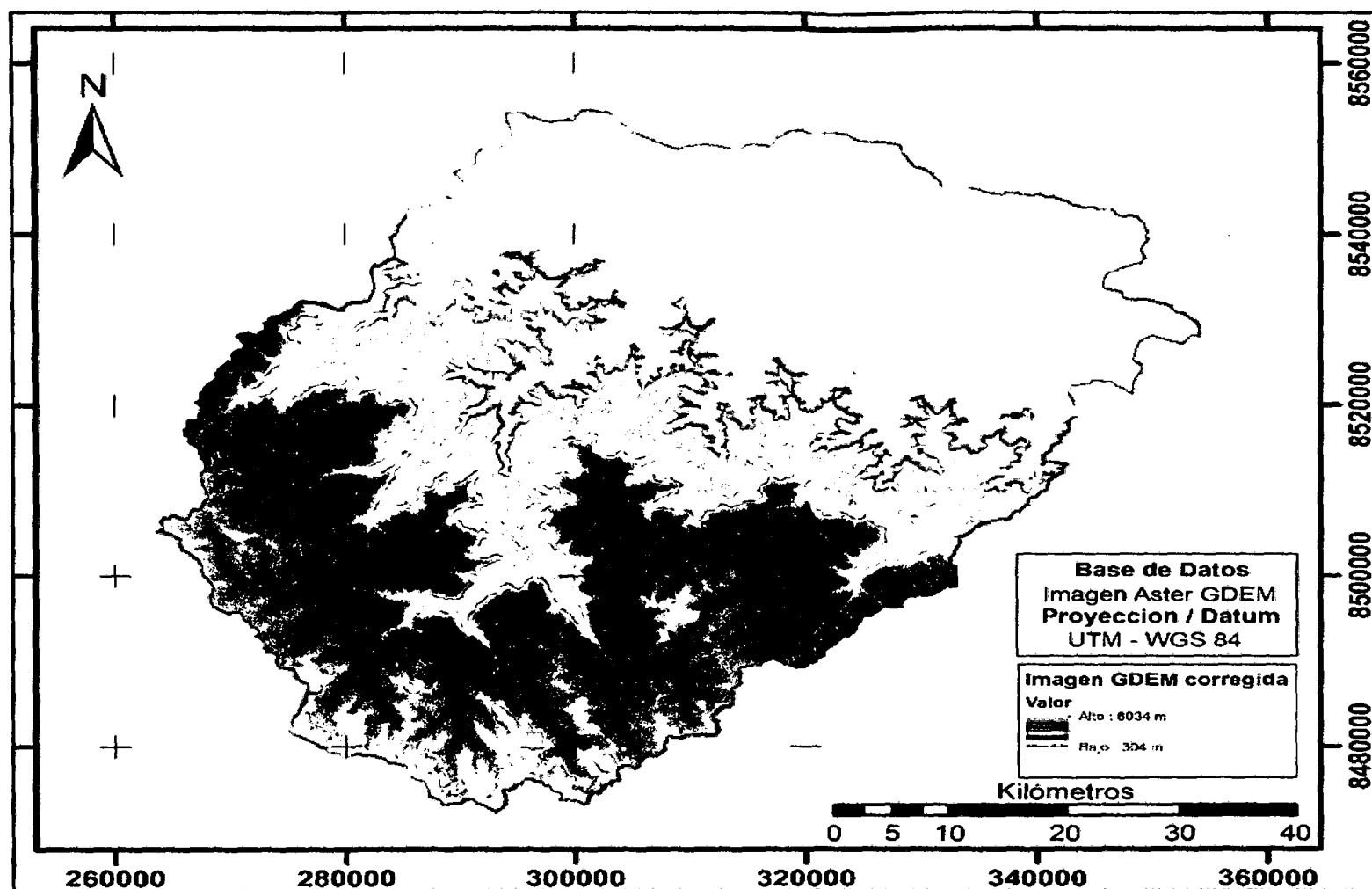


Fuente: Elaboración propia (2015)

Rellenado de los sumideros

Si un pixel está rodeado por pixels de mayor elevación, el agua quedará “atrapada” en ese pixel y no fluye. La herramienta “*Fill Sinks*”, permite rellenar los sumideros. Encontrados en el MDE (*Terrain Preprocessig/DEM Manipulation/Fill Sinks*) Con esta herramienta se modificó el valor de ese pixel permitiendo que el agua fluya.

Figura 18: Imagen ASTER GDEM corregida



Fuente: Elaboración propia (2015)

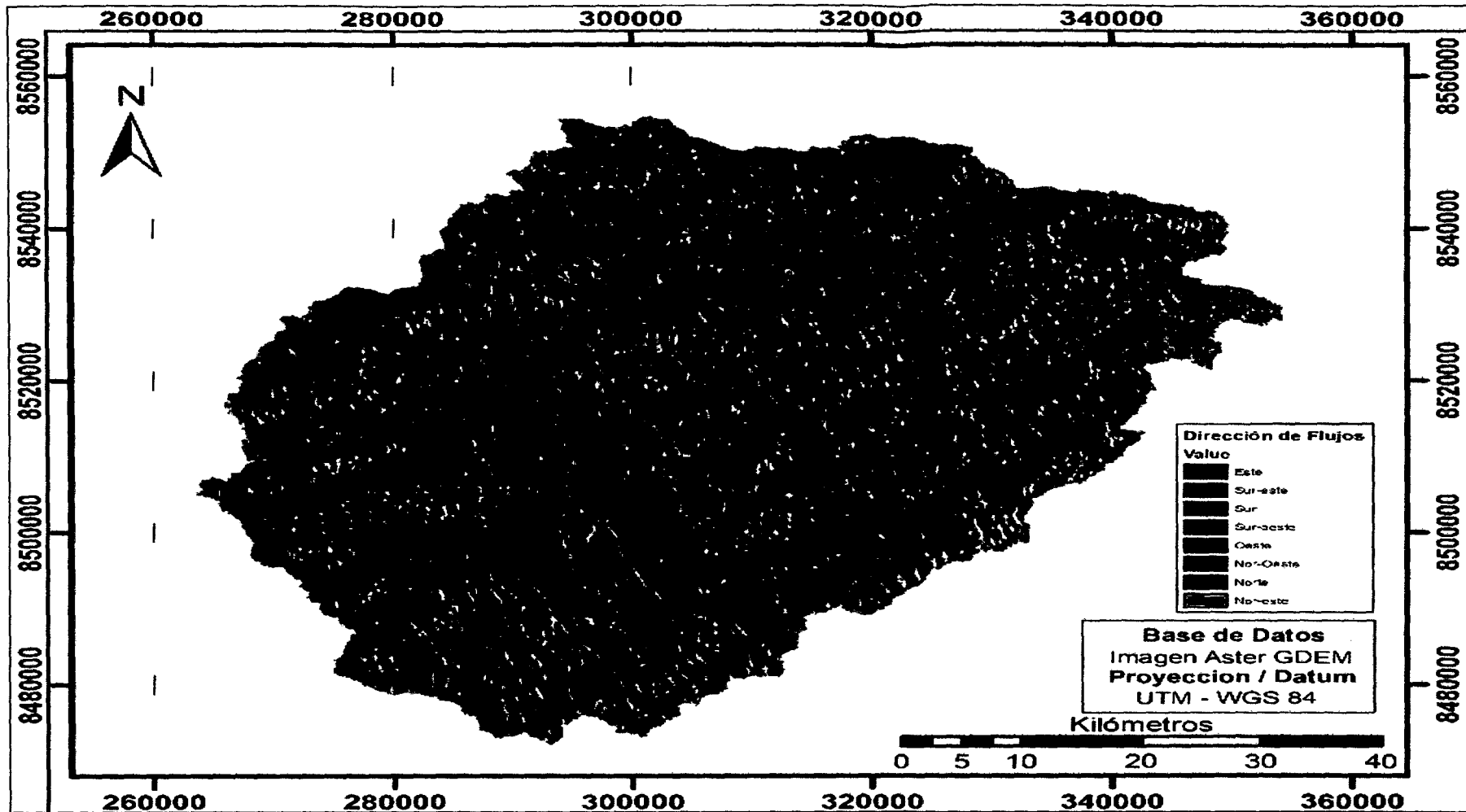
Elaboración del Modelo de Dirección de Flujo y Flujo Acumulado

Concluido el relleno de sumideros, el nuevo DEM (Modelo de Elevación Digital GDEM ASTER) debería tener continuidad hidrológica, por lo que es posible definir las direcciones de flujo a través de la herramienta “Flow Direction” (Terrain Preprocessing/Flow Direction). Este modelo, representa la dirección hacia la que drenaría un determinado volumen de agua de una celda en función del valor de cota que toma cada píxel circundante del MDE. Para ello, en primer lugar fue necesario realizar el Modelo de Direcciones de Flujo y, a partir de él, se genera el Modelo de Flujo Acumulado (Terrain Preprocessing/Flow Accumulation) el cual, calcula el número de celdas que vierten a cada celda.

Punto de Desembocadura

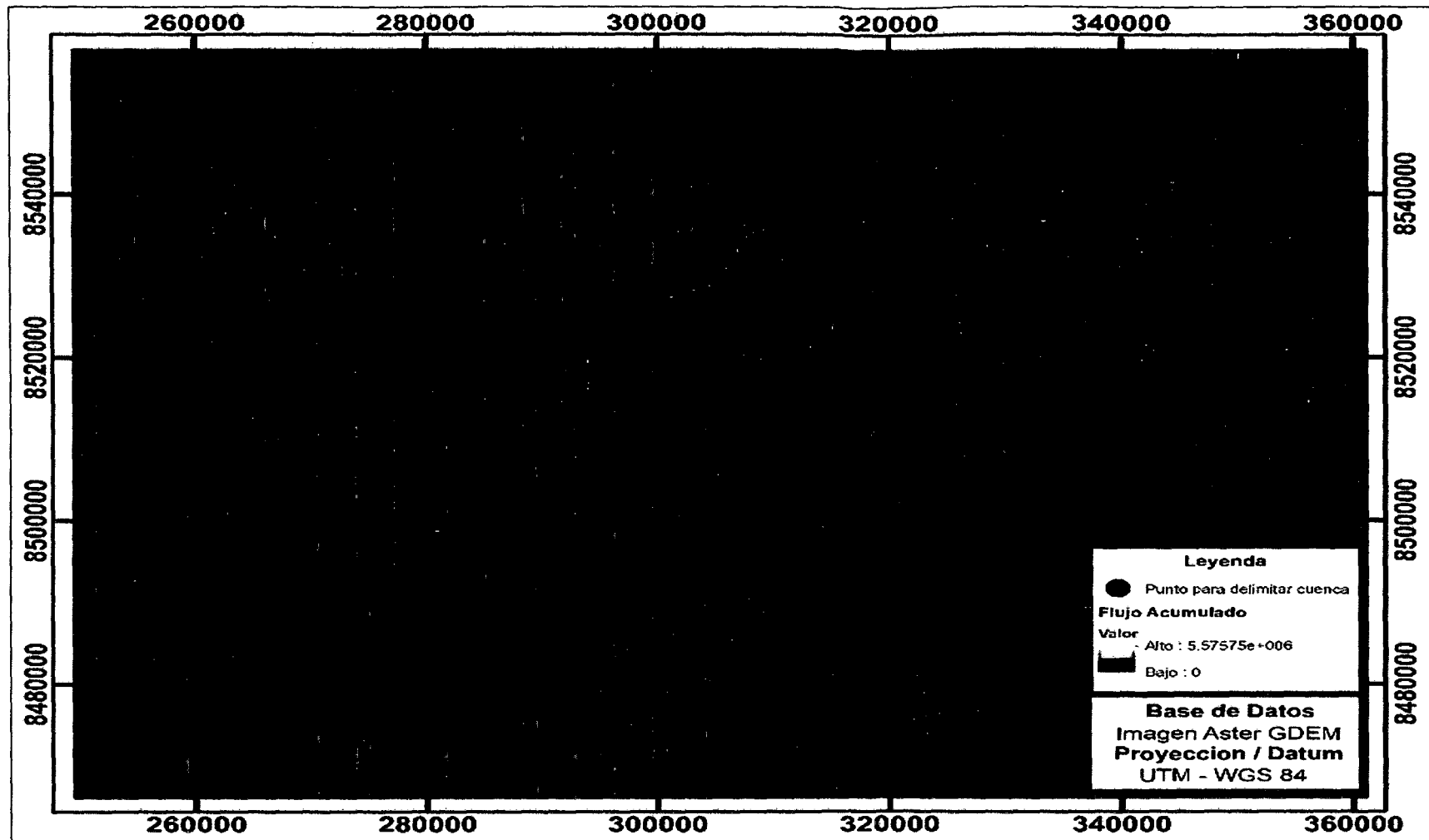
A partir del modelo de Direcciones de Flujo y utilizando el SIG se puede definir la cuenca hidrográfica del Arasá. Para ello es necesario crear un shape de puntos, con un único punto que representa la desembocadura del río.

Figura19: Dirección de flujos



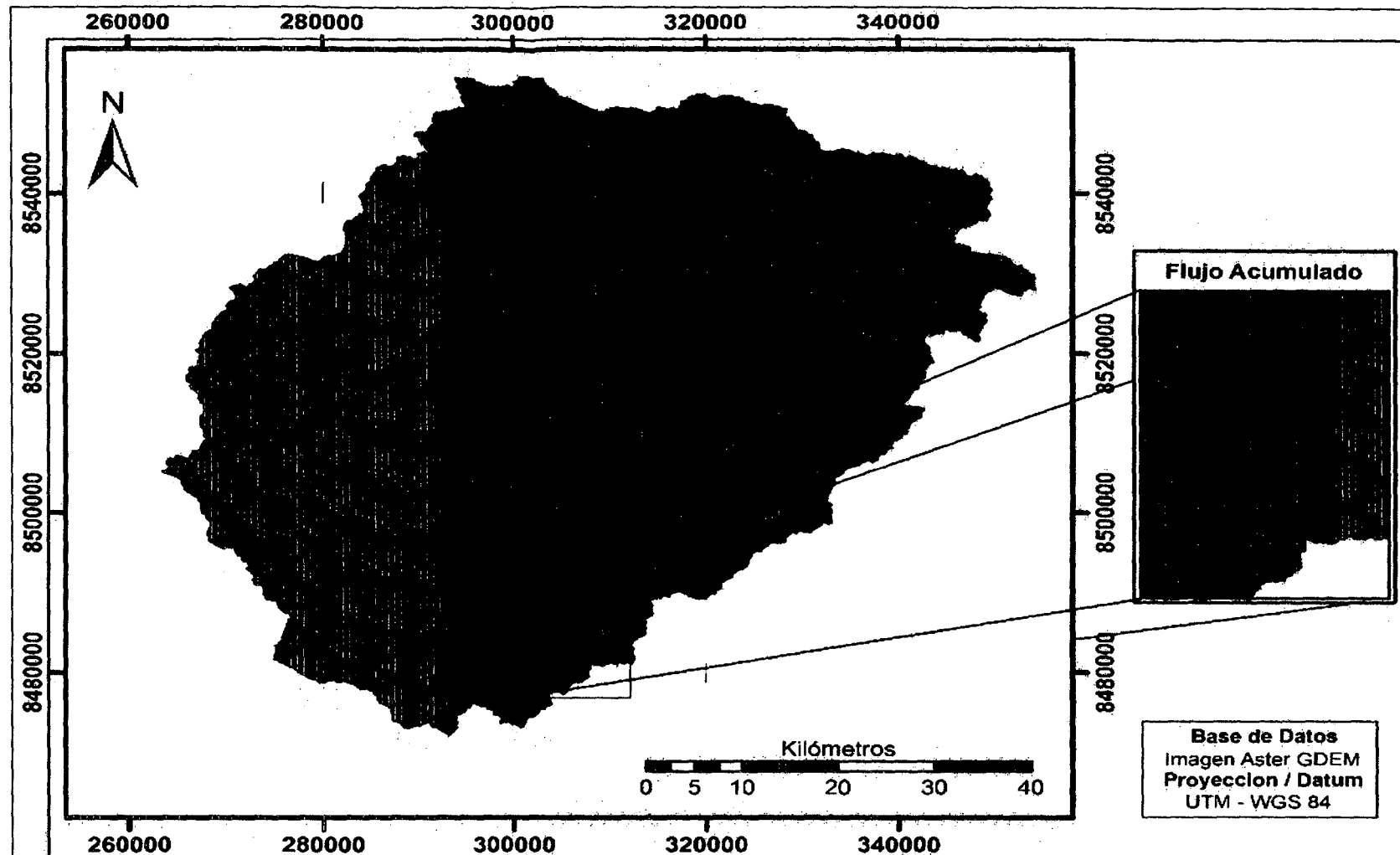
Fuente: Elaboración propia (2015)

Figura 20: Flujo acumulado



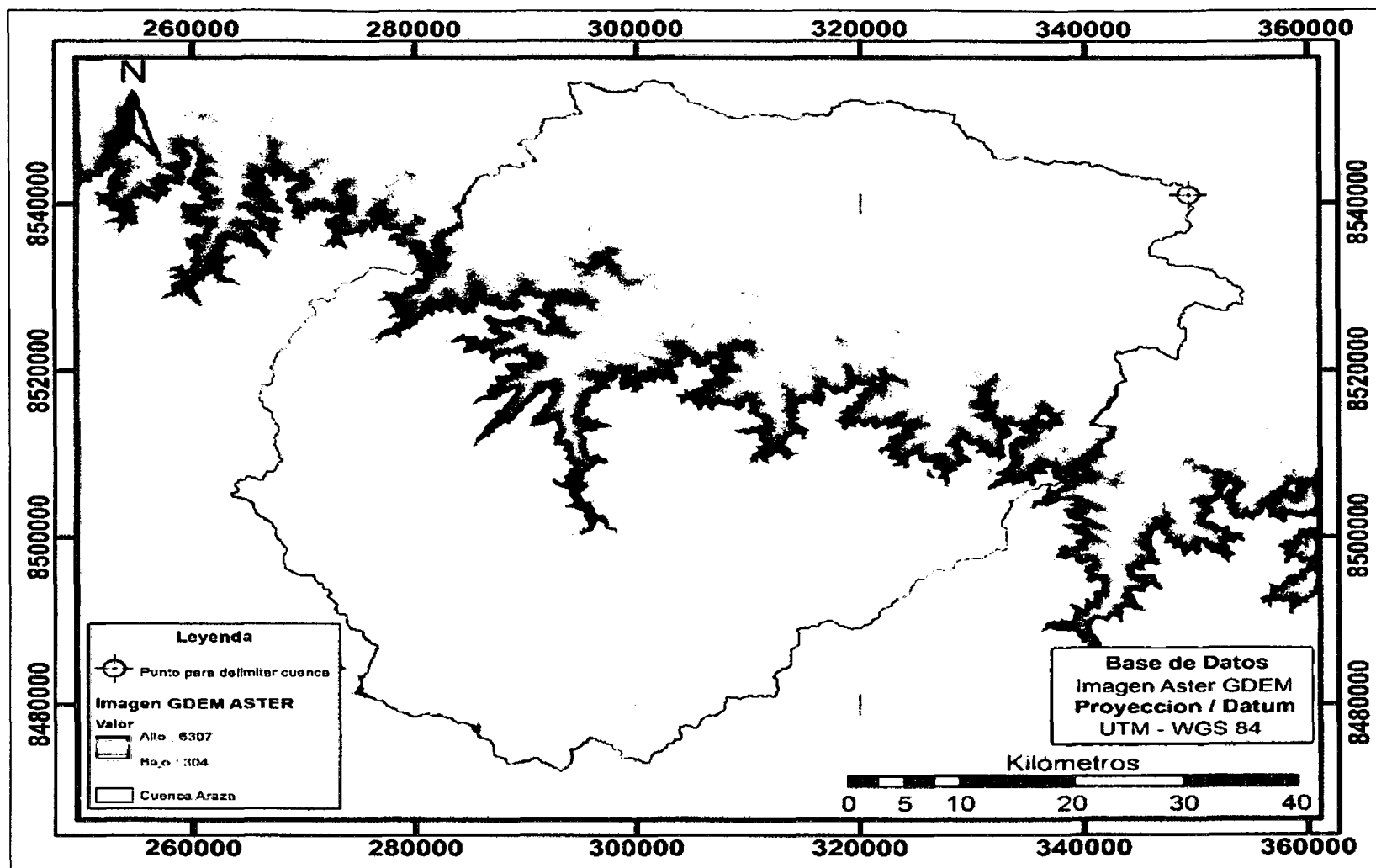
Fuente: Elaboración propia (2015)

Figura 21: flujo acumulado



Fuente: Elaboración propia (2015)

Figura 22: Cuenca delimitada mediante ArcHydro.



Fuente: Elaboración propia (2015)

3.2. Parámetros de Forma

Tabla 13: Características morfométricas de la subcuenca hidrográfica Arasá

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS	PROYECTO ARASÁ	IDENTIFICACIÓN Y FÓRMULA
Área (km ²)	4555.28	A
Perímetro(Km.)	364.22	P
Cota Máxima(m.s.n.m)	6034.00	C _{max}
Cota Mínima(m.s.n.m)	416.00	C _{min}
Desnivel entre curvas de nivel (Km)	0.03	D _{cn}
Longitud total de curvas de nivel (Km)	78069.53	L _{cn}
Elevación Media(m.s.n.m)	2445.22	ELV _m
Longitud de la cuenca o río Principal (Km.)	151.22	L
Longitud Máxima de la cuenca	95.39	L _{max}
Desnivel Máximo(m)	5618.00	D = C _{max} - C _{min}

Fuente: Elaboración Propia 2014.

3.2.1. Área.

El área de la subcuenca hidrográfica Arasá tiene un área total de 4555.28 km² por lo que es considerada como una cuenca grande por lo que tiene mayor capacidad de coleccionar agua, los parámetros como el ancho, largo sirvieron para calcular posteriormente los datos morfométricos.

3.2.2. Perímetro.

El perímetro de la subcuenca hidrográfica Arasá es de 364.22 km, este parámetro por sí solo no nos da ningún tipo de información respecto al tamaño o forma de la cuenca; solo si comparamos cuencas de igual superficie, el valor del perímetro podrá darnos una idea de su forma, el perímetro y la forma de la cuenca están íntimamente relacionados con la litología y edad de la cuenca de drenaje, materiales blandos darán forma 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 implica mayor desarrollo (Campos, 1992).

3.2.3. Ancho promedio (Ap) (km).

$$AP = \frac{A}{La} = 30.12 \text{ km}$$

El ancho promedio resultante de la subcuenca hidrográfica Arasá es de 30.12 km, el cual fue calculada con la ayuda del (SIG), sistema de información geográfica.

3.2.4. Factor de forma (IF).

$$R_f = \frac{A}{L_m^2} = 0.20$$

El factor forma es un índice que permite establecer la tendencia morfológica general en función de la longitud axial, de la cuenca, y de su ancho promedio. Obteniendo 0.20 el factor de forma de la subcuenca hidrográfica Arasá, siendo un valor inferior a 1, se determina por lo tanto que es una cuenca de forma oval oblonga a rectangular oblonga indica un menor tiempo de concentración de la cantidad de agua dentro del área de la cuenca (Jardí, 1985).

3.2.5. Coeficiente de Compacidad o índice de Gravelius (Kc).

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = \frac{0.28P}{\sqrt{A}} = 1.52$$

El coeficiente de compacidad obtenido mediante la aplicación de la fórmula de Gravelius es de 1.52, por lo tanto muestra que la subcuenca hidrográfica Arasá, es de tipo. Clase III de forma oval oblonga a rectangular oblonga, lo que significa que el tiempo de concentración es mayor, es decir que la susceptibilidad a crecidas es mínima (Campos, 1992).

3.2.6. Relación de circularidad (Rci).

$$Rci = \frac{4 \pi A}{P^2} = 0.43$$

Este coeficiente es la relación entre el área de la cuenca y la del círculo cuya circunferencia es igual al perímetro de la cuenca, si la relación de circularidad tiene un valor unitario, significa que la cuenca presenta una forma circular, cuando es cuadrada su valor será 0.785. Para conocer la relación de circularidad del área de estudio, se introdujeron los datos de la cuenca en la formula habiendo obtenido previamente el perímetro, utilizando la herramienta "Integrated Water Management" que es una extensión para el análisis hidrológico en el software IDRISI Selva 17.0, se determinó que es una subcuenca de forma oval oblonga a rectangular.

3.2.7. Razón de Elongación (Re)

$$R_e = \frac{D}{L_m} = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{L_m} = 0.80$$

La razón de elongación de la subcuenca hidrográfica Arasá se evaluó mediante el índice propuesto por Schumm, aplicando la formula se obtuvo 0.80, este resultado de la razón de elongación implica un balance interesante para la subcuenca hidrográfica Arasá, ya que esta cuenca no presenta una marcada redondez ni destaca tampoco por la elongación, en este caso para la subcuenca Arasá, el valor calculado para la elongación es probablemente un valor medio que parece estar enmascarado por dos situaciones distintas. En la parte alta de la cuenca tiende a tener una forma redondeada, mientras que en la parte media y baja tiende a presentar mayor elongación, presentando características de cuencas con pronunciadas pendientes.

3.2.8. Altura media (h)

$$h = \frac{H_{max} - H_{min}}{2} = 2809 m$$

3.2.9. Pendiente Media de la Cuenca

Criterio de Alvord

$$Sc = \frac{D * L}{A} = 0.51$$

3.2.10. Rectángulo Equivalente

$$\frac{L}{\sqrt{A}} = \frac{Kc}{1.12} + \sqrt{\left(\frac{Kc}{1.12}\right)^2 - 1} \rightarrow L = 153.79 km$$

$$\frac{l}{\sqrt{A}} = \frac{Kc}{1.12} - \sqrt{\left(\frac{Kc}{1.12}\right)^2 - 1} \rightarrow l = 29.62 \text{ km}$$

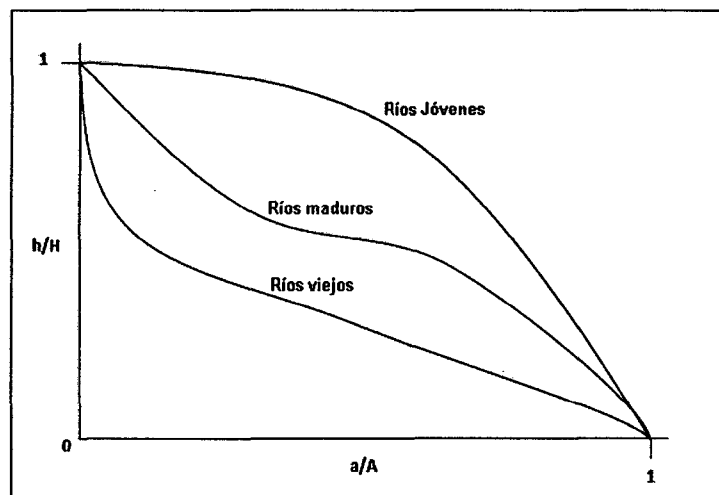
Este índice compara la influencia de las características de la cuenca sobre la escorrentía, la cual se asimila la cuenca en un rectángulo que tenga el mismo perímetro y superficie, y por lo tanto igual coeficiente de Gravelius (Kc), así las curvas de nivel se transformarían en rectas paralelas al lado menor del rectángulo, para su construcción se toma un rectángulo con área igual en la cuenca, tal que el lado menor sea (l) y el lado mayor sea (L).

3.3. Parámetros de relieve

Curva hipsométrica (CH).

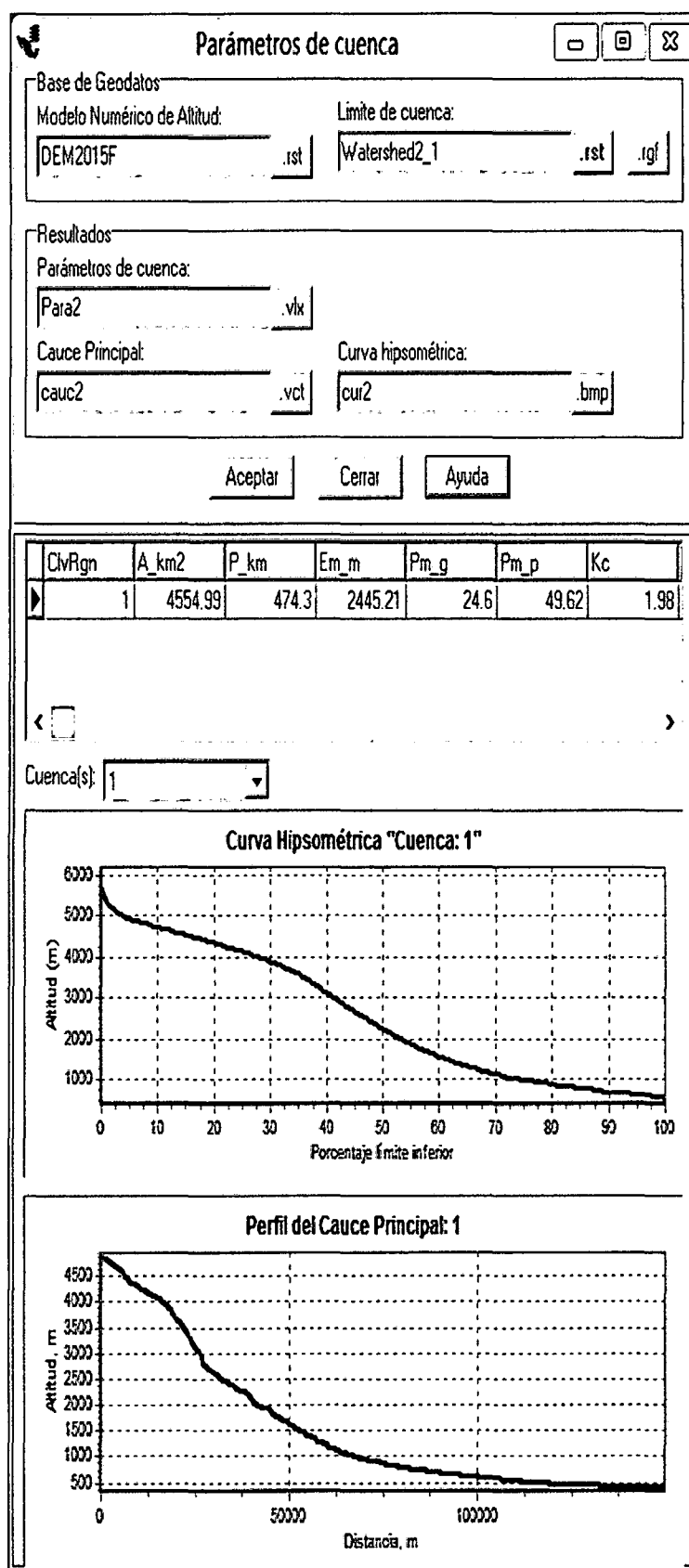
Según el estadio de evolución de las cuencas las curvas muestran diferencias entre la sinuosidad y la proporción de área bajo la curva. Según esto Strahler (1952) correlaciona curvas hipsométricas convexas con estadios jóvenes, curvas con forma de S con estadios intermedios y curvas cóncavas con estadios últimos de evolución (Figura 38).

Figura 23: Relación entre la curva hipsométrica y el estado de evolución de la cuenca (Strahler, 1952).



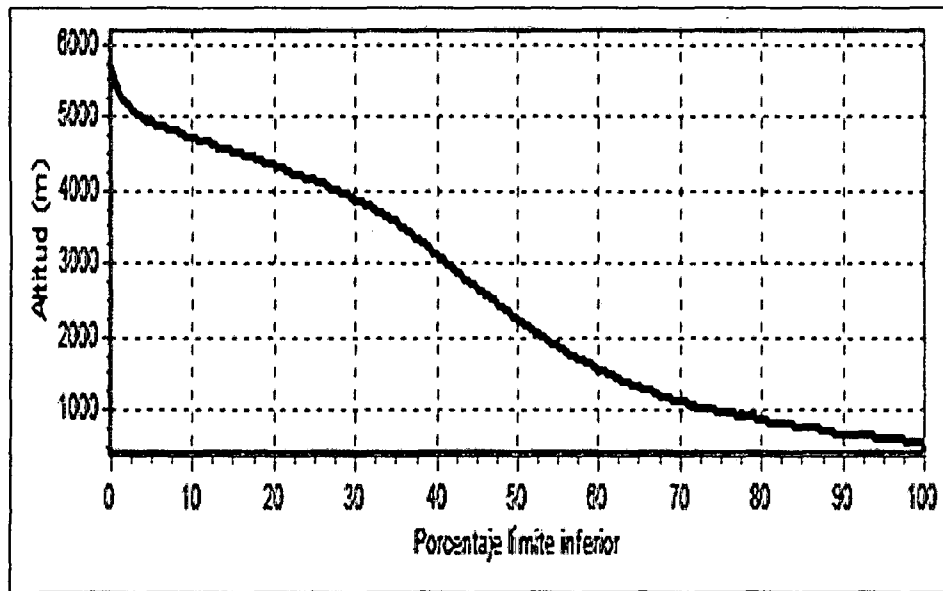
La curva Hipsometrica de la subcuenca hidrográfica arasá se determinó utilizando la herramienta “Integrated Water Management” que es una extensión para análisis hidrológicos en el software IDRISI Selva 17.0.

Figura 24: Resultados del análisis en IDRISI Selva 17.0.



Fuente: IDRISI Selva 17.0.

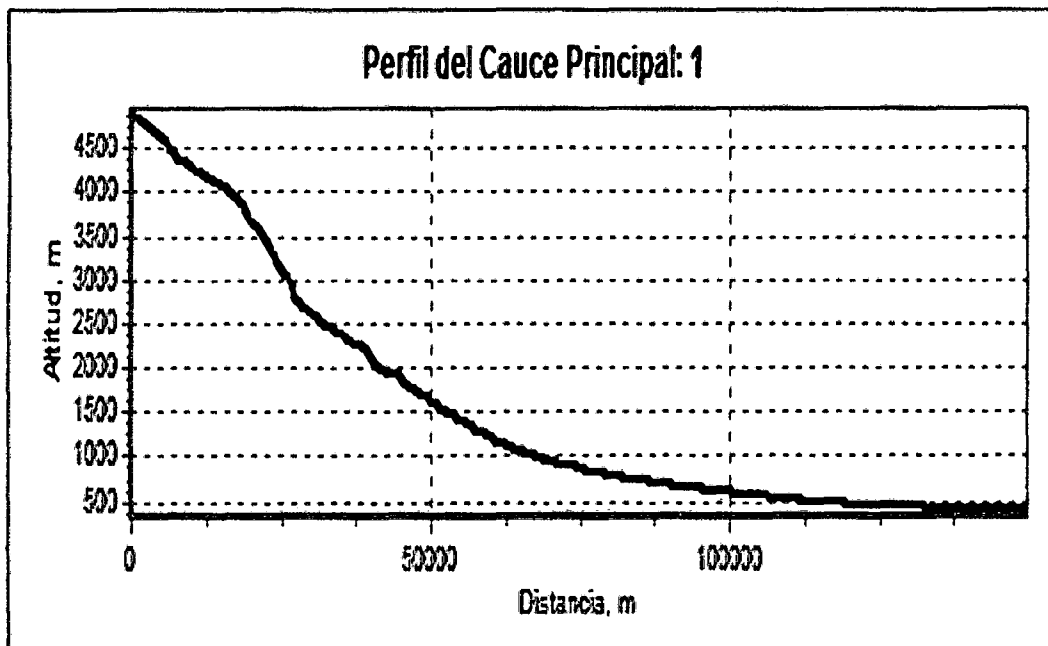
Figura 25: Curva Hipsométrica de la Cuenca



Fuente: IDRISI Selva 17.0.

Según Strahler (1952), en lo anterior citado, de acuerdo con la forma de la curva hipsométrica, en este caso de tendencia en forma de S ligeramente cóncava, se habla de un río maduro.

Figura 26: Pendiente Media de la subcuenca hidrográfica Arasá



Fuente: IDRISI Selva 17.0.

Pendiente media de la cuenca (PM).

$$PM = 51.41\%$$

Según a los resultados de la pendiente media de la subcuenca hidrográfica arasá, esta presenta riesgo de desplazamiento de las capas del suelo o deslizamientos de tierra por la marcada pendiente, se supone una cuenca con *fuerte pendiente*, esta condición contribuirá a tener impactos negativos relevantes en la cuenca ante eventos de lluvias intensas y fuertes avenidas y por las características del perfil longitudinal de la cuenca (Saavedra, 2001).

Figura 27: Clasificación de la subcuenca hidrográfica arasá según el perfil transversal de la cuenca

		
PARTE ALTA DE LA CUENCA	PARTE MEDIA DE LA CUENCA	PARTE BAJA DE LA CUENCA
❖ Naciente, quebrada chumpe, la cual desemboca a la quebrada, tillpa, quebrada marcapata. ❖ Forma en “V” confinado y / o asociado a fallas. ❖ Relieves elevadas, las pendientes de fondo del valle superan el 51.41%. ❖ Morfología muy pendientes, y frecuentes en terrenos de prudencia glacial.	❖ Desde la desembocadura chumpe hasta la desembocadura de la quebrada tillpa. ❖ Tipo “G”, encajado, estrecho y profundo (relación $w/D < 12$) con morfología de lecho fluvial de tipo salto y pozo. ❖ Las pendientes del canal son generalmente abruptas de 2% a 4%.	❖ Desde la desembocadura de la quebrada tillpa, hasta su desembocadura. ❖ Tipo C3, sinuosidad, bajo relieve del canal, llanuras de inundación bien desarrolladas y barras o playas en el canal activo. ❖ Sinuosidad media = 1.44 ❖ Encajamiento $> 2,2$.

Fuente: Gregorio Huamán, Y.2015.

3.4. Parámetros de red de drenaje

Densidad de drenaje.

Se define como la longitud total de los cauces dentro de una cuenca, dividida por el área total de drenaje (1/km). Valores altos de densidad de drenaje reflejan generalmente áreas con suelos fácilmente erosionables o relativamente impermeables, con pendientes fuertes y escasa cobertura vegetal. Las densidades de drenaje bajas ocurren en sitios donde los materiales del suelo son resistentes a la erosión o muy permeables y la pendiente es baja, este número expresa la capacidad para desalojar un volumen de agua dado.

Una densidad alta refleja una cuenca muy bien drenada, por lo que responde rápido al influjo de la precipitación; una cuenca con baja densidad refleja un área pobremente drenada con respuesta hidrológica muy lenta. Los valores oscilan entre 5 km de canal por km² en piedra arenisca, permeable y resistente a la erosión, y 500 km/km² en tierras arcillosas, impermeables y muy erosionables. La escorrentía y el caudal máximo aumentan considerablemente con la densidad de drenaje.

Este es un índice importante, puesto que refleja la influencia de la geología, topografía, suelos y vegetación, en la cuenca hidrográfica, y está relacionado con el tiempo de salida del escurrimiento superficial de la cuenca.

Una densidad de drenaje alta, refleja una cuenca muy bien drenada que debería responder, relativamente rápido, al influjo de la precipitación. Una cuenca con baja densidad de drenaje refleja un área pobremente drenada, con respuesta hidrológica muy lenta.

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

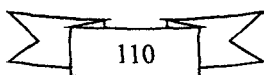
Dónde:

Dd: Densidad de drenaje por Km.

A: Área total de la cuenca en Km².

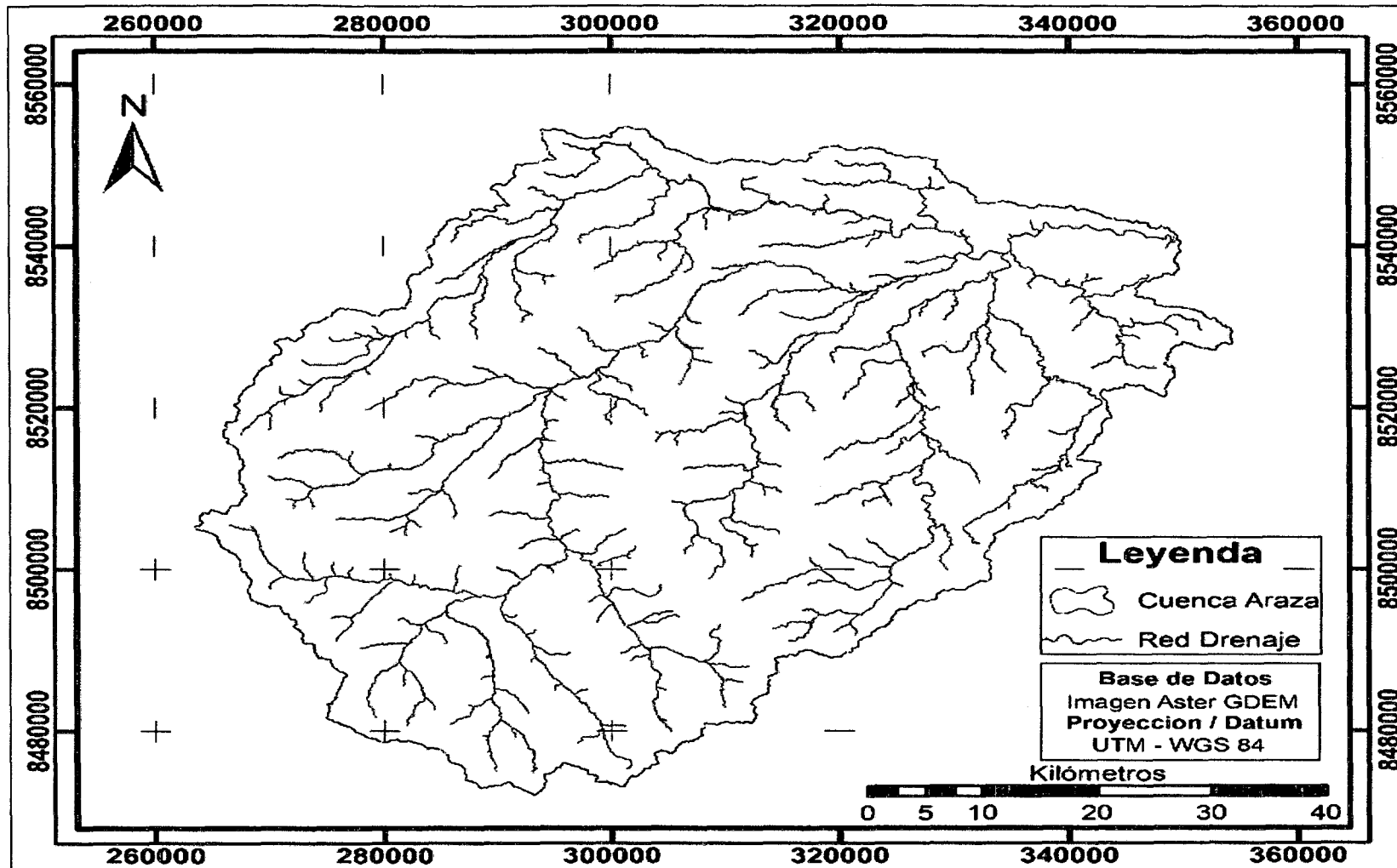
L: Longitud total de las corrientes perennes e intermitentes en la cuenca en km.

$$Dd = \frac{95.39 \text{ km}}{4555.28 \text{ km}^2} = 0.36$$



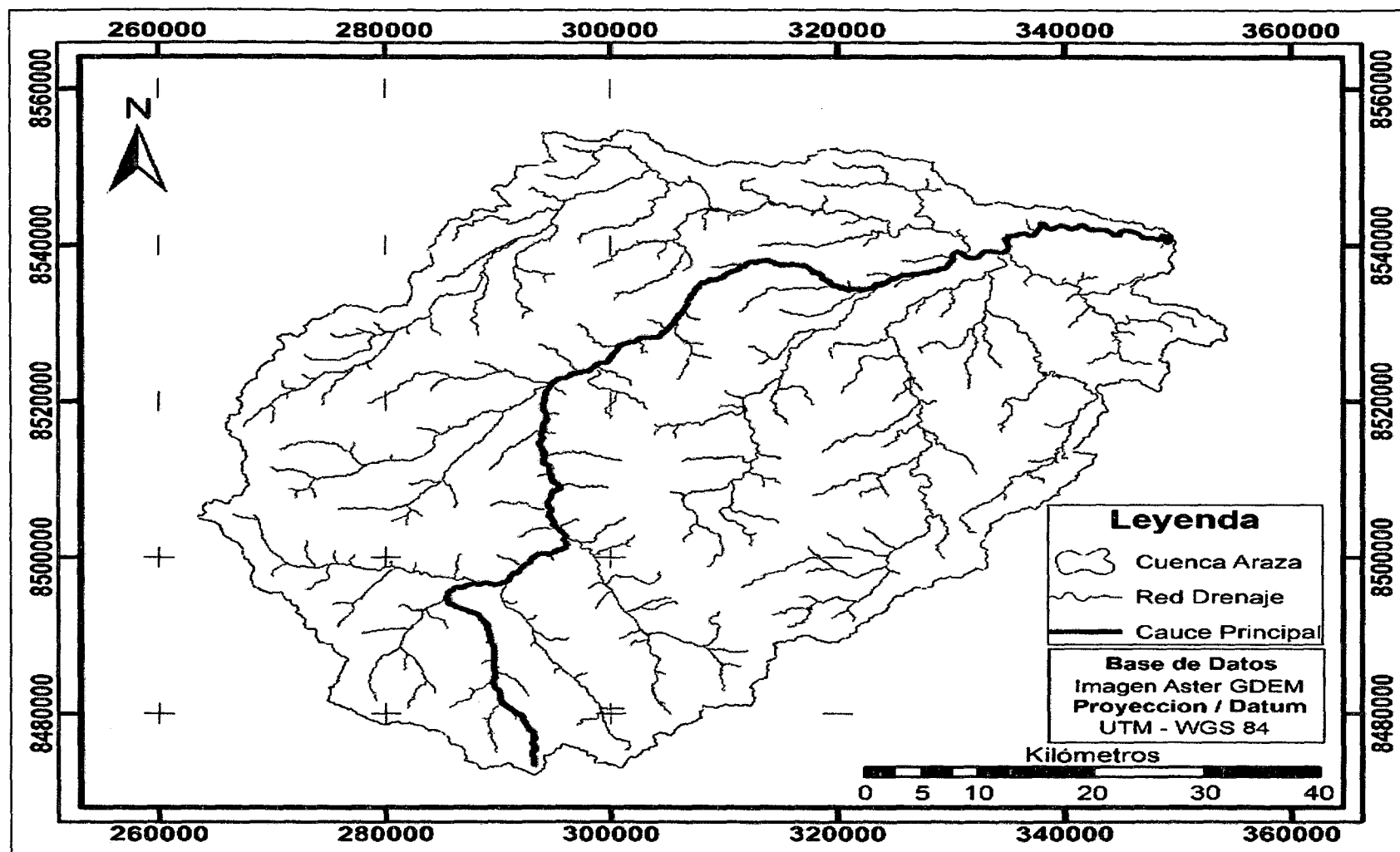
Si la densidad de drenaje $Dd = 0.36$, quiere decir que subcuenca hidrográfica Arasá tiene una densidad de drenaje de clase baja, refleja un área pobremente drenada con respuesta hidrológica muy lenta. En sitios en donde los materiales del suelo son resistentes a la erosión o muy permeables y donde el relieve es bajo, ocurren densidades de drenajes bajas.

Figura 28: Red de Drenaje



Fuente: Elaboración propia (2015)

Figura 29: Cauce principal determinado mediante la herramienta "Integrated Water Management" de IDRISI Selva 17.



Fuente: Elaboración propia (2015)

Tiempo de concentración (Tc).

$$Tc = 4.08 \text{ horas}$$

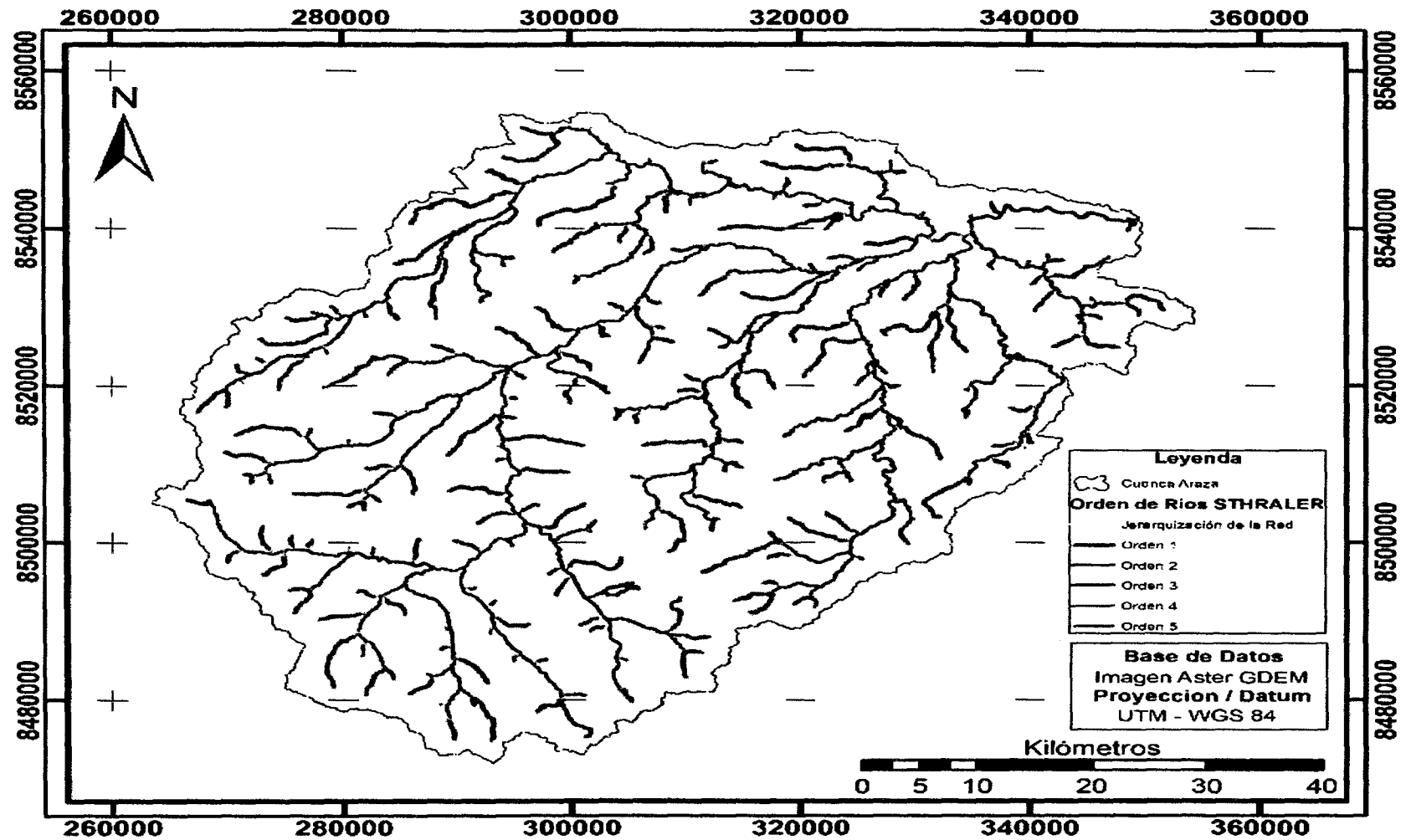
Es el tiempo de viaje de una gota de agua para fluir, desde el punto más lejano de la cuenca hasta el punto de salida de la cuenca, la escorrentía producida en zonas más alejadas de dicha sección, dependen del espacio recorrido (longitud y forma de la cuenca) y de la velocidad de las escorrentías (altura de la escorrentía, pendiente de la cuenca, y del cauce principal, rugosidad de la superficie, en función a la vegetación).

El $Tc = 4.08$ horas, valor que indica una significativa escorrentía, superficial, tiempo que variara según las características de cobertura del suelo, en diferentes momentos. El tiempo de concentración es el que tardaría teóricamente, en llegar a la desembocadura una crecida propiciada por una precipitación situada, en el extremo más alejado de la subcuenca hidrográfica Arasá, el tiempo de concentración tiene gran importancia hidrológica debido a que depende del grado de intervención humana a la cuenca. La compactación de los suelos y las canalizaciones, de los cauces fluviales por un lado reducen considerablemente el tiempo de concentración y por otra parte facilitan la concentración más rápida de escorrentía (formación de avenidas). Según Cuesta (2001).

Número de Orden de los cursos de agua

A través de la herramienta "Stream order" (Spatial Analyst Tools/Hidrology/Stream Order) se ha jerarquizado la red de drenaje correspondiente con la subcuenca hidrográfica Arasá. Al cauce principal le corresponde un orden igual a 5 según el método de Strahler.

Figura 30: Jerarquización de la red de drenaje de la Cuenca Arasá según Strahler



Fuente: Elaboración propia (2015)

3.5. Parámetros Hidrológicos

Análisis Hidrológico de la Subcuenta Hidrográfica Arasá

Análisis de la información pluviométrica.

1. Se parte de los registros de precipitación máxima para 24 horas de la estación Quincemil que representan las lluvias de la cuenca.

En el cuadro 1 se muestra la precipitación máxima para 24 horas.

Tabla 14: Estación de Quincemil

Años	Precipitación
1965	230.8
1966	155
1967	192
1968	264.2
1969	206.5
1970	187.3
1971	130.2
1972	270
1973	270
1974	200
1975	175.4
1976	183.8
1977	276.2
1998	172.2
1999	224
2000	198.9
2001	175.4
2002	160
2003	235.5
2004	136.6
2005	137
2006	153.7
2007	243.9
2008	236.6
2009	252.4
2010	141.6
2011	146.2
2012	240.8
2013	263.6

2. Ingresamos los datos y creamos un archivo para poder usarlo con otras Distribuciones, trabajamos con la estación Quincemil:

Distribuciones → Normal → Insertamos Datos → Crear Archivo

SOFTWARE HIDROESTA

Ajuste de una serie de datos a la distribución normal

Ingreso de datos:
Nota: Una vez que digite el dato, presionar ENTER

N°	X
17	175.4
18	160.0
19	235.5
20	136.6
21	137.0
22	152.7
23	243.8
24	238.8
25	252.4
26	141.6
27	146.2
28	240.8
29	263.6

Parámetros de diseño:
 Caudal (Q): m³/s
 Período de retorno (T): años
 Probabilidad (P): %
 Q=(T) T=(Q) P=(Q) P=(Q)

Parámetros distribución normal:
 Con momentos ordinarios:
 De la distribución (Q):
 De escala (S):
 Con momentos lineales:
 Media lineal (Q):
 Des. Estándar (S):

Tipo de ajuste:
☒ Momentos ordinarios
☐ Momentos lineales

Nivel significación:
☐ 0.20
☐ 0.10
☒ 0.05
☐ 0.01

Ajuste:

Archivos y resultados:

Ponemos nombre: Lluvias Máxima 24h Quincemil y guardamos.

3. Averiguamos si la serie de datos de la estación Quincemil se ajustan a una Distribución Normal.

Para Cargar el archivo hacemos la siguiente secuencia:

Distribucion → Normal → Accesar → **Lluvias Máxima 24h Quincemil** → Abrir

Seleccionar el archivo a cargar

Equipo > Disco local (C:) > HidroEsta

Organizar Nueva carpeta

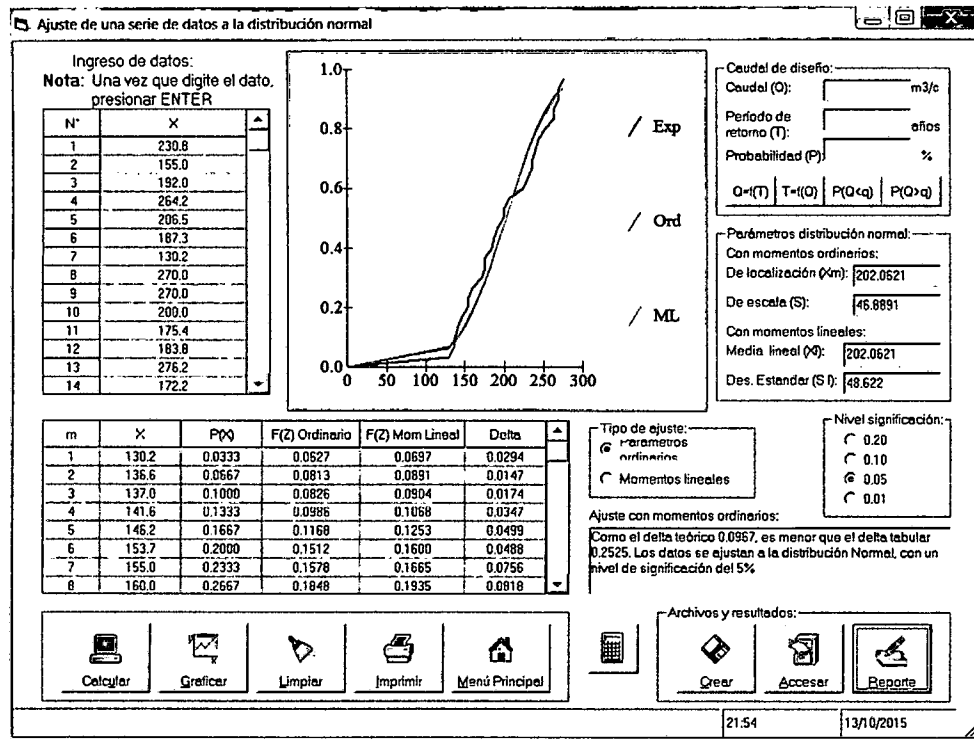
Nombre

- Ejemplo301.X
- Ejemplo302.X
- Ejemplo303.X
- Ejemplo311.X
- Ejemplo312.X
- Ejemplo313.X
- Ejemplo314.X
- Ejemplo315.X
- Ejemplo316.X
- Ejemplo317.X
- Ejemplo318.X
- Lluvias Máxima 24h Quincemil.X**

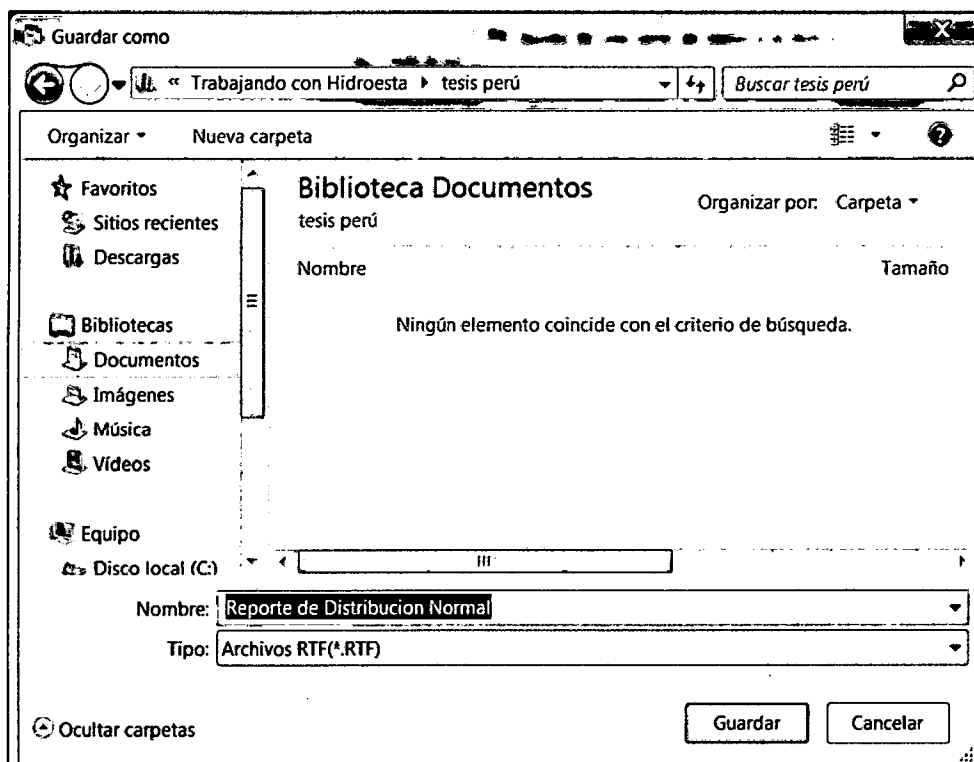
Nombre: Lluvias Máxima 24h Quincemil.X

Valores X

Hacemos click en abrir y nos resulta una ventana como esta, donde ahora damos click en calcular y graficar:



Podemos hacer también un reporte de datos haciendo click en reporte y guardamos en un formato compatible con Word.



4. Trabajamos con la Estación Quincemil pero con otras distribuciones y capturamos las pantallas para luego resumir resultados en una tabla:

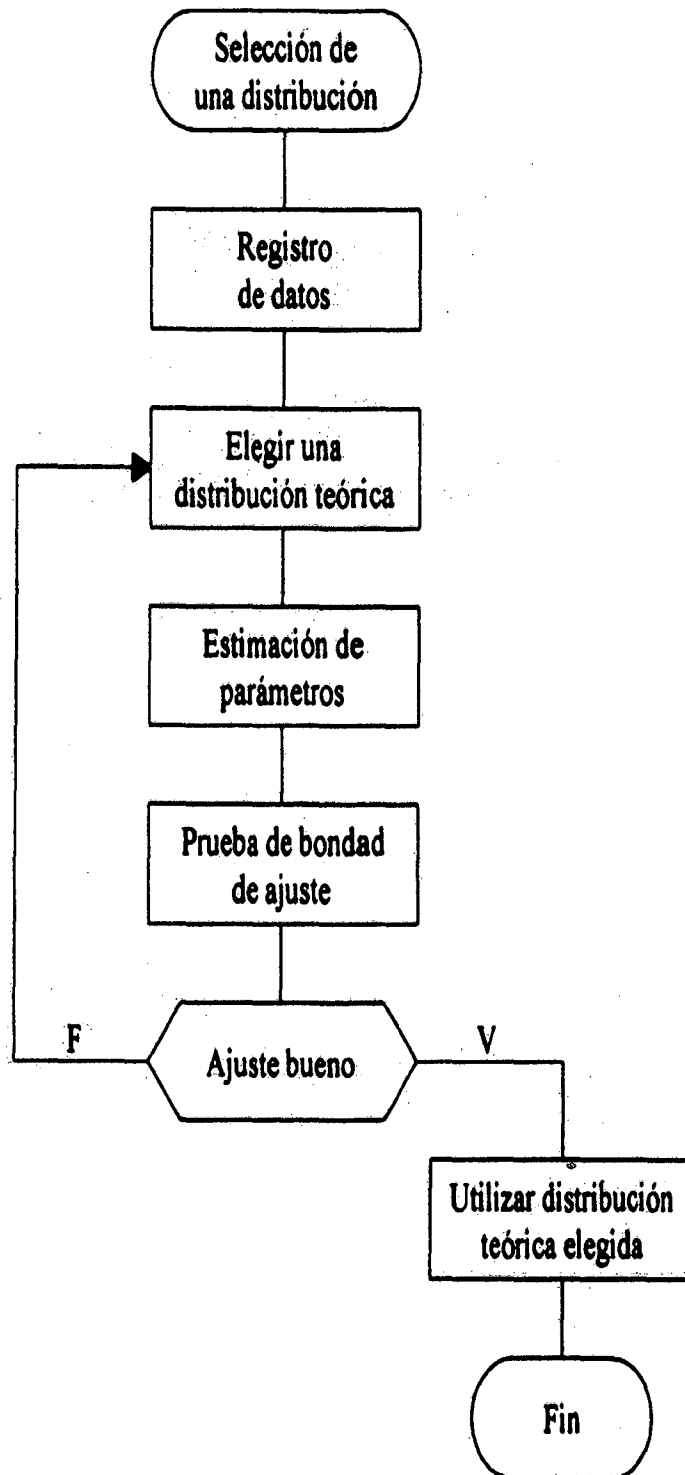
Para llamar al archivo → **Lluvias Máxima 24h Quincemil:**

Distribuciones → Log Normal de 2 Parámetros → Accesar



Evaluar si una serie de datos se ajustan a una serie de distribuciones: normal, log-normal de 2 y 3 parámetros, gamma de 2 y 3 parámetros, log-Pearson tipo III, Gumbel y log-Gumbel, tanto con momentos ordinarios, como con momentos lineales. Si la serie de datos se ajusta a una distribución, permite calcular por ejemplo caudales o precipitaciones de diseño, con un período de retorno dado.

Todos los cálculos anteriores pueden resumirse en el siguiente diagrama de flujo.



1. **Selección de una distribución.-** En la estadística existen diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas; recomendándose utilizar la distribución Normal.

2. **Registro de datos.-** Se ingresamos los datos y creamos un archivo para poder usarlo con otras Distribuciones, trabajamos con la estación Quincemil: Distribuciones →Normal→Insertamos Datos→Crear Archivo.
3. **Elegir una distribución teórica.-** Averiguamos si la serie de datos de la estación Quincemil se ajustan a una Distribución Normal. Para Cargar el archivo hacemos la siguiente secuencia: Distribución→Normal→Accesar→ Lluvias Máxima 24h Quincemil →Abrir.
4. **Estimación de parámetros.-** Se trabajó con la Estación Quincemil pero con otras distribuciones y capturamos las pantallas para luego resumir resultados en una tabla: Para llamar al archivo→**Lluvias Máxima 24h Quincemil**: Distribuciones →Log Normal de 2 Parámetros→Accesar, Calculamos la distribución Log Normal de 2 Parámetros: Distribuciones →Log Normal de 2 Parámetros→ Lluvias Máxima 24h Quincemil→Calcular→Grafica.
5. **Prueba de bondad de ajuste.-** Consiste en comparar las diferencias existentes entre la “PROBABILIDAD EMPÍRICA DE LOS DATOS DE LA MUESTRA” y la “PROBABILIDAD TEÓRICA”, tomando el valor máximo del valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor de la recta teórica del modelo.
6. **Ajuste bueno.-** el ajuste bueno para darle más precisión a los datos, que serán procesados.
7. **Utilizar la distribución teórica elegida.-** la distribución elegida que más se ajusta es la distribución Normal.

Tabla 15: Resumiendo los valores anteriores

ESTACIÓN QUINCÉMIL		
Tr (años)	Probabilidad de No Ocurrencia	P24(mm)
2,2	0,545	207,4
5	0,8	241,52
10	0,9	262,16
20	0,95	279,2
25	0,96	284,17
50	0,98	298,38
100	0,99	311,16
200	0,995	322,86
500	0,998	337,03

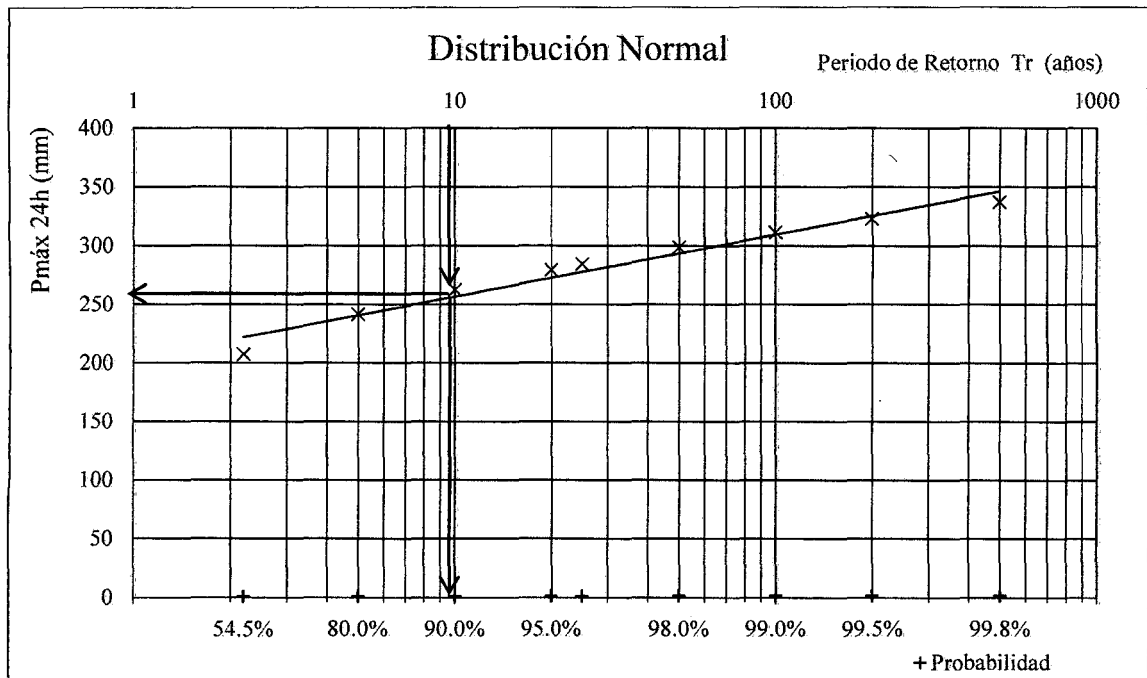
Fuente: Elaboración Propia 2015.

Figura 31: Estación Climatologica Quincemil



Foto: Gregorio Huamán Y, (2014)

Diagrama de distribución Normal de la subcuenca hidrográfica Arasá



Fuente: Elaboración propia 2015.

Interpretación:

- ❖ 1 - 10 - 100 - 1000: son los años de cálculo en escala logarítmica de tiempo.
- ❖ 0 - 50 - 100 - 150 - 200 - 250 - 300 - 350 - 400: son las alturas de precipitación en milímetros. Calculados con la distribución ke, presento mejor ajuste.
- ❖ + Probabilidad: es el porcentaje de probabilidad.

En esta curva podemos interpretar que puede presentarse una precipitación de diseño de $P=262.16$ mm para un periodo de retorno de 10 años, Con una probabilidad de no ocurrencia del 90%, que es una recomendación tomada del libro de diseño de estructuras hidráulicas del PHD Máximo Villón.

Esta precipitación será considerada más adelante para el cálculo del caudal sobre la subcuenca hidrográfica Arasá.

Tabla 16: Periodos de retorno sugeridos por Máximo Villón

Tipo de estructura	Periodo de Retorno (años)
Puente sobre carretera importante	50 – 100
Puente sobre carretera menos importante o alcantarillas sobre carretera importante	25
Alcantarillas sobre camino secundario	5 – 10
Drenaje lateral de los pavimentos, donde puede tolerarse encharcamiento con lluvia de corta duración	1–2
Drenaje de aeropuertos	5
Drenaje urbano	2 – 10
Drenaje Agrícola	5 – 10
Muros de encauzamiento	2 – 50

Fuente: Villón 2002.

Calculo del caudal de drenaje para la cuenca del Arasá

Para obtener la ecuación del caudal se utilizará la metodología del Soil Conservation Service, desarrollada en los Estados Unidos después de haber observado muchas cuencas, este método estima la escorrentía producida por la precipitación máxima en 24h, en este caso para un periodo de retorno de 10 años, con base en la relación que existe entre la humedad antecedente y el complejo sistema suelo cobertura.

Para el empleo de este método seguimos los siguientes pasos:

1. A partir de las observaciones de los suelos, los mapas del área de estudio y de las visitas técnicas a la zona, utilizamos estas tablas para definir el número de curva CN=77.

Tabla 17: Curvas número (CN) para complejos suelo cobertura en Cuencas en condición de humedad media.

USO DEL SUELO O CUBIERTA	TRATAMIENTO O PRÁCTICA	Condición Hidrológica	Grupo de suelo Hidrológico			
			A	B	C	D
Barbecho	Surco recto	Mala	77	86	91	94
Cultivos en surcos	Surco recto	Mala	72	81	88	91
	Surco recto	Buena	67	78	85	89
	En contorno	Mala	70	79	84	88
	En contorno	Buena	65	75	82	86
	En contorno y terraceado	Mala	66	74	80	82
	En contorno y terraceado	Buena	62	71	78	81
Granos pequeños	Surco recto	Mala	65	76	84	88
	Surco recto	Buena	63	75	83	87
	En contorno	Mala	63	74	82	85
	En contorno	Buena	61	73	81	84
	En contorno y terraceado	Mala	61	72	79	82
	En contorno y terraceado	Buena	59	70	78	81
<u>Leguminosas de siembra densa o praderas de rotación</u>	<u>Surco recto</u>	<u>Mala</u>	<u>66</u>	<u>77</u>	85	89
	Surco recto	Buena	58	72	81	85
	En contorno	Mala	64	75	83	85
	En contorno	Buena	55	69	78	83
	En contorno y terraceado	Mala	63	73	80	83
	En contorno y terraceado	Buena	51	67	76	80
Praderas o pastizales	En contorno	Mala	68	79	86	89
		Aceptable	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
		Mala	47	67	81	88
		Aceptable	25	59	75	83
		Buena	6	35	70	79
Praderas (permanente)		Buena	30	58	71	78
Bosques (en predios agrícolas)		Mala	45	66	77	83
		Aceptable	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
Parques, patios			59	74	82	86
Camino de tierra			72	82	87	89
Camino de superficie dura			74	84	90	92

Fuente: Elaboración Propia 2015.

El tipo hidrológico de suelo, se define de acuerdo a su potencial de Escorrentía, y se clasifican cuatro grupos:

- Bajo potencial de Escorrentía : Tipo A.
- Moderadamente bajo potencial de Escorrentía : Tipo B.
- Moderadamente alto potencial de Escorrentía : Tipo C.
- Alto potencial de Escorrentía : Tipo D.

Tabla 18: Grupos de suelos según su potencial de escurrimiento Para el cálculo de la curva número (CN).

GRUPO	DESCRIPCIÓN
A	Bajo potencial de escorrentía. Suelos que tienen altas tasas de infiltración aun cuando están bien mojados, consistentes principalmente en arenas o gravas profundas y bien a excesivamente drenados. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.
B	Moderadamente bajo potencial de escorrentía. Suelos con tasas de infiltración moderadas cuando están bien mojados, moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien a bien drenados, con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas. Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua moderada.
C	Moderadamente alto potencial de escorrentía. Suelos con tasas de infiltración lentas cuando están bien mojados, principalmente con una capa que impide el movimiento hacia abajo del agua, o de textura moderadamente fina a fina y una tasa de infiltración lenta. Estos suelos tienen una tasa lenta de transmisión de agua.
D	Alto potencial de escorrentía. Suelos que tienen tasas de infiltración muy lenta principalmente suelos arcillosos con un alto potencial de expansión; suelos con una napa subterránea permanente alta; suelos con claypan o capa arcillosa en la superficie o cercana a ella; y suelos poco profundos sobre materiales casi impermeables. Estos suelos tienen una tasa muy lenta de transmisión de agua.

Fuente: Elaboración Propia 2015.

- La definición de cada uno de los tipos hidrológicos de suelo, se presenta en la Tabla 2.

☒ Cobertura mayor al 75%: Condición hidrológica BUENA.

☒ Cobertura entre 50 y 75%: Condición hidrológica REGULAR.

☒ Cobertura menor al 50%: Condición hidrológica MALA.

Tabla 19: de Resumen de los datos anteriores

Clasificación del tipo de suelo	=	Suelo tipo B
Infiltración	=	Moderadamente Bajo potencial de escorrentía
Práctica de cultivo	=	En surcos rectos
Lluvia máxima	=	262.16 mm para Tr=10 años y 1 día de duración
Tiempo de drenaje	=	24 horas
CN	=	77

Fuente: Elaboración Propia 2015.

2. Calcular el valor potencial de la Infiltración Potencial en cm utilizando la fórmula:

$$S = \frac{2540}{C_N} - 25.4$$

Dónde:

S = infiltración potencial expresada en cm

CN = número de curva.

Haciendo los cálculos

$$S = \frac{2540}{77} - 25.4 = 10.88 \text{ cm}$$

3. Una vez conocida la infiltración potencial $S = 10.88 \text{ cm}$ podemos calcular la escorrentía $E = ?$ en cm y tomamos el valor de $P = 262.16 \text{ mm}$ que es la lluvia máxima de diseño para un periodo de retorno de 10 años y considerando 1 día de duración o 24hr.

$$E = \frac{(P - 0.2S)^2}{P - 0.8S}$$

Dónde:

E = Escorrentía de diseño en cm.

P = Lluvia de diseño en cm.

S = Infiltración potencial cm

Haciendo los cálculos:

$$E = \frac{(26.216 \text{ cm} - 0.2(10.88 \text{ cm}))^2}{26.216 \text{ cm} - 0.8(10.88 \text{ cm})} = 33.00 \text{ cm}$$

4. Una vez calculada el valor de la escorrentía $E = 33 \text{ cm}$, procedemos a calcular el coeficiente de drenaje, con la ecuación de Stephen y Mills.

$$C = 4.573 + 1.62xE_{24}$$

Dónde:

C = Coeficiente de drenaje expresado en (lts/seg/Has)

E_{24} = Escorrentía de diseño para 24 horas

A su vez E_{24} se calcula mediante:

$$E_{24} = \frac{Ex24}{td}$$

Dónde:

E = Escorrentía de diseño en cm.

Td = Tiempo de drenaje en horas.

Calculando:

$$E_{24} = \frac{33\text{cm} \times 24}{24\text{hr}} = 33\text{cm} / \text{hr}$$

El coeficiente de drenaje será:

$$C = 4.573 + 1.62 \times 33 = 58.033 (\text{Its} / \text{seg} / \text{Has})$$

5. El caudal de diseño se calcula con la ecuación propuesta por Cypress Creek (Mc Crory, 1965):

$$Q = C \times A^{3/6}$$

Dónde:

Q = Caudal de diseño en lts/seg

C = Coeficiente de drenaje en lts/seg/Has

A = Area a drenar Has.

Por lo tanto se obtiene el caudal para toda la Cuenca:

$$Q = 58.033 \text{lts} / \text{seg} / \text{Has} (45551.28 \text{Has})^{3/6} = 44234.678 \text{lts} / \text{seg} = 442.34 \text{m}^3 / \text{seg}$$

DISCUSIONES

En la presente tesis de investigación se realizó el estudio de los parámetros de drenaje, relieve, y el análisis morfométrico e hidrológico de la subcuenca hidrográfica Arasá, se pudo determinar la localización y ubicación, la morfometría e hidrología, estos dos últimos en conjunto se canalizan como parámetros morfométricos de la subcuenca hidrográfica Arasá. Según JIMENEZ (2010) la caracterización es el tercer elemento del proceso de manejo de cuencas hidrográficas, comprende el componente de base para la planificación e implementación de este proceso. Los componentes y variables de caracterización se agrupan en tres grandes temas: a) ubicación, morfometría e hidrología; b) caracterización biofísica y c) caracterización socio económica.

El área de la subcuenca hidrográfica Arasá es de 4555.28 km^2 y el perímetro es de 364.22 km , tal como señala VILLON (2002), una cuenca grande es aquella que cuenca con una superficie mayor a los 250 km^2 y tal como se puede contrastar se trata de una cuenca grande.

La subcuenca hidrográfica Arasá tiene un factor de forma de $F = 0.20 < 1$, tal como se muestra, se trata de una cuenca que presenta una forma oval oblonga a rectangular oblonga según VILLON (2002). Con respecto al índice de compacidad o $K_c = 1.52 > 1$ tal como se muestra en el área de estudio de investigación, la cuenca tiene una forma oval – oblonga a rectangular oblonga según ORTIZ (2004).

La longitud de los tributarios y el área de la subcuenca hidrográfica Arasá se relacionan para hallar la densidad de drenaje en toda la cuenca, el valor de la densidad de drenaje de la subcuenca hidrográfica Arasá es de 0.36 , representa un valor bajo e indica un drenaje pobre según VILLON (2002) es un parámetro que indica la naturaleza de los suelos y también da una idea sobre la cobertura que existe en la cuenca. Valores altos de densidad de drenaje representan zonas con poca cobertura vegetal, suelos fácilmente erosionables, por el contrario, valores bajos, indican suelos duros, poco erosionables y cobertura vegetales densas.

El comportamiento de la curva hipsométrica se pudo determinar mediante la aplicación del Software Idrisi Selva 17; que utiliza un modelo numérico de altitud DEM; el cual indica para este caso de tendencia en forma de “S” que es un río ligeramente cóncava, el cual está en

etapa de madurez con transporte de sedimentos y agua como se puede observar en la figura 25, el 50% de su área acumulada, según LLAMAS (1993) la curva hipsométrica muestra el comportamiento de un río: en su etapa de juventud donde predominan la producción de sedimentos y agua, la etapa de vejez donde se caracteriza por la deposición de sedimentos y la etapa media de equilibrio y madurez donde predomina el transporte de sedimentos y agua.

La pendiente media del cauce hidrográfico Arasá tiene un valor de 0.51% (ligeramente inclinado), según EL PERUANO (2009) en el decreto supremo N° 017-2009-AG, clasifican los rangos de pendientes como se puede observar en el cuadro 4, página 41, estos valores se contrasta con los resultados obtenidos.

En toda el área total de la cuenca hidrográfica se identificaron 22 lagunas alto andinas, los que comprenden un área de 49.638 ha de espejos de agua, cuya área, posición con coordenadas UTM y su ubicación por distrito de marcapata, quincemil la clasificación según estructura jerarquica, esta base de datos generada, además de llenar los vacíos de información que proporciona la carta nacional nos hace saber que no existe un inventario completo sobre lagunas alto andinas dentro del distrito de chinchao. Según ASTRALAGA et al. (2015), para el estudio de los cuerpos de agua como son las lagunas, se indica que la necesidad de tener formas más específicas y de bajo costo para hacer inventarios de lagunas está cambiando, además de usar fotografías aéreas también se cuenta con información satelital.

4. CONCLUSIONES

- Se determinó que la subcuenca hidrográfica Arasá tiene un área de 4555.28 km² y un perímetro de 364.22 km, un factor de forma $F = 0.20$ y un coeficiente de compacidad $K_c = 1.51$, por lo que se caracteriza siendo una cuenca grande y tiene una forma oval oblonga a rectangular oblonga.
- Se determinó la pendiente media de la cuenca 51.41 % clasificándose en Fuertemente inclinada y la pendiente media del cauce 6.3 % clasificándose en Ligeramente inclinado, así como la longitud total de las corrientes 261.18 km y la densidad de drenaje con un valor de 0.63 km/km².
- Se elaboraron los mapas temáticos respectivos tales como mapa de: ubicación, cobertura vegetal, pendiente, geomorfológico, geológico, suelos, capacidad de uso mayor de suelos, hidrológico.
- Se ha generado información de datos geomorfológicos e hidrológicos de la subcuenca hidrográfica Arasá que contribuye a la región y porque no decir al país para la mejor toma de decisiones en los futuros estudios

5. RECOMENDACIONES

- Incentivar los trabajos multidisciplinarios para realizar los análisis morfométricos e hidrológicos de las subcuencas, microcuencas y cuencas hidrográficas a nivel regional con el financiamiento de entidades públicas y privadas, ong, para tener un inventario detallado de las precipitaciones, caudal y verificar cuales son las potencialidades y limitaciones de estos espacios geográficos.
- Realizar talleres informativos sobre la importancia de la preservación y cuidado de las cuenca, agua arriba, aguas abajo, y darle un manejo adecuado que esta mejore la calidad de vida de los pobladores.
- Realizar la identificación de las unidades hidrográficas de otras localidades, distritos, regiones para saber qué es lo que tenemos disponibles para aprovechar y conservar de modo racional como zonas de recarga hídrica, porque la identificación de estas unidades hidrográficas es el inicio para pensar en una restauración hidrológico forestal.

6. PROPUESTA TÉCNICA PARA EL PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LA SUBCUENCA HIDROGRÁFICA ARASÁ

La propuesta técnica para el plan de manejo integral de la subcuenca hidrográfica arasá está dirigido para promover un desarrollo económico y social, y ambiental, de las comunidades ubicadas en toda la subcuenca hidrográfica arasá, garantizando la oferta de bienes y servicios esenciales, para el desarrollo de los habitantes de la subcuenca en mención, a través del manejo y la conservación de los recursos naturales, dándole un valor agregado como: Servicios de Turismo y Recreación, que se da a través de diversas manifestaciones como el turismo de observación y el estudio de la naturaleza, turismo científico, turismo cultural-educativo, caminata, campamentos y otras modalidades recreativas, en el área de estudio, con un criterio básicamente conservacionista y de uso racional, económico de los recursos, orientado hacia el desarrollo sostenido en la subcuenca hidrográfica arasá .

RIESGOS Y PROBLEMAS AMBIENTALES DE LA CUENCA HIDROGRAFICA

Son diversos los riesgos y problemas ambientales presentes en la provincia, en la zona de estudio, encontramos vertientes y colinas, que son terrenos cuya magnitud de las pendientes no muy pronunciadas, pero por el clima excesivamente pluvial, y la elevada, ocurrencias de tormentas, tiene un elevado potencial erosivo, que es atenuada por la cobertura del bosque, tropical que las protege. Se encuentran también áreas inestables, que presentan huellas visibles de erosión, a veces severas, con cárcavas, derrumbes y deslizamientos; son zonas de pendiente muy pronunciada y de magnitudes de ladera de varios cientos de metros, de desnivel. Se suman otras condiciones como litologías poco compactadas, favorables a la erosión, que se coadyuvan con precipitaciones abundantes y mal uso de la tierra. Las colinas de selva que son un sector de relieve bajo fuertemente disectado, de material aluvial poco consolidado, están sujetas a derrumbes de pequeña y mediana magnitud casi frecuentemente. La excesiva pluviosidad del medio contribuye a la erosión, sumada a la baja resistencia del material rocoso, haciendo que el agua de escorrentía genere surcos y cárcavas, evidenciando derrumbes cerca al distrito de Marcapata, y las grandes vertientes montañosas que bordean el extenso valle encajonado de la cuenca hidrográfica arasá.

Contribuyen en estos procesos, las actividades antrópicas no planificadas; cuando se realiza el desbroce de la cubierta vegetal, ya sea por la extracción forestal no planificada y sin manejo o la agricultura migratoria, que conllevan a migraciones de especies asociados a estos bosques propiciando luego su extinción y generando cambios en los procesos ecológicos y originando la reducción de la biodiversidad genética, así como acelerando los procesos de erosión de los suelos, al igual que contaminación con el incremento demográfico, la cacería y el tráfico de especies, que en suma resumen las condiciones de calidad de vida. No existen indicadores de impacto cuantitativo que den cuenta de la magnitud erosiva existente.

PROGRAMA DE COBERTURA VEGETAL.

Ante el poco éxito alcanzado por los programas de reforestación adelantados con anterioridad y el avance de la deforestación para la implementación de sistemas productivos, no acordes con la vocación de uso del suelo; y dada la importancia de la cobertura vegetal en la regulación del ciclo hidrológico, el control torrencial del agua de escorrentía; la disminución del impacto erosivo del agua, y la protección que brinda al suelo, se hace necesario un programa encaminado primordialmente a aumentar la cobertura vegetal y la protección de márgenes hídricas de la cuenca.

ESPECIES FORESTALES RECOMENDADAS PARA LA REFORESTACION LA CUENCA HIDROGRAFICA ARASÁ

Nº	ESPECIES
1	Polylepys sp
2	Budleja coreacea

La Polylepys sp, Buddleia coreacea, entre otras. Estas plantaciones, casi en su totalidad son promovidas por el Estado y mayormente son plantados con fines sociales y ambientales con la participación de las comunidades campesinas. Presentan en general bajas tasas de crecimiento, estimado entre 3 – 5 m3/ha/año de incremento medio anual.

Se puede hacer agroforestaría sin la necesidad de instalar viveros comunales optimizando de esta forma la relación costo beneficio, en toda la cuenca arasá,

por lo que estas especies es bien valorada por los beneficios que les proporciona especialmente en la agricultura. Hoy en día constituye una especie apropiada para obtener productos orgánicos por la cantidad de abono que proporciona.

La región de la sierra peruana, abarca 39'198,000 ha (30 % del territorio nacional) y presenta una escasa cobertura de bosques naturales, estimada en 2.761 millones de ha (7% del total nacional), sobresaliendo bosques relictos de quinuales (queñuales, quishuar, colle, tasta, etc.), matorrales perennifolios (chachacomo, aliso, sauco, etc.) y los tolares (asociados especialmente con pastos como el ichu). En esta región andina la escasa disponibilidad de tierras cultivables, ha propiciado la ocupación de laderas y de otras áreas marginales con fines agrícolas y por ende el uso inadecuado de sus suelos, provocando serios problemas de erosión. También la demanda creciente de leña con fines energéticos domésticos, construcciones rurales y otros usos, ha acelerado el progresivo deterioro de la vegetación arbórea y arbustiva nativa. De acuerdo al INRENA, de los 10.5 millones de ha de tierras aptas para reforestación que posee el Perú, esta región posee el 71.5% (7.5 millones de ha), en las cuales hasta el año 1998, escasamente se han reforestado unas 500 mil ha (7 % de dicho potencial).

Esta propuesta técnica para el plan de manejo integral de la cuencas hidrográficas arasá, tiene la finalidad de mejorar la calidad de vida, de los integrantes de la comunidad en lo económico, social, ecológico, esto llevando de la mano una interacción disciplinada, que pueda ayudar, a conservar de manera eficiente la cuenca hidrográfica arasá, en conjunto, y así poder brindar los servicios ambientales, buscando el bienestar común.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio, F. (1999). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Mexico, D.F.: Editorial Limusa. Grupo Noriega Editores.
- Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de Hidrologia* (1 ed.). Mexico.D.F.: Limusa.
- Autoridad Nacional del Ambiente, ANAM. (2008). *Estrategia de Gestión Ambiental para el Desarrollo Sostenible 2008-2012*. Gaceta Oficial Digital República de Panamá.
- Bernex, N. (2008). *Hacia una gestion integrada de recursos hidricos en el peru* (1 ed.). Peru: Water Partnership.
- Burrough, P. (1998). *Mcdonnell principales of Geographical Information Systems*. New Your.USA.: Ox University.
- CADIE. (2006). *Gestión Integral de cuencas hidrográficas*. Cali, Colombia: CADIE.
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogotá D. C. Colombia: Graw Hill Interamericana S.A.
- Cadie. (2006). *Fundamentos basicos de cuencas hidrograficas* (1 ed.). Nicaragua: Matagalpa,NI.
- Campos. (1998). *Proceso del ciclo Hidrologico*, Universidad Autonoma de San Luis.
- Chacon, M., Garcia, E., & Guier, E. (1993). *principios basicos y posibles soluciones a la problematica costarricense*. Costa Rica: Educacion Ambiental a Distancia San Jose
- Chorley, L. (1984-1999). *Geomorphology* (1 ed.). Londre, Inlaterra: Water resources.
- Chow, V., & Maidment, L. (1994). *Hidrologia aplicada* (13 ed.). Colombia: McGraw-Hill.
- Conagua. (2006). *Informe del Presidente de los Estados Unidos* (1 ed.). Mexico.D.F: Quedesa.
- Conesa, F. (1997). *Guia Metodologica para la Evaluacion del Impacto Ambiental* (2 ed.). España: Vitoria.
- Costanza, R., Arge, R., Farber, M., Hannon, K., Limburg, S., & Naeem, R. (1998). *Ecologia Economica* (1 ed.). the value of the word s services and.

- Dominguez, C. (2009). *Introducción al ordenamiento de cuencas* (4 ed.). Mexico: Universidad Autónoma de Querétaro.
- Dourojeanni, A. (1994). *Políticas públicas para el desarrollo sustentable* (1 ed.). Venezuela: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Doffo, N., & González, B. (2005). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del arroyo Las Lajas, Córdoba: Un análisis estadístico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 60 (1): 16- 22.
- Faustino, J. (2006). *Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas*. Turrialba – Costa Rica.: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Faustino, J. (2007). *Manejo de cuencas II*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Gaspari, F. (2002). *Plan de ordenamiento territorial en cuencas serranas degradadas* (2 ed.). Argentina: Cooperativas, Buenos Aires.
- Gaspari, F., Delgado, M., & Rodríguez, V. (2009). *Manual de manejo integral de cuencas hidrográficas*. Argentina: Gaspari.
- Gaspari, F., Senisterra, G., Delgado, M., & Besterio, S. (2013). *Elementos Meteorológicos para el manejo de cuencas hidrográficas* (2 ed.). Argentina: Universidad Nacional la Plata.
- Gaspari, F., Senisterra, G., Rodríguez, V., Besterio, & S. (2009). *Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas*. 321.
- Gaspari, F., Senisterra, G., Vargas, A., & Besterio, S. (2009). *Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas*. 321.
- Giordan, A., & Souchon, C. (1995). La educación ambiental. (4, Ed.) *Guía práctica*, 45.
- Giordan, A., & Souchon, C. (1995). *Precipitación comunitaria en los problemas del agua* (2 ed.).
- Gutiérrez, M., Simon, J., & Soriano, M. (1986). *Algunos aspectos de la tectónica nadoana y cuaternaria en el sector central de la Depresión del Ebro* (1 ed.). España: Bol.Geol. y Min.,T.XCVII-I.
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Delgado, M., & Besteiro, S. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*. La Plata: Universidad Nacional de La Plata.
- Henaos. (1988). *Introducción al manejo de cuencas hidrográficas*. Colombia: Universidad Santo Tomás.

- Holland, M. (2003). <http://www.flacsoandes.edu.ec/biblio/catalog/resGet.php?resId=17124>.
Obtenido de <http://www.flacsoandes.edu.ec/biblio/catalog/resGet.php?resId=17124>
- Horton, R. (1945). *Erosion development of streams and their drainage basins*. España: Geol.Soc. Am. Bull.
- Horton, R. (1945). *Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology* (56 ed.). España: Geological Society of America.
- Horton, R. (1945). *Erosional development of streams and drainage basins* (3 ed.). Estados Unidos.
- Huertas, I., & Garcia, J. (2009). *Anthropogenic and natural CO2* (3 ed.).
- Ideam. (1998). *Medio Ambiente en Colombia* (1 ed.). Colombia: Instituto de Meteorología.
- Ideam. (2000). *Coberturas Vegetales, Uso y Ocupación del Espacio en Colombia* (1 ed.). Colombia: Ideam gov.
- Jiménez, F. (2009). *Reconocimiento inicial de la cuenca e identificación y caracterización de actores claves. Material de referencia en curso de maestría en manejo y gestión integral de cuencas hidrográficas*. Turrialba – Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Langbein, W. (1947). *Topographic characteristics of drainage basins, U.S.*. Geol Surv. Water Supply Pap.
- Lankford, R., & Gutierrez, M. (1975). *Subprograma de geología programa de uso de zonas costera* (1 ed.). Mexico.D.F.: Michocan.
- Lopez, C., & Llano, F. (1998). *Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión*. España: Tragsa. Madrid.
- Lopez, C., & Llanos, F. (1998). *Restauración Forestal de cuencas y Control de la Erosión* (1 ed.). España: Mundi Prensa.
- Llamas, J. (1993). *Hidrología general*. España: Universidad del País Vasco.
- Lloyd, C. &. (1999). *Geomorphology* (1 ed.). Londres, Inglaterra: Water resources.
- Mexico.D.F.: Facultad de Ingeniería, San Luis Potosí.
- Maderey, L. (2005). *Principios de Hidrogeografía. Estudio del Ciclo Hidrológico*. Mexico.D.F.: Instituto de Geografía.

- Maidment, D. (2000). *Handbook of hydrology*. New York.USA.: McGraw.
- Mintegui, A., & Lopez, F. (1990). *La Ordenacion Afrohidrologica en la Planificacion Servicio Central de Planificacion del Gobierno Vasco*. España: Gobierno Vasco.
- Molina. (1975). *Contribucion al estudio del "upwelling" frente a la costa noroccidental de la península Iberica* (2 ed.). España: Bol. Inst.España. Pceang.
- Monsalve, E. (2000). *Hidrologia en la Ingenieria, Evapotranspiracion* (2 ed.). Mexico.D.F.: Alfaomega.
- Monsalve, G. (1999). *Hidrologia en la Ingenieria*. Colombia: Escuela Colombiana. Bogota.
- Monsalve, S. (1999). *Hidrologia en la Ingenieria* (2 ed.). Mexico.D.f.: Mexico,F.F.
- Morgan, D. (1997). *Focus groups as qualitative research* (2 ed.). New Your. USA.: Thousand Oaks, CA.
- Monsalve, E. (2000). *Hidrologia en la Ingenieria, Evapotranspiracion* (2 ed.). Mexico.D.F.: Alfaomega.
- Monsalve, G. (1999). *Hidrologia en la Ingenieria*. Colombia: Escuela Colombiana. Bogota.
- Monsalve, S. (1999). *Hidrologia en la Ingenieria* (2 ed.). Mexico.D.f.: Mexico,F.F.
- Morgan, D. (1997). *Focus groups as qualitative research* (2 ed.). New Your. USA.: Thousand Oaks, CA.
- Ordoñez, E. (2011). *Una introduccion a la Ciencia Hidrologica*. Venezuela: Valencia, Venezuela.
- Parra, A. (2009). *Gestio Integral de Cuencas Hidrograficas* (1 ed.). Chile: Centro de Ciencias Ambientales. EULA.
- Parra, A. (2009). *Uso, Manejo y desarrollo de la hoya hidrografica del rio Biobio* (2 ed.). chile: Universidad de Concepcion.
- Parrra, A. (1996). *El Recurso Natural Base del Desarrollo de la Region* (1 ed.). Chile: Universidad de Concepcion.
- Praus, P. (2005). *Water quality assessment using SVD-based principal component analysis of hydrological data hydrological* (2 ed.). Water.
- Reynal, J. (1970). *Lycopodium annotinum L. dans alpes*. (3, Ed.) France.Bull.Soc.: Bot.Frence.

- Rosenberg, N. (1974). *Microclimate the biological environment* (2 ed.). New York. USA.
- Sanchez. (2003). *La gestion integral de las cuencas hidrograficas transfronterizas (España Portugal)* (1 ed.). Portugal.
- Salim, E. (2006). *La seguridad del medio ambiente: Venciendo la maldición de los recursos*. PNUMA.
- Sanchez, F. (2003). <http://web.usal.es/javisan/hidro>. Recuperado el Octubre de 2015
- Sanchez, S. (1995). *Una aproximacion al proceso de planificacion de cuencas hidrograficas* (1 ed.). Colombia: Universidad de Tolima.
- Schumm, S. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. (67), 597-646.
- Strahler. (1957). *Revision y perfeccion el esquema de horton dando lugar al esquema de orfenacion o de clasificacion de cuencas*. España: Mock.
- Summerfield, M. (1991). *Global Geomorphology*. España: Longman London.
- Thorntwaite. (1948). *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance*. Climatol.
- Villanueva, M. (2002). *Microcuencas* (1 ed.). Mexico.D.F.: Universidad Autonoma Chapingo.
- Villon, M. (2002). *Hidrologia*. (2, Ed.) Costa Rica: Villon. Lima, Peru.
- Vásquez, V. (2000). *Manejo De Cuencas Alto andinas*. Lima: UNALM.
- Villon, V. (2002). *hidrología*. Lima - Perú: Editorial Villón.
- Ward, R., & Robinson, M. (1990). *Principles of Hydrology*. London: McGraw Hill.
- World Vision. (2004). *Manejo de Cuencas*. World Vision Canada.
- Zarate, M. (2005). *Cuenca del rio Atuel caracterizacion biofisica aspectos geologicos y geomorfológico* (1 ed.). Argentina: UNLPam.

8. ANEXOS

Figura 32: Armando la wincha para realizar los aforos



En la presente fotografía se observa armando la wincha artesanal para realizar los aforos en los puntos de la cuenca en estudio.

Figura 31: Armando la wincha para realizar los aforos



En la presente fotografía se observa ya armada la wincha para realizar los aforos en los puntos de interés de la cuenca en estudio.

Figura 34: Tomando la profundidad de la microcuenca



En la presente fotografía se observa realizando el wincheo para obtener la profundidad exacta de la microcuenca chumpe.

Figura35: Realizando la georeferenciacion del punto de interés



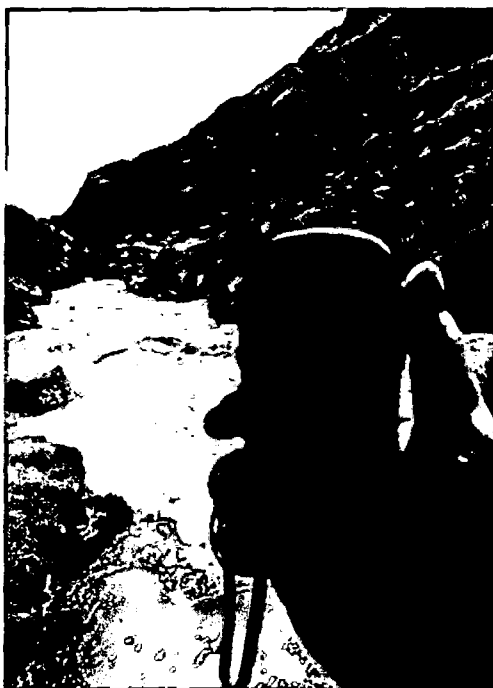
En la presente fotografía se observa tomado las coordenadas UTM, Wgs 84 de la microcuenca chumpe.

Figura 36: esta fotografia muestra la naciente de la microcuenca chumpe



En la presente fotografia se observa la naciente microcuenca chumpe un importante tributario de la subcuenca Arazá.

Figura 37: Realizando la georeferenciacion de la microcuenca chumpe



En la presente fotografia se observa la microcuenca chumpe siendo georeferenciada.

Figura 38: Realizando una breve encuesta socio – económica y ambiental a los pobladores del sector chumpe.



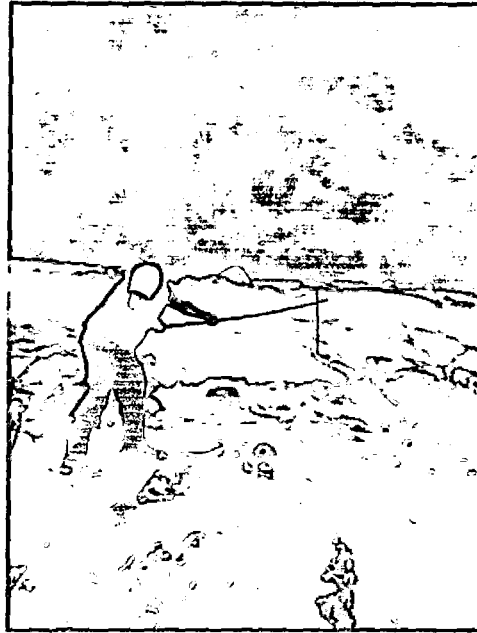
En la presente fotografía se observa realizando una encuesta socio- económico y ambiental un poblador del centro poblado de chumpe, perteneciente al Distrito de Marcapata

Figura39: Realizando una breve encuesta socio – económica y ambiental a los pobladores del sector de Tillpa.



En esta fotografía se observa realizando una encuesta socio- económico y ambiental a los pobladores del sector de Tillpa, comunidad de coyasullo.

Figura 40: Imágenes del sector de Upis Pata, Quebrada Pullka



En la presente fotografía se observa realizando el wincheo en la microcuenca Pullka para obtener la profundidad.

Figura 41: Imágenes del sector de Upis Pata Quebrada Pullka



En la presente fotografía se observa realizando el método del flotador en la microcuenca Pullka, para obtener la velocidad real de la cuenca.

Figura 42: Imágenes de un afluente ubicada en el sector Punkus



En esta fotografía se observa la naciente de un afluente importante a la sub cuenca Arazá, ubicada en el sector Punkus

Figura 43: Tomando las coordenadas UTM WGS-84 de la naciente de la Quebrada Punkus.



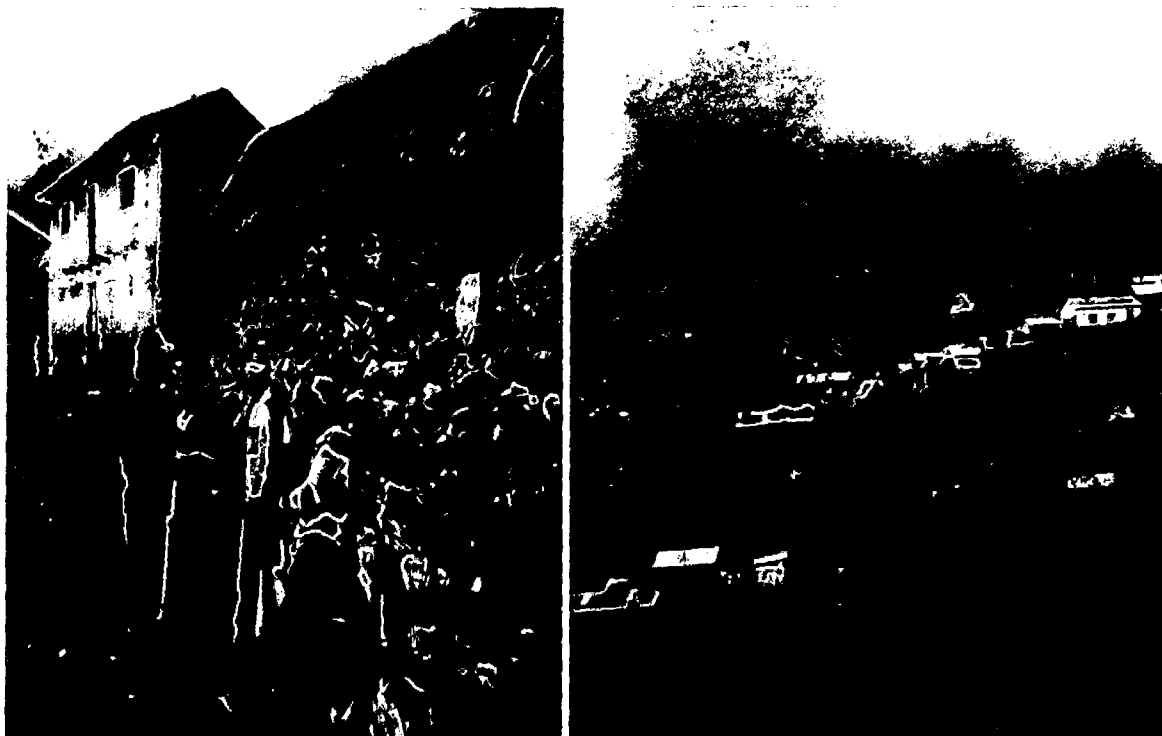
En esta fotografía se observa tomando las coordenadas UTM de la naciente de la quebrada Punkus.

Figura 44: Georeferenciando la quebrada Collasullo



En esta fotografía se observa la Quebrada Coyasullo, sector de alta precipitación, y neblinaje.

Figura 45: Centro Poblado de Coyasullo



En la presente fotografía se observa el centro poblado de Collasuyo, viviendas son de material del lugar, barro, piedra, paja. Y en parte también son techados con calaminas.

Figura 46: Sector Rosas Pata, verificando el mapa.



En la presente fotografía se observa verificando el mapa de campo para empezar a la toma de datos

Figura 47: Georeferenciando la Quebrada Rosas Pata afluente importante de la subcuenca hidrográfica Arasá.



En la presente fotografía se observa ubicándonos en el campo, y tomando las coordenadas respectivas.

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE

En la ciudad de Puerto Maldonado, siendo las diecisiete horas con veinte minutos del día Diecisiete de diciembre del año dos mil quince, en las instalaciones del Anfiteatro N° 1 de la Ciudad Universitaria-UNAMAD, dando cumplimiento de la Resolución de Decanatura N° 217-2015 - UNAMAD - DFI, de fecha 17 de diciembre del 2015, se reunieron los miembros del Jurado integrado por los siguientes docentes:

Dr. Hernando Hugo Dueñas Linares. (Presidente)
Dr. Emer Ronald Rosales Solórzano. (Secretario)
Lic. Ramón Romero Mejía (Vocal)

Con la finalidad de evaluar el Informe Final de tesis titulado **“ANÁLISIS MORFOMETRICO E HIDROLOGICO DE LA SUBCUENCA HIDROGRAFICA ARASÁ DEPARTAMENTO DEL CUSCO – PERÚ”**. Presentado por el Bachiller Gregorio Huamán Yuca. Seguido de La exposición del trabajo de investigación por parte del sustentante, el jurado procede al Cuestionamiento de la misma y el sustento por parte del responsable del trabajo de Investigación. Acto seguido, el Jurado procede a la deliberación en base a una discusión en forma reservada y libremente, declarando el trabajo expuesto con el calificativo de **SOBRESALIENTE** y la nota de 18 Previo a esto el graduando deberá realizar el levantamiento de observaciones realizadas por el jurado, de acuerdo a lo estipulado en el reglamento de Grados y Títulos de la UNAMAD

En fe de lo cual firmamos la presente acta siendo las dieciocho horas del 17 de diciembre del Dos mil Quince, se dio por culminada el presente acto de sustentación.



Dr. Hernando Hugo Dueñas Linares
Presidente



Dr. Emer R. Rosales Solórzano
Secretario



Lic. Ramón Romero Mejía
Vocal



UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA

INFORME DE CONFORMIDAD DE LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES

Puerto Maldonado,

Mediante el presente, los Docentes:

- Dr. Hernando Hugo Dueñas Linares
- Dr. Emer Ronald Rosales Soloizano
- Lic. Ramón Romero Mejía

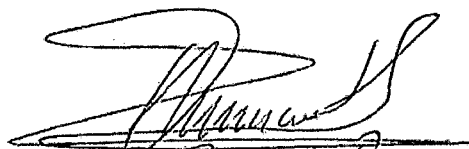
Miembros del Jurado Calificador de la Tesis intitulada:

"ANÁLISIS MORFOMÉTICA E HIDROLÓGICO DE LA SUBCUENCA
HIDROGRÁFICA ARAUCO DEPARTAMENTO DE CUSCO - PERÚ."
sustentada (o) por el Bachiller.

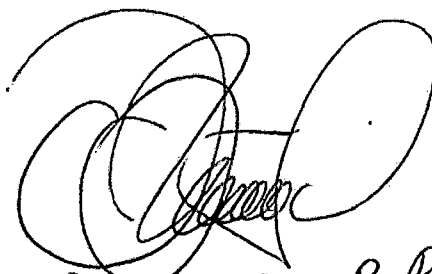
el día/mes, año 17/12/15.....en la Ciudad Universitaria de la UNAMAD, emitimos el
presente **INFORME DE CONFORMIDAD DE LEVANTAMIENTO DE
OBSERVACIONES**, con lo cual el Señor (ita) Tesista ha cumplido con realizar las
modificaciones a las observaciones realizadas durante la sustentación de la Tesis.

Es todo cuanto informamos a Usted Señor Decano, para los
fines correspondientes.

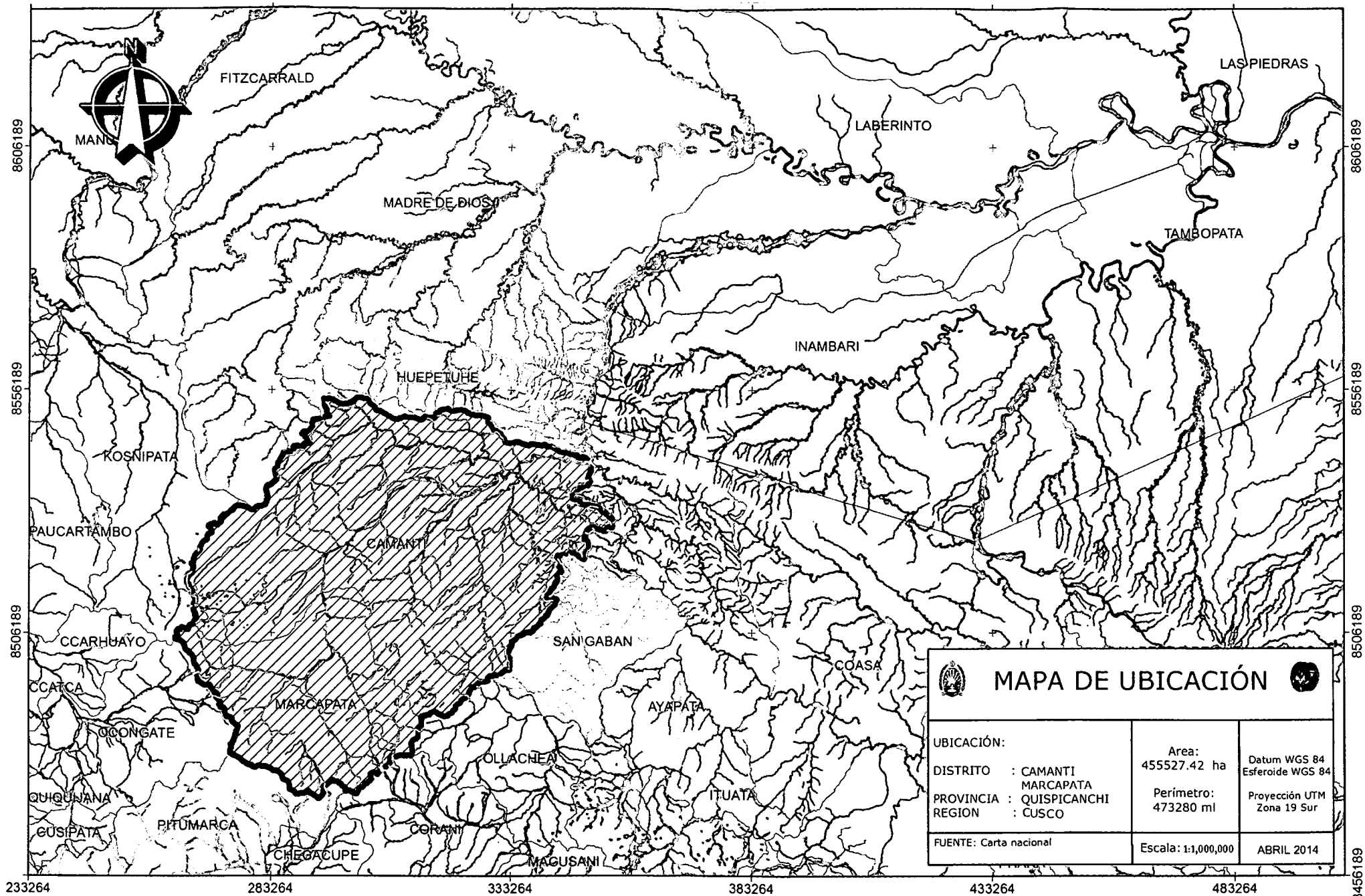
Atentamente;

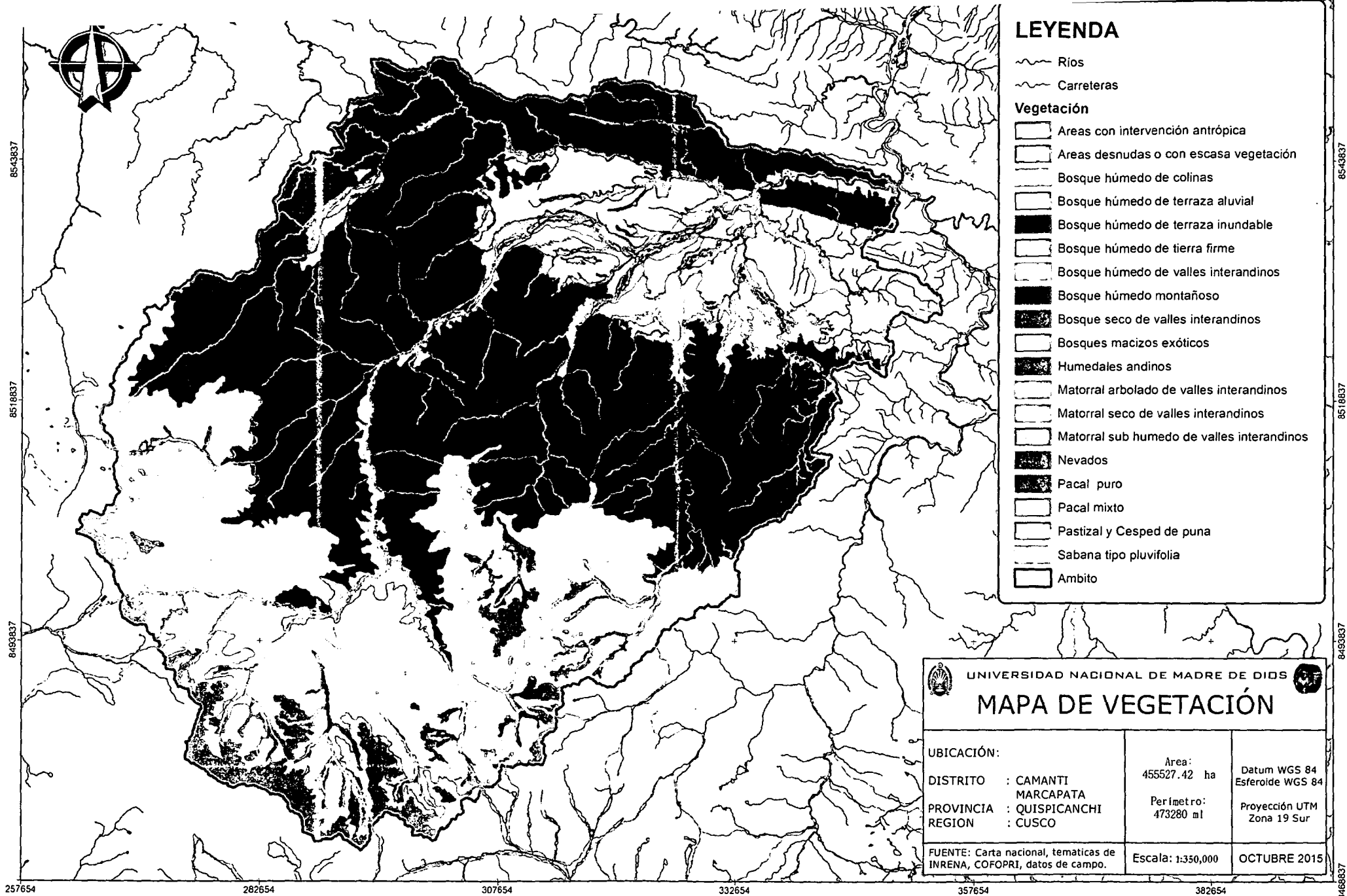

Lic. Ramón Romero M.

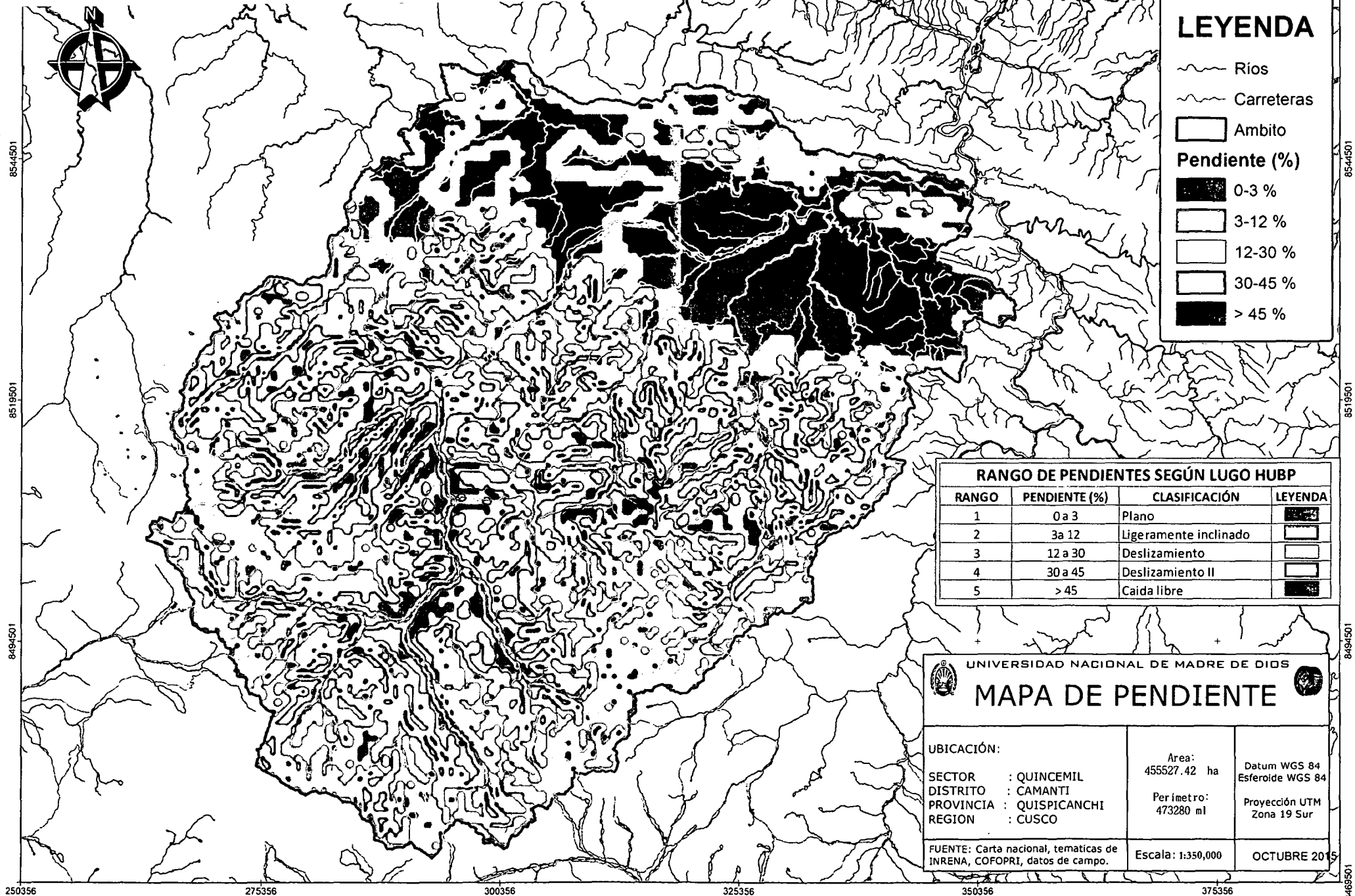

Dr. Hugo Dueñas L.
Presidente.


Dr. Ing. Emer R. Rosales S.

ANEXO







LEYENDA

Ríos

Carreteras

Ambito

Pendiente (%)

0-3 %

3-12 %

12-30 %

30-45 %

> 45 %

RANGO DE PENDIENTES SEGÚN LUGO HUBB			
RANGO	PENDIENTE (%)	CLASIFICACIÓN	LEYENDA
1	0 a 3	Plano	
2	3 a 12	Ligeramente inclinado	
3	12 a 30	Deslizamiento	
4	30 a 45	Deslizamiento II	
5	> 45	Caida libre	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MADRE DE DIOS

MAPA DE PENDIENTE



UBICACIÓN:

SECTOR : QUINCAMIL
DISTRITO : CAMANTI
PROVINCIA : QUISPICANCHI
REGION : CUSCO

Area:
455527.42 ha

Perímetro:
473280 ml

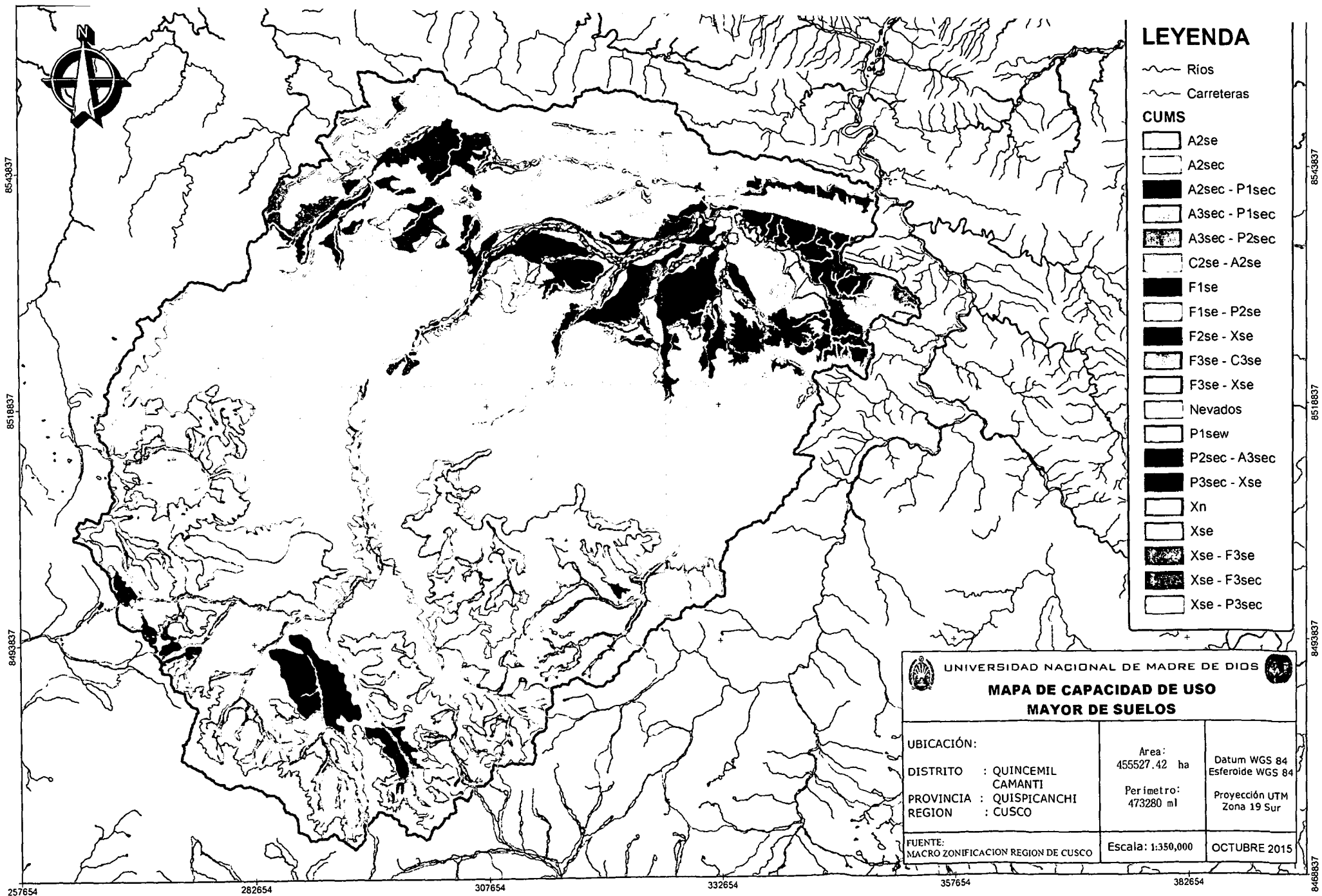
Datum WGS 84
Esferoide WGS 84

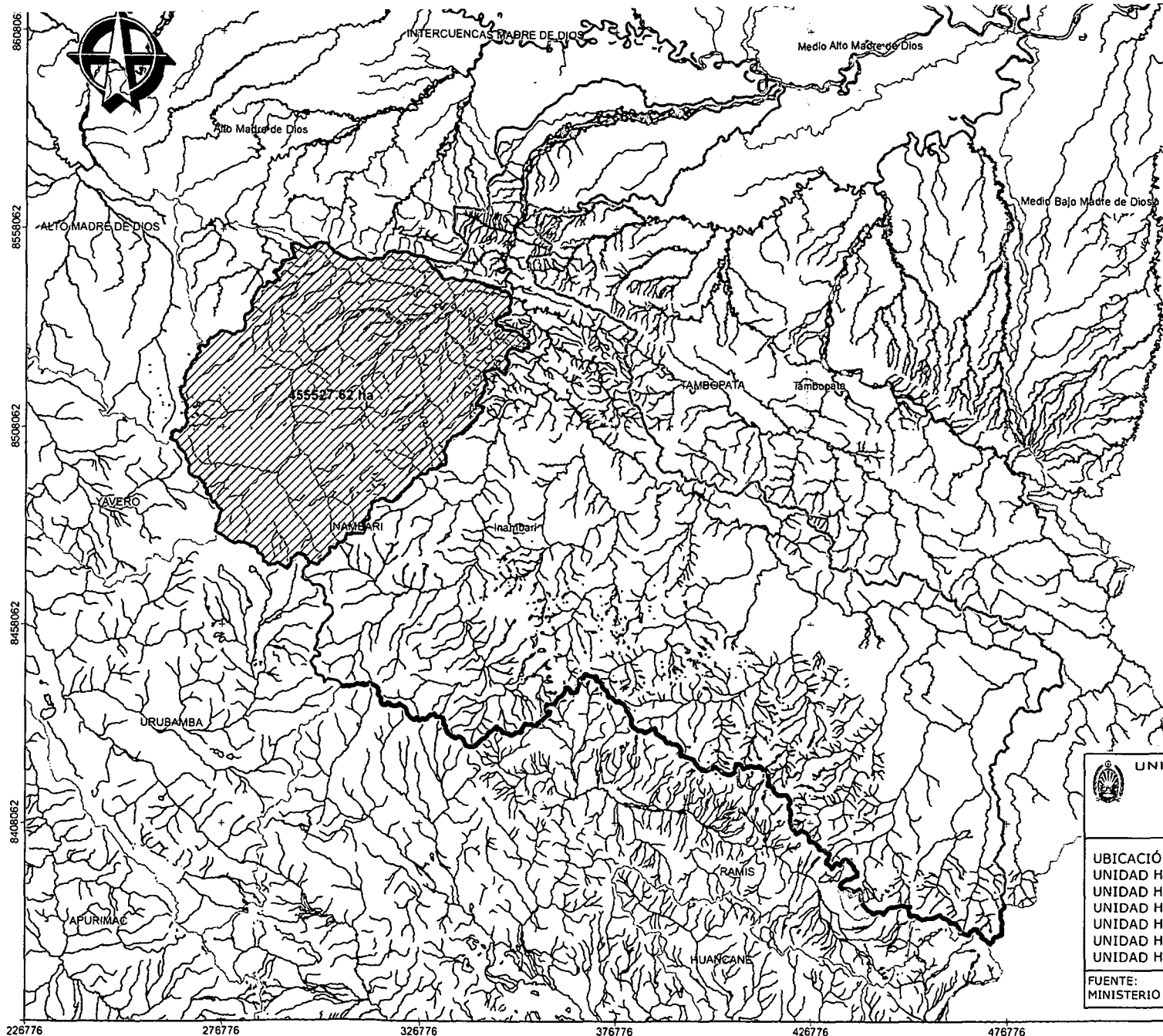
Proyección UTM
Zona 19 Sur

FUENTE: Carta nacional, temáticas de INRENA, COFOPRI, datos de campo.

Escala: 1:350,000

OCTUBRE 2015





LEYENDA

Ambito

Ríos

Cuencas

UNIDADES HIDROGRÁFICAS NIVEL 5

Alto Acre

Alto Iaco

Alto Madre de Dios

Alto Orthon

Chandless

De Las Piedras

Inambari

Manuripe

Medio Alto Madre de Dios

Medio Alto Orthon

Medio Bajo Madre de Dios

Medio Madre de Dios

Muymanu

Tambopata

Unidad Hidrografica 46628

Unidad Hidrografica 49295

Unidad Hidrografica 49297

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE MADRE DE DIOS 		
MAPA DE UBICACION HIDROGRAFICO		
UBICACIÓN UNIDAD HIDROGRAFICA NIVEL 1 : AMAZONAS UNIDAD HIDROGRAFICA NIVEL 2 : MADEIRA UNIDAD HIDROGRAFICA NIVEL 3 : BENI UNIDAD HIDROGRAFICA NIVEL 4 : MADRE DE DIOS UNIDAD HIDROGRAFICA NIVEL 5 : INAMBARI UNIDAD HIDROGRAFICA NIVEL 6 : ARAZA		Datum WGS 84 Esferoide WGS 84 Proyección UTM Zona 19 Sur
FUENTE: MINISTERIO DE AGRICULTURA	Escala: 1:1,000,000	OCTUBRE 2015

