

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA**



**TESIS DE GRADO**

**"CARACTERIZACION DE LA CUENCA MENOR DEL RIO  
BOOPI CON BASE A LA METODOLOGÍA DE  
ZONIFICACION AGROECOLÓGICA PARA PLANIFICAR EL  
USO DE TIERRAS UBICADAS EN EL DEPARTAMENTO DE  
LA PAZ"**

**Hernán Walter Jiménez López**

**La Paz - Bolivia  
2005**

**Universidad Mayor de San Andrés**

**Facultad de Agronomía  
Carrera de Ingeniería Agronómica**

**"CARACTERIZACION DE LA CUENCA MENOR DEL RIO BOOPI CON BASE A LA  
METODOLOGÍA DE ZONIFICACION AGROECOLÓGICA PARA PLANIFICAR EL  
USO DE TIERRAS UBICADAS EN EL DEPARTAMENTO DE LA PAZ"**

*Tesis de Grado presentado como requisito  
parcial para optar el Título de  
Ingeniero Agrónomo*

**Hernán Walter Jiménez López**

**Asesor:**

**Ing. Roberto Miranda C.**

**Comité Revisor:**

**Dr. Abul Kalam Kurban**

**Ing. M.Sc. René Terán Céspedes**

**Ing. M.Sc. Isidro Callizaya M.**

**APROBADA**

**Decano:**

**Ing. M.Sc. Jorge Pascuali Cabrera**

## INDICE

Indice	i
Índice de Figures	ii
Índice de Tablas	iii
Índice de Mapas	iv
Índice de fotos	v
Anexo	vi
Resumen	vii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>II OBJETIVOS</b>	2
2.1. Objetivo General	2
2.2. Objetivos específicos	2
2.4. Hipótesis	3
<b>III. REVISIÓN BIBLIOGRÀFICA</b>	4
3.1. Importancia De La Utilización De Imágenes Satelitales En La Evaluación De Tierras	4
3.1.1. Principios básicos de la percepción Remota	4
3.1.2. Correcciones de la imagen satelital	4
3.1.2.1. Correcciones radio métricas	4
3.1.2.2. Correcciones geométricas	4
3.1.3. Proyecciones cartográficas para elaboración de mapas	5
3.1.3.1. Clasificación de las proyecciones	5
3.1.3.2. Descripción de las 7 bandas o canales del Landsat TM	6
3.1.3.3. Combinaciones de las bandas del captor TM	7
3.1.3.4. Clasificación digitales de la de la imagen satelital	8
3.1.3.4.1. Clasificación no supervisada	9
3.1.3.4.2. Clasificación supervisada	10
3.1.4. El sistema GPS	10
3.2. CUENCAS HIDROGRÁFICAS	10
3.2.1. Definición de cuenca	10
3.2.2. Delimitación de cuencas hidrográficas	11
3.2.3. División de la cuenca hidrológica según aspectos físicos y climáticos	11
3.2.4. Codificación de la cuenca hidrográfica	12
3.3. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)	13
3.3.1. Definición de SIG	13
3.3.2. Aplicación de SIG para la generación de datos espaciales y cartografía temática	13
3.3.1. Base de datos	15
3.3.1.1. Definición de base de datos	15
3.3.1.2. Modelo de estructura de base de datos	15
3.3.2.1.1. Modelo vectorial	15
3.3.2.1.2. Modelo raster	15
3.4. ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA BAJO EL ENFOQUE FAO	16
3.4.1. Definición de Zonificación Agroecológica (ZAE) de acuerdo a la FAO	17
3.4.2. Inventario edafoclimatico y socioeconómico	17

3.4.3. Evaluación de la Aptitud de la Tierra	17
3.4.4. Método de Thiessen	18
3.4.4.1. Generación de isolíneas y polígonos de Thiessen en computadora	19
3.4.5. Análisis de la duración del período de crecimiento	20
3.4.6. Radiación solar	20
3.4.6.1. Estimación de la radiación solar	20
3.4.6.2. Tasa de acumulación de materia seca	21
3.4.7. Índice de área foliar (IAF)	21
3.4.8. El índice de cosecha (IC)	21
3.4.9. Ruta fotosintética	22
3.4.10. Ruta fotosintética	22
3.5. SUELOS	22
3.5.1. Características edafológicas	22
3.5.2. Clasificación de los suelos	23
3.5.2.1. Clasificación taxonómica de suelos en acuerdo al nivel de estudio	23
3.6. CARTOGRAFÍA DE LA VEGETACIÓN SEGÚN (UNESCO 1973)	24
3.7. PLANIFICACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	24
3.7.1. El proceso de planificación	25
<b>IV MATERIALES Y METODOS</b>	26
4.1. Localización	27
4.1.1. Ubicación	27
4.1.2. Fisiográfica	27
4.1.3. Suelos	27
4.1.4. Vegetación	27
4.1.5. Clima	27
4.1.6. Hidrológica	27
4.2. Materiales	27
4.2.1. Herramientas informáticas	28
4.2.1.1. Hardware (Equipo PC)	28
4.2.1.2. Software	28
4.2.1.3. Materiales e Implementos	28
4.3. Metodología	29
4.3.1. Fase 1: Pre-campo	30
4.3.2. Fase 2: Campo	30
4.3.3. Fase 3: zonificación agroecológica (zae)	30
4.3.4. Fase 4: Planificación de uso de tierras	30
<b>V RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	30
5.1. Evaluación de la imagen satelital	31
5.2. Elaboración del mapa base	31
5.3. Modelo de base de datos	31
5.4. Relevamiento de Suelos	32
5.4.1. Descripción del sitio de muestre	32
5.4.2. Descripción del Perfil del suelo	32
5.5. Delimitación de la Subcuenca Hidrográfica del Río Boopi	35

5.6. Inventario socioeconómico	37
5.6.1. Los insumos utilizados en la producción de cultivos arbóreos	38
5.6.2. Los insumos utilizados en la producción de cultivos anuales	38
5.6.3. Ubicación de Comunidades	39
5.6.4. Tenencia de la tierra	40
5.6.5. Jurisdicciones Administrativa Sobre La Subcuenca	41
5.7. Inventario de cobertura vegetal	41
5.8. Inventario de recursos suelos	42
5.8.1. Unidades cartográficas Geomorfológicas	42
5811 Unidades cartográficas geomorfológicas en la cordillera (C)	43
5812 Unidades cartográficas geomorfológicas en el Subandino (S)	43
5.8.2. Unidades cartográficas de suelos	45
5821 Unidades cartográficas de suelos en la cordillera oriental (C)	45
5812 Unidades cartográficas de suelos en el subandino (S)	51
5.9. Descripción de los Tipos de Utilización de Tierras (TUT)	55
5.9.1. TUT en Categoría de Derecho de Uso	55
5.9.2. TUT en bosque montano	55
5.9.3. TUT en bosque montano y bosque de llanura fluvial con agricultura	55
5.10. Inventario de Cultivos	56
5.11. Inventario climático	56
5.11.1. Localización de estaciones meteorológicas del área de influencia	56
5.11.2. Análisis del periodo de crecimiento (DPC) por estaciones meteorológicas	57
5.11.3. Inventario de zonas térmicas y de precipitación	61
5.12. Inventario de tierras	61
5.13. Evaluación de aptitud de tierras	61
5.13.1. Adecuamiento tierra y cultivos	61
5.13.2. Calculo del rendimiento agronómico potencial (acumulación de biomasa neta)	62
5.14. Determinación de la aptitud de tierra cultivo de maíz	65
5.14.1. Proceso de adecuamiento	65
5.14.2. Estadística de CEAS	65
5.14.3. Calculo de biomasa neta y rendimiento potencial	68
5.14.4. Clases de aptitud de la tierra	69
5.15. Planificación de uso de tierras	70
5.15.1. Niveles de intervencion	71
5.15.2. Propósito de la planificación	71
5.15.3. Inventario de recursos	71
5.15.4. Estrategia de la planificación	71
5.15.5. Evaluación de la estrategia	86
5.15.6. Diseño final de la planificación	87
<b>VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	97
6.1. Conclusiones	97
6.2. Recomendaciones	98
<b>VII Bibliografía</b>	98
<b>VIII Anexo</b>	99

### Índice de Figures

<b>Figura 1</b>	Diferentes sistemas de proyección en un cuarto de hemisferio	9
<b>Figura 2</b>	Modelo de codificación de la cuenca hidrográfica	14
<b>Figura 3</b>	Componentes De Un Sistema De Información Geográfica (SIG)	15
<b>Figura 4</b>	Esquema Metodológico Zonificación Agroecológica	16
<b>Figura 5</b>	Esquema generalizado de los niveles de la planificación	
<b>Figura 6</b>	Perfiles Y Clases Taxonómicas De Suelos Presentes En La Subcuenca “Sector” Río Boopi	45
<b>Figura 7</b>	Imagen Landsat (3R,2G,1B)	17
<b>Figura 8</b>	Imagen Landsat (4R,5G,2B)	18
<b>Figura 9</b>	Imagen Landsat (4R,5G,7B)	21
<b>Figura 10</b>	Localización de las estaciones meteorológicas próximas a la Subcuenca “sector” Río Boopi	36
<b>Figura 11</b>	Duración Del Periodo De Crecimiento (Dpc) Para Arcopongo	37
<b>Figura 12</b>	Duración Del Periodo De Crecimiento (Dpc) Para: La Asunta	37
<b>Figura 13</b>	Duración Del Periodo De Crecimiento (Dpc) Para: La Asunta	38
<b>Figura 14</b>	Duración Del Periodo De Crecimiento (Dpc) Para: Sapecho	39
<b>Figura 15</b>	Duración Del Periodo De Crecimiento (Dpc) Para: Covendo	40
<b>Figura 16</b>	Esquema Proceso De Planificación MIC	52

### Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b>	Divisiones mayores y menores de la cuenca de acuerdo a escala de trabajo	13
<b>Tabla 2</b>	Criterios de la aplicación de niveles de insumo enfoque (FAO, 1994)	21
<b>Tabla 3</b>	Ejemplos de Índice de área foliar	24
<b>Tabla 4</b>	Ejemplos de Índice de área foliar	24
<b>Tabla 5</b>	Ruta fotosintética de algunos cultivos	25
<b>Tabla 6</b>	Resultados del clustering cobertura Río boopi	42
<b>Tabla 7</b>	Características de sitio y de perfiles de suelos de la Subcuenca Río Boopi	44
<b>Tabla 8</b>	Resultados de laboratorio de análisis de muestras de suelos	45
<b>Tabla 9</b>	Subórdenes taxonómicas asociación en base a los suelos dominantes	46
<b>Tabla 10</b>	Clasificación Detallada De La Subcuenca Hidrográfica Sector- Río Boopi	48
<b>Tabla 11</b>	Niveles de escala de estudio de la subcuenca	48
<b>Tabla 12</b>	Niveles de utilización de insumos en la producción de cultivos arbóreos	49
<b>Tabla 13</b>	Niveles de utilización de insumos en la producción de cultivos anuales	51
<b>Tabla 14</b>	Centros Poblados Sector-Subcuenca Hidrográfica Río Boopi	51
<b>Tabla 15</b>	Tenencia De La Tierra En La Subcuenca Hidrográfica Sector-Río Boopi	51
<b>Tabla 16</b>	Municipios Dentro De La Subcuenca Hidrográfica	52
<b>Tabla 17</b>	Reserva Y Zona Forestal De Inmovilización Y Fiscal Dentro De La Subcuenca	52
<b>Tabla 18</b>	Cobertura vegetal de la Subcuenca Hidrográfica	53
<b>Tabla 19</b>	Unidades Geomorfológicas Subcuenca Hidrográfica Sector-Río Boopi	55
<b>Tabla 20</b>	Unidades De Suelos Subcuenca Hidrográfica Sector-Río Boopi	64
<b>Tabla 21</b>	Tipo de Utilización De Tierras Actuales	65

<b>Tabla 22</b>	Lista De Estaciones Meteorológicas Involucradas En El Área De Influencia	67
<b>Tabla 23</b>	Datos Meteorológicos De La Estación: Arcopongo	68
<b>Tabla 24</b>	Datos Meteorológicos De La Estación: La Asunta	69
<b>Tabla 25</b>	Datos Meteorológicos De La Estación: Caranavi	70
<b>Tabla 26</b>	Datos Meteorológicos De La Estación: Sapecho	70
<b>Tabla 27</b>	Datos Meteorológicos De La Estación: Covendo	71
<b>Tabla 28</b>	Duración Del Periodo De Crecimiento (Dpc) Por Estaciones	71
<b>Tabla 29</b>	Temperatura Promedio Y Precipitación Promedio Acumulada	72
<b>Tabla 30</b>	Valores De Ac, Bc Y Bo Para La Subcuenca Hidrográfica Sector-Río Boopi	75
<b>Tabla 31</b>	Valor De Radiación Solar Por Estaciones	76
<b>Tabla 32</b>	Valor promedios, superficie y ubicación geográfica de CEAS agrupados cultivo de maíz	79
<b>Tabla 33</b>	Clases De Aptitud De La Tierra Para El Cultivo De Maíz	81
<b>Tabla 34</b>	Rendimientos Potenciales De Maíz Bajo Tres Niveles De Insumo	81
<b>Tabla 35</b>	Aptitud De Tierras Por Cultivo Y Rendimientos Agronómicos Por De Insumo Niveles	82
<b>Tabla 36</b>	Espacios agrícolas a nivel de microcuencas	85
<b>Tabla 37</b>	División De La Subcuenca De Acuerdo A Sus Aspectos Físicos y Climáticos	86

- iv -

### **Índice de Mapas**

<b>Mapa 1</b>	Mapa Base	42
<b>Mapa 2</b>	De Ubicación Subcuenca Hidrográfica Sector-Río Boopi	47
<b>Mapa 3</b>	De Microcuencas	47
<b>Mapa 4</b>	De Cobertura Vegetal	53
<b>Mapa 5</b>	Geomorfológico	54
<b>Mapa 6</b>	Unidades Cartográficas De Suelos	56
<b>Mapa 7</b>	Tipos De Utilización De La Tierra	64
<b>Mapa 8</b>	Duración Del Periodo De Crecimiento	72
<b>Mapa 9</b>	Zonas De Precipitación	72
<b>Mapa 10</b>	De Zonas Térmicas	72
<b>Mapa 11</b>	De Distribución De La Radiación Solar	73
<b>Mapa 12</b>	Células Agroecológicas (CEA)	76
<b>Mapa 13</b>	Aptitud De La Tierra Para Cultivo Maíz	89
<b>Mapa 14</b>	Aptitud De La Tierra Para Cultivo Café	82
<b>Mapa 15</b>	Aptitud De La Tierra Para Cultivo Arroz	82
<b>Mapa 16</b>	Aptitud De La Tierra Para Cultivo Banano	82
<b>Mapa 17</b>	Aptitud De La Tierra Para Cultivo Hortalizas	82
<b>Mapa 18</b>	Aptitud De La Tierra Para Cultivo Cacao	82
<b>Mapa 19</b>	Aptitud De La Tierra Para Cultivo Cítricos	82
<b>Mapa 20</b>	División de la subcuenca Según Sus Aspectos Físicos y Climáticos	86

### **Índice de Fotografías**

**Fotografía 1.** Panorámica del Río Boopi, mostrando la cobertura vegetal y los grados de intervencion antrópica

**Fotografía 2.** Panorámica del Río Boopi, mostrando pequeñas cachuelas

**Fotografía 3.** Panorámica del Río Boopi, mostrando remansos profundos

**Fotografía 4.** Barbechos a orillas del Río Boopi

**Fotografía 5.** Aprovechamiento de maderables en forma artesanal sobre el Río Boopi.

**Fotografía 6.** Intrevista a autoridades locales Municipio de localidad de La Asunta.

**Fotografía 7.** Intrevista a lideres locales.

**Fotografía 8.** Intrevista a agricultores asentados en la subcuenca sector Río Boopi.

**Fotografía 9.** Intrevista a familias de la comunidad de Puerto Rico.

**Fotografía 10.** Vista de la comercialización agrícola, de la localidad de San Juan de Cota Pata.



## **RESUMEN**

La cuenca hidrográfica es la unidad que mejor se ajusta a los propósitos de la planificación territorial, por formar sistemas<sup>1</sup> hidrológicos y ecológicos coherentes. Inicialmente los planes de manejo de cuencas hidrográficas, se concentraban en resolver problemas específicos, como el control de inundaciones, el riego, la navegación o el abastecimiento de agua para consumo humano o industrial, sin mayor énfasis en los recursos de tierra y ambiente, por lo que se encontraban cuestionadas. En cierto grado, la Planificación de Manejo Integral de Cuencas (MIC) fue respuesta al problema, y trató de coordinar y desarrollar armónicamente los usos de agua, tierra y ambiente. Sin embargo estudios típicos de MIC en década del 90 y los años 2003, demostraron tener escasez de pautas para evaluar la tierra<sup>2</sup>, y sus aspectos socioeconómicos.

En este sentido el presente trabajo de investigación es un aporte para la evaluación de tierras en la cuenca. El objetivo es planificar el uso de tierras de la subcuenca hidrográfica Río Boopi, con principio “integracionista” basada fundamentalmente en la Zonificación Agroecológica (ZAE) propuesto por la FAO en 1994, creada para evaluar la tierras, tomando en cuenta factores biofísicos, climáticos y socioeconómicos, para clasificar la tierra por su aptitud para la producción agrícola comercial y de seguridad alimentaría.

Se han integrado la Zonificación Agroecológica, con los Sistemas de Información Geográfica e Imágenes Satelitales (ZAE-SIG-ISAT) como estrategia de la planificación, para la generación de información útil y cartografía temática. Las sobreposiciones, operaciones de tabla y de redes en formatos vector y raster, que realizan los SIG han permitido obtener los inventarios de: geomorfología, suelos, cobertura vegetal, zonas térmicas, zonas de precipitación, células agroecológicas (CEAS), distribución de la radiación solar, y las clases de aptitud de tierras para los cultivos de: maíz, café, arroz, banano, cítricos, hortalizas, seleccionados por importancia económica y seguridad alimentaría para la subcuenca.

---

<sup>1</sup> **PLANACHBOL (1997)** un sistema puede ser definido como un conjunto de objetos que interaccionan de manera regular e interdependiente. La ingeniería de sistemas se aboca a la toma de decisiones en relación aquellos aspectos del sistema que están sujetos a un cierto grado de control para alcanzar los objetivos dados.

<sup>2</sup> **FAO (1997)**, Define tierra a una área específica de superficie terrestre. En el contexto de la evaluación de tierra, incluye propiedades de la superficie, suelo y clima, a sí como de cualquier planta o animal residente en ella.

Por las características de la investigación, se delimito la Subcuenca Hidrográfica Río Boopi. En primera instancia con respecto a la perspectiva metodológica utilizada, hubo que cuestionar el nivel de escala de estudio, a la que debía ser delimitada y aplicada la metodología ZAE, aunque fue creada para diferentes escalas, pero la escala fue definida en términos de las ***Divisiones Menores de la cuenca, la geopolítica y parte-aguas***. Los resultados demostraron, que la subcuenca tiene una relación directa a nivel provincial y sus microcuencas a nivel municipal, por lo que la escala de estudio se define como semidetallado (1:250.000). Los límites determinados por ***parte-aguas*** demostrarán que la subcuenca es un “sector” componente de la Subcuenca Hidrográfica Río La Paz-Boopi, con una superficie de 88710.8 ha. 22 microcuencas con 1696 familias asentadas, administrativamente bajo jurisdicción provincial de Caranavi, Sud Yungas y Nor Yungas, y los municipios involucrados son: Caranavi, La Asunta, Palos Blancos y Coripata.

Sobre la delimitación de la subcuenca “sector” y la integración ZAE-SIG-ISAT se articula el proceso de la planificación de uso de tierras, con basa esquemático de Planificación de MIC<sup>3</sup> propuesto por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 2003. En el diseño final la planificación tiene dos niveles de intervención o escenarios: La subcuenca como ***unidad de concertación y de representaciones a nivel provincial*** y las microcuencas como las ***unidades de uso de tierras a nivel de municipios desde el punto de vista técnico y social organizativa***.

---

<sup>3</sup> MIC según PNUMA (2003). Se entiende como tal, la ciencia o arte que trata sobre la gestión para el uso apropiado de los recursos naturales en función de la intervención humana y sus necesidades, propiciando al mismo tiempo la sostenibilidad, la calidad de vida, el desarrollo y el equilibrio.

## I. INTRODUCCIÓN

La cuenca hidrográfica es la unidad que mejor se ajusta a los objetivos de la planificación territorial, por que forman sistemas hidrológicos y ecológicos relativamente coherentes. Inicialmente los planes de manejo de cuencas hidrográficas, tenían mucho que ver por lo general con un problema específico, como por ejemplo el control de inundaciones, el riego, la navegación o el abastecimiento de agua para consumo humano o industrial, sin tomar en cuenta recursos de tierra y ambiente. Ante esta panorámica la planificación estaba cuestionada. En cierto grado, la Planificación de Manejo Integral de Cuencas (MIC) fue una respuesta a este problema, ya que se trató de coordinar y desarrollar armónicamente los usos de agua, tierra y ambiente. Sin embargo en estudios típicos de la Planificación Integral en década del 90 y año 2003. demostraron escasez de pautas para evaluar la tierra y sus aspectos socioeconómicos.

En este sentido la presente investigación propone llenar el vacío que existe para la planificación de uso de tierras en límites la cuenca, a través de una metodología que brinda gran ayuda para evaluar la tierra con principios “integracionistas” (tierra, ambiente y aspectos socioeconómicos), esta es ***la Zonificación Agroecológica (ZAE)*** propuesta por la FAO en 1994, metodología creada para la evaluación de tierras, fundamentada en un análisis cuantitativo de factores biofísicos, climáticos y socioeconómicos, que nos permitan entrar a un procedimiento de adecuación de la tierra y cultivos, para encontrar mejores tierras para la producción agrícola comercial y de seguridad alimentaria, sin consiguiente deterioro del medio ambiente.

Debido a las características de la investigación, para realizar la planificación de uso de tierras, se ha tenido que definir los niveles de intervención de la planificación, con este fin una primera actividad fue la delimitación de la subcuenca hidrográfica Río Boopi, según su ***grado de concentración de la red de drenaje, patrones de aguas y geopolítico.***

A escala de estudio semidetallado (1:250.000) los niveles de intervención de la planificación muestran dos escenarios, la subcuenca en los límites político administrativos de la provincia y las microcuencas en los territorios municipales.

Para ordenar sistemáticamente los datos territoriales y socioeconómicos obtenidos en la investigación, y generación de cartografía temática, se tomó como estrategia ***integrar la Zonificación Agroecológica (ZAE), con Sistemas de Información Geográfica (SIG) e Imágenes Satelitales (ISAT),***

para obtener resultados mucho mas eficientemente, fáciles de interpretación para en la Planificación de uso de tierras en limites de la subcuenca hidrográfica.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Caracterización de la Subcuenca Río Boopi con base metodológica de Zonificación Agroecológica, considerando factores biofísicos, climáticos y socioeconómicos para la Planificación de Uso de Tierras.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar y evaluar los factores que determinan la Zonificación Agroecológica, a sí como también el espacio territorial de la Subcuenca.
- Lograr que la Zonificación Agroecológica, sirvan como línea base para efectuar planes de uso de tierras a estudio semidetallado a nivel de subcuenca.
- Plantear que la Planificación de Uso de Tierras oriente en la organización de la utilización de la tierra a autoridades locales y habitantes en general.

### **2.3. Hipótesis alterna**

A estudio local (subcuenca) la Zonificación Agroecológica (ZAE) permite que los factores biofísicos y climáticos sean mejor evaluados y caracterizados, para la planificación de uso de tierra.

## **III. REVISIÓN BIBLIOGRAFIA**

### **3.1. UTILIZACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES EN LA EVALUACIÓN DE TIERRAS**

El satélite Landsat (TM-5) se encuentra a una altura de altura de aproximadamente de 700 Km. y tiene un periodo de revisita de 16 días de la superficie terrestre, posee dos sensores multiespectrales, el sensor MSS y el sensor Thematic Mapper (TM). La resolución espacial esta representado por un píxel, que tiene unas superficie mínima de análisis de 30 x 30 m (salvo en la banda infrarrojo termal donde cada píxel tiene un tamaño de 120 x 120 m). Una escena completa de TM cubre 185 por 170 Km. y una cuarta escena, conocido como Quad o subescena cubre 100 por 100 Km (DZEL, 2003). Las ventajas que tiene a utilizar imágenes satelitales, se encuentra muy bien explicada en él (Business Image Spot, 2003), la respuesta más sencilla es que las imágenes satelitales son más rápidos, mejores y baratos. La

imagen del satélite es con frecuencia el medio más rápido para adquirir información geográfica aprovechable.

**3.1.1. Principios básicos de la percepción remota. Según Deutsches Zentrum für Luft (DZEL, 2003).** La percepción remota o teledetección es una técnica que consiste en captar la energía electromagnética emitida o reflejada por los objetos, sin estar en contacto físico con ellos, es decir a la distancia.

Todo objeto cuya temperatura sea mayor que 0°K emite energía electromagnética (E.E.). Para captar esta energía se utilizan instrumentos especiales denominados "sensores remotos". Estos equipos poseen detectores adecuados para recibir la (E.E.) emitida o reflejada por los objetos, en rangos de longitudes de onda o frecuencias específicas (**DZEL, 2003**).

Se desprende de lo afirmado anteriormente que:

- a) La energía emitida por un objeto está relacionada con su temperatura

Ley de Stephan Boltzmann:  $W = \epsilon \sigma T^4$

W= Energía total emitida por unidad de superficie

$\epsilon$ = Emisividad

$\sigma$ = Constante de Stephan Boltzmann

T= Temperatura en grados Kelvin

- b) Existe una longitud de onda en la cual se produce el máximo de emisión. Ambas expresiones las podemos analizar en las siguientes fórmulas.

Ley de Wien:  $\lambda_m T = 2.987$

$\lambda_m$ = Longitud de onda en la cual la radiación es máxima

T= Temperatura en grados Kelvin

En la primera fórmula, la ley de Stephan Boltzmann, vemos que la energía total emitida depende también de otro parámetro: la emisividad. Un cuerpo que absorbe toda la energía que recibe y a la vez emite el máximo de energía a su temperatura, se le denomina cuerpo negro y emisividad es igual a uno ( $E=1$ ). Para el resto de los objetos en la naturaleza la emisividad es menor a la unidad y varía de acuerdo a la longitud de onda, es decir la emisividad es un parámetro espectral ( $f(\lambda)$ ).

Si comparamos las dos relaciones anteriores sobre un diagrama del espectro electromagnético veremos que por ejemplo la Tierra a 300°K emite su máxima energía en los 3 $\mu$ m y 7 $\mu$ m y que el Sol a 6.400°K

emite el máximo de energía en los  $0.4\mu\text{m}$ . Esto significa que, para poder captar la energía emitida por la Tierra, un sensor debe ser capaz de detectar la E.E. en los  $10\mu\text{m}$ . Ahora, si comparamos estas cifras con nuestro propio sensor remoto el "ojo", que sólo capta longitudes de onda entre  $0.4$  y  $0.7\mu\text{m}$ . veremos que la energía emitida por la Tierra queda fuera del campo de acción o rango de funcionamiento de éste.

De ahí que, para poder ver los objetos con el ojo, debamos irradiarlos o "iluminarlos" con energía proveniente de otra fuente y esta fuente puede ser natural (sol) o artificial (lámpara). Debe quedar claro entonces que estamos captando la energía reflejada por el objeto y no la energía emitida. Esta energía reflejada depende de las características superficiales de objeto y no de su estructura interna.

Por lo tanto, con el fin de extraer información útil de datos captados mediante sensores remotos, debemos manejar estas variaciones y así evitar errores de interpretación. Este es el motivo por el cual en la interpretación de imagen satelitales debemos conocer sus características, para obtener información de la superficie terrestre (**DZEL, 2003**). Estas características son:

- a) **Resolución espacial.** Esta determinado por el tamaño de píxel, medidos en metros sobre el terreno, depende de la altura del sensor con respecto a la tierra, el ángulo de visión, velocidad de barrido y las características óptimas de las mismas. Las imágenes Landsat tienen una resolución espacial de  $30 \times 30$  m de las bandas 1 a y 7 y de  $120 \times 120$  en la 6 (banda térmica).
- b) **Resolución espectral.** Es el número de canales espectrales 8 y su ancho de banda) que es capaz de captar el sensor. El Landsat tiene una resolución espectral 7. considera como ventajosa a diferencia de otras convencionales como el SPOT que tiene resolución espectral 3. la resolución espectral nos permite separar los objetos por radiación o firmas espectrales.
- c) **Resolución radiométrica.** Llamada también como radiación dinámica, se refiere a la cantidad de niveles de gris en que se divide la radiación recibida para ser almacenada y procesada posteriormente. Por esta razón las imágenes son analógicas, así que el Landsat tiene resolución espectral de 2 elevado a la 8 igual 256 niveles de gris, esto significa que tenemos una mejor resolución dinámica en el TM y podemos distinguir las pequeñas diferencias de radiación.
- d) **Resolución temporal.** Es la frecuencia de pasada por una misma área. Esto significa cada cuanto tiempo pasa el satélite por el mismo sector de la tierra. El Landsat TM tiene un ciclo de 3 días cuando el máximo ángulo de deflexión del espejo o 26 días en un ciclo normal.

**3.1.2. Correcciones de la imagen satelital.** Existen correcciones que deben efectuarse antes de desplegar una imagen en monitor. La naturaleza de los errores son de índole instrumental del satélite (DZEL, 2003).

**3.1.2.1. Correcciones radio métricas.** Las principales fuentes de errores en radiometría en las imágenes digitales son:

- La calibración de los detectores que convierten la radianza recibida en valores digitales.
- Los efectos atmosféricos, principalmente la dispersión y absorción de la radiancia en su paso a través de la atmósfera.

Las correcciones radiométricas consisten en reducir lo máximo posible esos errores que degradan la calidad de imagen, por ejemplo para la preparación de un mosaico de imágenes esos efectos de la atmósfera y los efectos del sensor deben ser reducidos al máximo posible para obtener una imagen de buena calidad, por que en este caso podemos notar la diferencia entre las distintas imágenes.

**3.1.2.2. Correcciones geométricas.** Para muchas aplicaciones con datos de sensores remotos se requieren de una gran precisión geométrica, por ejemplo para la superposición con mapas, para esto las imágenes deben ser corregidas geométricamente, lo que se llama también geocodificación o georeferenciación.

Se usan dos clases de corrección geométrica:

- Paramétrica: o correcciones sistemáticas donde se usan los parámetros provistos por la plataforma o el mismo sensor.
- No Paramétrica o correcciones de escena, que tienen en cuenta errores no sistemáticos en la proyección de vuelo o influencia de relieve y otros parámetros, es un problema que el usuario debe afrontar y asumir de acuerdo a los métodos de proyección mas adecuado para la región en estudio.

Una de los sistemas mas usado en la teledetección esta basada en proyección conforme, cilíndrica y transversal llamada Universal transverse Mercator (UTM).

Los limites de la proyección UTM son 84 grados de latitud norte y 80 sur (las regiones polares se describen con la proyección polar esferográfica). El esferoide internacional se divide en 60 zonas cada una de las cuales están separadas a 6 grados de longitud, cada uno de su meridiano de 177 grados

oeste. Las coordenadas (x, y), se las mide en metros. El origen de cada zona en él en el ecuador y su correspondiente meridiano central. Para eliminar valores se asignan valores al ecuador y meridiano central. En el hemisferio norte el falso Norte es 0 y falso Este 500.000. mientras que el hemisferio Sur el falso Norte es 10.000.000 y el falso Este de nuevo 500.000 m.

**3.1.3. Proyecciones cartográficas para elaboración de mapas.** Todos los mapas son representaciones aproximadas de la superficie terrestre. Son aproximadas porque la Tierra, esférica, es diseñada en una superficie plana. La elaboración de un mapa consiste en un método según el cual se hace corresponder a cada punto de la Tierra, un punto en el mapa. Para obtener esa correspondencia, se utilizan los sistemas de proyecciones cartográficas. Existen diferentes proyecciones cartográficas, una vez que existen diversas formas de proyectar los objetos geográficos que caracterizan la superficie terrestre, en un plano. Como consecuencia, se torna necesario clasificarlas según sus diversos aspectos, a fin de estudiarlas mejor (SGI, 1998).

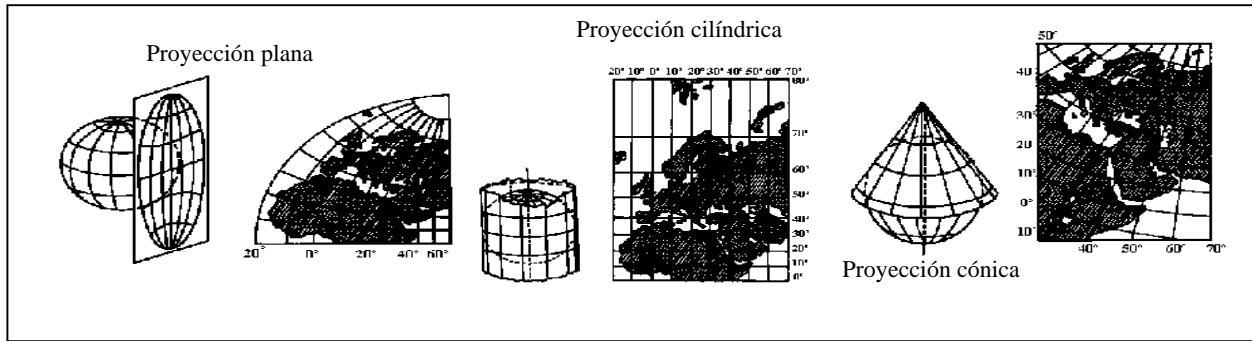
**3.1.3.1. Clasificación de las proyecciones.** Los sistemas de proyecciones cartográficas se analizan por el tipo de superficie adoptada y el grado de deformación (SGI, 1998). Por el tipo de superficie de proyección adoptada, las proyecciones se clasifican en:

1. Proyección plana o azimutal. Un mapa se construye imaginándolo situado en un plano tangente o secante a un punto en la superficie de la Tierra. Ejemplo: proyección estereográfica polar.
2. Proyección cónica. Un mapa se obtiene imaginándolo diseñado en un cono que envuelve la esfera terrestre, que es enseguida desenrollado. Las proyecciones cónicas pueden ser tangentes o secantes. Se puede constatar que en todas las proyecciones cónicas los meridianos son rectas que convergen en un punto (que representa el vértice del cono) y todos los paralelos, circunferencias concéntricas a ese punto. Ejemplo: proyección cónica de Lambert.
3. Proyección cilíndrica. Este mapa se obtiene imaginándolo diseñado en un cilindro tangente o secante a la superficie de la Tierra, que es después desenrollado. Es posible verificar que en todas las proyecciones cilíndricas, tanto los meridianos como los paralelos son representados por rectas perpendiculares. Ejemplo: proyección Mercator.

A continuación se muestra la comparación de la representación de un cuarto de hemisferio, según tres diferentes sistemas de proyección (Figura1).



**Figura 1.** Diferentes sistemas de proyección en un cuarto de hemisferio



Fuente: SGI 1998

La superficie de la Tierra es una superficie curva irregular, no obstante se aproxima a un elipsoide (descrito en el ítem modelos del elipsoide). El elipsoide se puede transformar en una esfera con la misma superficie: constituye un globo terrestre. No obstante es imposible hacer una copia plana de esta superficie sin desfigurarla o alterarla. En ese proceso, pocas medidas se pueden mantener. Por eso se debe escoger entre una posible conservación de los ángulos, una proporcionalidad de las superficies o un otro método que reduzca los efectos de la deformación, tomando en cuenta lo que se pretende analizar en el mapa. Se introduce entonces el concepto grado de deformación. Por el grado de deformación de las superficies representadas, las proyecciones se clasifican en:

- **Conformes o isógonaes:** mantiene fidelidad a los ángulos observados en la superficie representada. No obstante al mantenerse la precisión de los ángulos, se distorsiona la forma de los objetos en el mapa. Ejemplo: Mercator.
- **Equivalentes o isométricas:** conservan las relaciones de superficie (no hay deformación de área). Ejemplos: Cónica de Albers. Azimutal de Lambert.
- **Equidistantes:** conservan las proporciones entre las distancias, en determinadas direcciones, en la superficie representada. Ejemplo: Cilíndrica Equidistante.

**3.1.3.2. Descripción de las 7 bandas o canales del Landsat TM.** la descripción de las bandas son (DZEL, 2003):

1. Banda ultravioleta (0.25-0.5  $\mu\text{m}$ ). La radiación ultravioleta que llega a la superficie de la tierra, es fundamentalmente difundida antes de su reflexión. Las imágenes son generalmente borrosas, salvo en atmósfera muy clara (invierno).

2. Banda azul (0.4-0.5  $\mu\text{m}$ ). Una gran parte de la radiación azul es difundida por la atmósfera y otra, reflejada. Se obtienen las imágenes cuando hay atmósfera muy clara y a baja altitud. Su penetración en el agua depende la turbulencia, turbidez y salinidad.
3. Banda verde (0.5-0.6  $\mu\text{m}$ ). La difusión atmosférica es menos fuerte, la vegetación verde es muy reflejada, las superficies claras de suelos desnudos producen un fuerte componente amarillo. La penetración en el agua es mejor que en la banda azul (puede llegar a 20-30  $\mu\text{m}$ ). Este intervalo espectral, corresponde al máximo de energía solar que llega al suelo.
4. Banda rojo (0.6-0.7  $\mu\text{m}$ ). Tiene menos difusión, es la mas absorbida por la vegetación verde; refleja mas la superficie de suelos desnudos (arena, sectores intervenidos, sectores construidos), no tiene buena penetración en el agua, los productos en suspensión en el agua son claramente visibles.
5. Banda infrarrojo próximo (0.7-0.8  $\mu\text{m}$ ). Caracterizado por dos fenómenos importantes en el momento de su reflexión totalmente absorbida por el agua y fuertemente reflejada por la vegetación verde. Las superficies de suelo desnudo, absorben mas esta banda que el visible y la distinción entre zonas forestales y deforestadas no es tan buena como la roja.
6. Banda infrarrojo media (0.8-1.1  $\mu\text{m}$ ). Tiene características muy similares a la anterior, con la diferencia de ser más sensible a la cantidad de agua en las hojas de los bosques. Tiene buena reflectancia en suelos desnudo.
7. Banda infrarrojo térmica (3-5 y 8-14  $\mu\text{m}$ ). Corresponde a la porción del espectro donde la emisión de temperatura de la superficie esta comprendida entre  $-50$  y  $+70^{\circ}\text{C}$ ; es decir, la gran mayoría de las superficies naturales, excepto la lava de los volcanes, incendios forestales. etc.

**3.1.3.3. Combinaciones de las bandas del captor TM.** Ciertas combinaciones de bandas del captor temático nos pueden ayudar a percibir los objetos en el orden siguiente (**DZEL, 2003**), azul, verde y rojo, por ejemplo la combinación de bandas 2.3.4 significa que la banda TM2 esta registrada en azul, la banda TM3 en verde y la banda TM4 en rojo. Puede encontrarse las siguientes combinaciones:

**2.3.4 (TM2 en azul. TM3 en verde. TM4 en rojo).** Es la combinación de bandas correspondiente al formato infrarrojo. Ella da pruebas de la buena sensibilidad a la vegetación verde (que aparece en color rojo), en tanto que los caminos y las masas de agua son muy visibles. El rojo de los bosques no caducifolios es sustancialmente más rojo oscuro que el de los bosques de árboles con hojas caducas.

**3.4.5 (TM3 en azul. TM4 en verde. TM5 en rojo).** Esta combinación implica una banda proveniente de cada uno de las tres principales zonas espectrales reflectadas (la visible, la infrarrojo próximo, la infrarrojo de ondas cortas). La vegetación verde esta registrada en verde y el infrarrojo de onda corta puede poner en evidencia las zonas de daño y de mortalidad de la vegetación. Los caminos son menos

**3.4.7 (TM3 en azul. TM4 en verde. TM7 en rojo).** Esta combinación es semejante a la combinación 3.4.5 pero el registro de ciertos tipos de daños de la vegetación (por ejemplo las zonas quemadas) pueden ser menos nítido. Por tanto, los trabajos sobre esta combinación se prosiguen.

**3.1.3.4. Clasificación digitales de la de la imagen satelital.** La clasificación digital supone la fase culminante del tratamiento digital de la imágenes. Esto viene dado por la naturaleza misma de la teledetección, los valores de los píxeles son interpretados en categorías que proporcionen mejor conocimiento de la superficie terrestre. Como fruto de la clasificación digital se obtiene una cartografía inventario de los objetos que se estudia. Existe dos tipos de clasificación y son:

**3.1.3.4.1. Clasificación no supervisada.** La computadora hace prácticamente, en forma automática la selección de clases, también llamado clustering (agrupación de píxeles de acuerdo a sus características espectrales). Este tipo de clasificación se usa cuando no hay información disponibles sobre los datos o cuando no se conoce la verdad de campo. Es tipo de clasificación es muy útil para luego verificarlas y corregirlas con la ya conocida en relevamiento de campo.

**3.1.3.4.2. Clasificación supervisada.** Es el análisis de los datos de la clasificación. Como vimos anteriormente en la clasificación no supervisada se separan los píxeles de acuerdo a sus características espectrales, pero tiene una desventaja de que es muy difícil separarlos, como resultado se obtiene una cantidad demasiado grande de clases que luego se presta a confusión. En la clasificación supervisada las áreas se definen a través de las áreas de entrenamiento (training), la desventaja es que se debe conocer el terreno previamente a clasificar.

**3.1.4. El sistema GPS.** El Global Position System (GPS) consiste de 21 satélites que dan información precisa sobre posición, velocidad y tiempo, es básicamente un sistema de posicionamiento y navegación. Los satélites tienen órbitas a una altura aproximadamente de 290.187 Km y transmiten permanentemente datos que incluyen tiempo, mensajes de posición, altitud y hora (SGI, 1998).

### 3.2. CUENCAS HIDROGRÁFICAS.

**3.2.1. Definición de cuenca.** El Plan Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas (**PLANACHBOL, 1997**), define a la cuenca hidrográfica como una unidad natural en la que cohabitan todos los organismos vivos y conforman un hogar para todos, los recursos hidrobiológicos, su biodiversidad y todas las actividades humanas están albergadas en esta casa común que se llama cuenca hidrográfica. En consecuencia la intervención no pensada del hombre en la cuenca puede provocar un desequilibrio y determinar un empobrecimiento general.

La Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales de la república del Perú (**OIERN-NRENA, 2003**), señala que la cuencas hidrográficas constituye un unidad de planificación de uso de los recursos hídricos y tierra.

Las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (**PNUMA, 2003**), señala que la cuenca es la unidad que mejor se ajusta a s propósitos de la planificación territorial, por formar sistemas hidrológicos y ecológicos coherentes.

**3.2.2. Delimitación de cuencas hidrográficas.** (**PLANACHBOL, 1997**) señala que pocas son las instituciones que realizaron delimitaciones de cuencas hidrográficas en nuestro medio, como el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) en convenio con la UNESCO y ORSTOM, delimitaron tres grandes cuencas en el país. la Amazónica con siete cuencas: Madre de Dios. Beni. Orthon. Mamore. Itenez. Parapeti-Izozog y Abuna; la Altiplánica con tres cuencas: Desaguadero-Poopó. Titicaca y Coipasa-Uyuni; y del Plata con tres cuencas: Pilcomayo. Bermejo y Paraguay, de acuerdo a (**PLANACHBOL, 1997**) sé delimitaron las cuencas de acuerdo a criterios geopolíticos y de parte-aguas.

(**OIERN-NRENA, 2003**), señala que ha y muchas formas de clasificar a la cuenca hidrográfica, el que se adecua para estudios detallados es la clasificación por el grado de concentración de la red de drenaje, con cinco clases: Gran Cuenca. Cuenca. Subcuenca. Microcuenca y Quebrada. De acuerdo a la escala de trabajo se dividen en dos:

#### **Divisiones Mayores**

- Gran cuenca. Considerada como toda área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de la cuenca. Varias cuencas forman una gran cuenca.

- Cuenca. Considerada como toda área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de la gran cuenca. Varias cuencas forman una gran cuenca.

### Divisiones Menores

- Subcuenca. Considerada como toda área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de la cuenca. Varias subcuencas forman una cuenca.
- Microcuenca. Considerada como toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una subcuenca. Varias subcuencas forman una subcuenca.
- Quebrada. Es toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una microcuenca. Varias quebradas forman una microcuenca.

**Tabla 1.** Divisiones mayores y menores de la cuenca de acuerdo a escala de trabajo

División	Clasificación	Nivel territorial	Criterios de delimitaron
MAYORES	Gran Cuenca	Internacional	Geopolíticos (en el ámbito de dos o más naciones) y de parte-aguas, en concordancia con las curvas de nivel del mapa físico a escala 1:10'000.000. Para estudios exploratorios escala 1: 8'000.000
	Cuenca	Interdepartamental	Geopolíticos (en el ámbito de dos o más departamentos) y de parte-aguas, en concordancia con las curvas de nivel del mapa físico a escala 1:1'000.000. Para estudios exploratorios escala 1: 8'000.000
MENORES	Subcuenca	Provincial	Geopolíticos (en el ámbito de dos o más provincias) y de parte-aguas, en concordancia con las curvas de nivel del mapa físico de a escala 1: 500.000. para estudios semidetallados escala 1:250.000
	Microcuenca	Intermunicipal	Geopolíticos (en el ámbito de dos o más municipios) y de parte-aguas, en concordancia con las curvas de nivel del mapa físico de a escala 1:250.000. para estudios detallados escala 1:50.000
	Quebrada	Intercomunal	Geopolíticos (en el ámbito de dos o más comunidades) y de parte-aguas, en concordancia con las curvas de nivel cartas topográficas escala 1: 50.000. para estudios detallados escala 1:10.000

Fuente: OIERN-NRENA (2003).

**3.2.3. División de la cuenca hidrológica según aspectos físicos y climáticos.** Según parte alta, media y baja, esto generalmente se realiza en función a características de relieve, altura y aspectos climáticos. Permite relacionar como las partes altas de las cuencas inciden en las partes bajas, por ejemplo si de deforesta la parte alta como afecta la escorrentía en las partes bajas, o si se aplican agroquímicos y plaguicidas en forma irracional en las partes altas, como se contamina las aguas que deben aprovecharse aguas abajo (OIERN-INRENA, 2003).

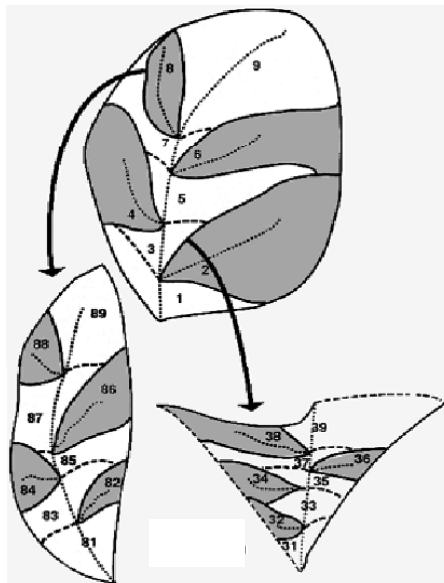
**3.2.4. Codificación de la cuenca hidrográfica.** La Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales de la republica de Perú (OIERN-INRENA, 2002), desarrolló un primer plano de delimitación de cuencas en la Republica de Perú a partir del cual se determinaron 106 cuencas hidrográficas, este ha sido hasta la fecha el plano que se ha utilizado por las diferentes instituciones como el plano de delimitación de cuencas estándar. En los últimos años se ha realizado algunos esfuerzos por desarrollar los planos de delimitación de cuencas, sin embargo estos esfuerzos han sido

aislados y no han sido guiados por un criterio estándar. En este método la importancia de cualquier río está relacionada con el área de su cuenca hidrográfica. Es hecha una distinción entre río principal y tributario, en función del criterio del área drenada. Así, en cualquier confluencia, el río principal será siempre aquel que posee la mayor área drenada entre los dos. Denominándose cuencas las áreas drenadas por los tributarios e intercuenas las áreas restantes drenadas por el río principal. En función a estos criterios las áreas drenadas deben ser codificados.

El proceso de codificación consiste en: subdividir una cuenca hidrográfica, cualquiera que sea su tamaño, determinándose los cuatro mayores afluentes del río principal, en términos de área de sus cuencas hidrográficas. Las cuencas correspondientes a esos tributarios son enumerados con los dígitos pares (2, 4, 6 y 8), en el sentido desde la desembocadura hacia la naciente del río principal. Los otros tributarios del río principal son agrupados en las áreas restantes, denominadas intercuenas, que reciben, en el mismo sentido, los dígitos impares (1, 3, 5, 7 y 9).

Cada una de esas cuencas e intercuenas, resultantes de esa primera subdivisión, pueden ser subdivididas de la misma manera, de modo que la subdivisión de la cuenca 8 genera las cuencas 82, 84, 86 y 88 y las intercuenas 81, 83, 85, 87 y 89. El mismo proceso se aplica a las intercuenas resultantes de la primera división, de modo que la intercuenca 3, por ejemplo, se subdivide en las cuencas 32, 34, 36 y 38 y en las intercuenas 31, 33, 35, 37 y 39. Los dígitos de la subdivisión son simplemente agregados al código de la cuenca (o intercuenca) que está siendo dividida. (Figura 2).

**Figura 2.** Modelo de codificación de la cuenca hidrográfica



Fuente: OIERN-INRENA 2003

### 3.3. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

**3.3.1. Definición de SIG.** Se define un SIG como al conjunto de datos espaciales, sistemáticamente organizados, que emulan la realidad (**Chuvieco, 1996**).

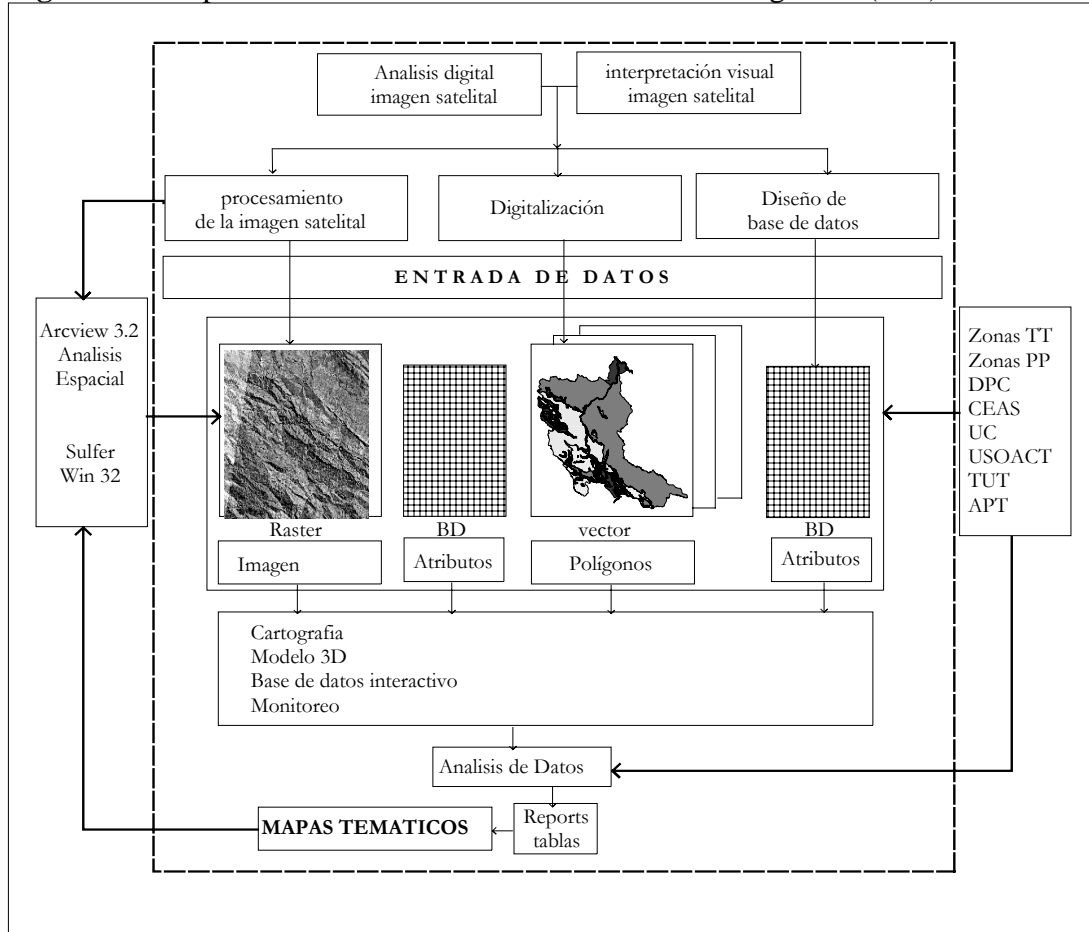
**3.3.2. Aplicación de SIG para la generación de datos espaciales y cartografía temática.** (**Miranda E.E, 2002**) menciona que un *Sistemas de Información Geográfica* (SIG) es aplicado para sistemas que realizan el tratamiento computacional de datos geográficos. Debido a su amplia gama de aplicaciones, que incluye temas como agricultura, bosques, cartografía, catastro urbano y redes de distribución (agua, energía y telefonía), existen tres grandes maneras de utilizar un SIG:

- Como herramienta para la producción de mapas;
- Como soporte para el análisis espacial de fenómenos;
- Como un banco de datos geográficos, con funciones de almacenaje y recuperación de información espacial.

(**FAO, 1997**), señala que el inventario de recursos tierras se basa en la combinación de diferentes capas con información georeferenciada. Tales técnicas es mucho más fácil de desarrollar mediante SIG.

(**Ordóñez, 1995**), señala que los principales componentes de un SIG básicamente son (Figura 3):

- Un subsistema de entrada de datos (mapas, datos numéricos etc.);
- Un subsistema de almacenamiento y recuperación de datos espaciales en una forma que posibilite un acceso eficiente a los mismos;
- Un subsistema de manipulación, para analizar y generar datos derivados;
- Un subsistema de presentación de datos, tanto en la forma tabular como gráfica.

**Figura 3.** Componentes de un Sistema de Información Geográfica (SIG)

Fuente: recopilación (Ordóñez, 1995),

(FAO, 1997), señala que la sobre posición del mapa de zonas térmicas, zonas de duración de periodo de crecimiento y de unidades de suelos deriva el mapa de inventariación de recursos tierra.

(FAO, 1994), también señala que la información relativa a la duración del periodo de crecimiento y de temperatura se obtiene los mapas de isolineas respectivas.

(FAO, 1994), señala que la sobreposición de isolineas de duración de periodo de crecimiento y de isolineas de temperatura medias permite identificar, cuantificar e inventariar las distintas zonas térmicas y de DPC que se presentan en la región.

### 3.3.1. BASE DE DATOS.

**3.3.1.1. Definición de base de datos.** Una base de datos es una colección de datos georreferenciados que desempeña el papel de la realidad (Chuvieco, 1996).



Los elementos del mundo real modelados o representados en una base de datos de un SIG. tienen tres identidades:

1. Entidad: es el elemento de la realidad, ej. Río, comunidad, bosque. etc.
2. Objeto: es el elemento que esta representando a la entidad en la base de datos digital, ej. Punto, línea, polígono, etc.
3. Simbolo: es un elemento importante en aplicaciones cartográficas para representar el objeto/entidad en el campo.

### **3.3.1.2. Modelo de estructura de base de datos**

**3.3.2.1.1. Modelo vectorial.** El modelo vectorial representa los elementos geográficos ya sea por un punto, línea o polígono. El modelo vectorial representa los elementos geográficos con mucha precisión, y la cartografía resultante es de muy buena calidad.

**3.3.2.1.2. Modelo raster.** El modelo raster divide toda el área de estudio en una retícula de cuadrículas de un solo tamaño y en una secuencia específica. Cada cuadrícula esta representada por un numero de filas y de columnas. Además contiene un numero que es el valor del atributo del elemento que representa.

Modelo de base de datos alfanumérico

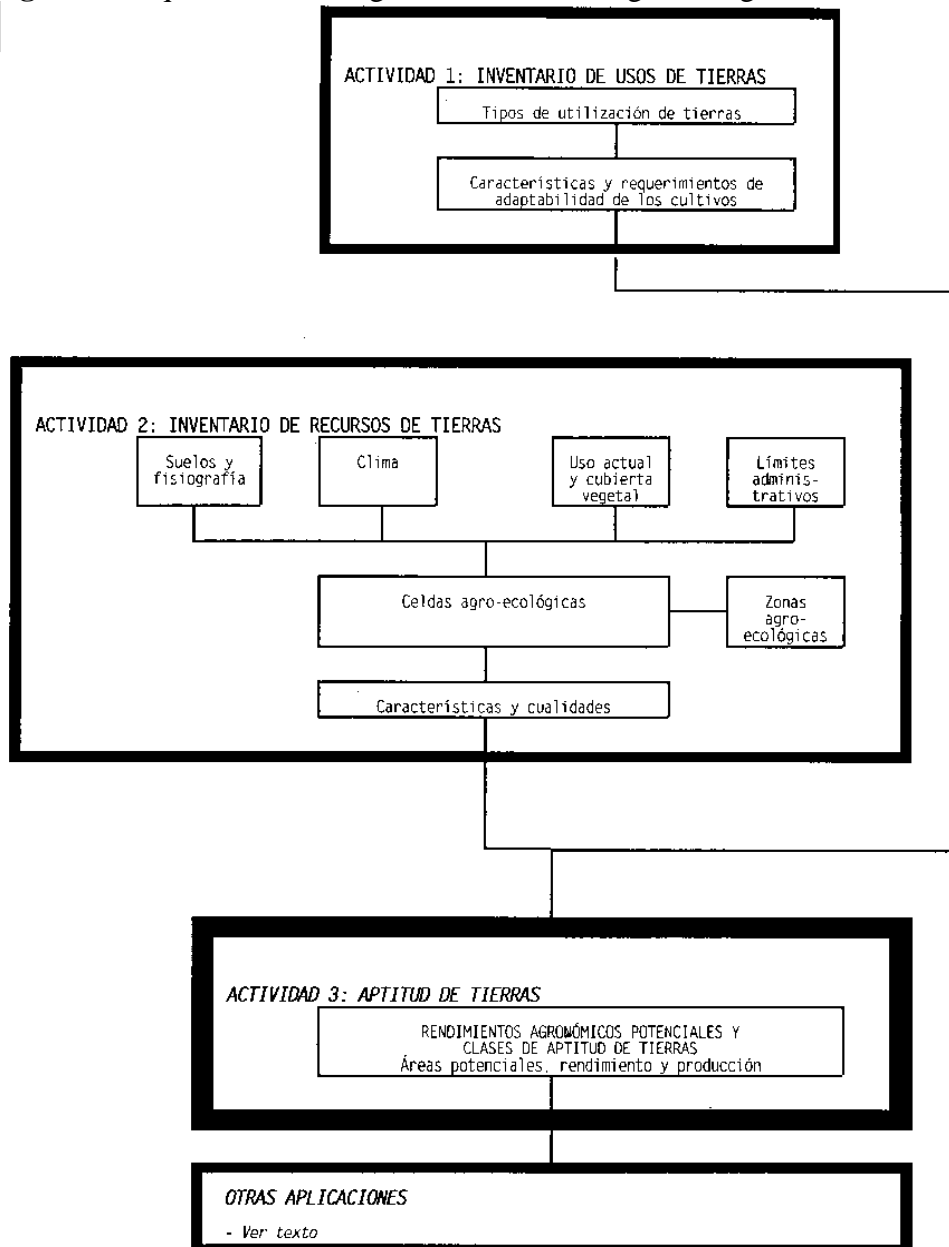
1. **Modelo jerárquico.** Este modelo establece niveles de jerarquía entre los datos, los que son recuperados mediante claves que sirvan para enlazar los diferentes archivos. Los sistemas jerárquicos de organización de datos son frecuentemente aplicados en las ciencias del medio ambiente.
2. **Modelo de redes.** El modelo de redes representa los datos entre lazados entre sí formando grupos de datos interrelacionados por claves. El modelo de redes supera algunos problemas de redundancia del modelo jerárquico.
3. **Modelo relacional.** Es mas utilizado por los SIG. debido a su simplicidad para capturar los datos geográficos en una serie de tablas de dos dimensiones conocidos como relaciones, enlazados entre sí por llaves o claves.

### 3.4. ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA BAJO EL ENFOQUE FAO

**3.4.1. Definición de Zonificación Agroecológica (ZAE) de acuerdo a la FAO.** Se define como aquellas unidades que tienen combinaciones similares de clima, suelos y mismo potencial biofísico para la producción agrícola (FAO, 1997).

(FAO, 1994), señala que la metodología ZAE tienen un conjunto de actividades, que conducen a la evaluación de la aptitud de la tierra, en función al edecumamiento tierra y cultivos; y rendimiento agronómico (Figura 4).

**Figura 4.** Esquema metodológico Zonificación Agroecológica



La (FAO, 1997) indica que la Zonificación Agroecológica (ZAE) esta basada en la inventariación de los factores socioeconómico, suelos, clima y cultivos; la (FAO, 1994) considera que estos factores son normalmente utilizados para describir los Tipo de Utilización de Tierras (TUT), equivalente a la descripción de la cobertura y uso actual de la tierra.

**3.4.2. Inventario edafoclimatico y socioeconómico.** La recopilación de datos de cultivos para Zonificación Agroecológica según la (FAO, 1994) son necesarios datos de adaptabilidad edafoclimáticos, fenología y características fotosintéticas, con fin de establecer la base analítica para aptitud de la tierra por cultivos.

(FAO, 1997), señala que la evaluación de unidades geomorfológicas debe definirse a través de la interpretación de fotografías aéreas o imágenes satelitales. También sirven los datos de mapas existentes sobre la temática. Para niveles de investigación más detallados los mapas provinciales suelen ser suficientes.

(FAO, 1994), señala que la inventariación de unidades de suelos raramente comprenden suelos individuales, puesto que normalmente consisten en una combinación de un suelo dominante y suelos asociados, cuando varios suelos de una unidad cartografiada se presentan en proporciones definidas constituyen una asociación de suelos, y son distintas en un complejo.

(FAO, 1997), señala que la evaluación de los regímenes de precipitación y temperatura, son parámetros básicos que se utilizan en la zonificación agroecológica para verificar la disponibilidad de agua para los cultivos y la temperatura adecuada para el crecimiento de las plantas durante el periodo de crecimiento. La radiación solar es evaluada para el calcular la tasa de acumulación de materia seca o biomasa, llamado también rendimiento potencial agronómico.

(FAO, 1997), señala que uno de los parámetros más importantes en la evaluación de recursos agroclimáticos para una región, es la duración de los periodos de crecimiento (DPC), básicamente determinado por la disponibilidad de agua y temperatura favorables para el desarrollo y producción de cultivos. Al respecto. Villalpando J (1988), señala que en regiones subtropicales la DPC, esta determinado por el periodo de tiempo que existe humedad en el suelo.

La (FAO, 1997), señala que la evaluación de la tierras se realiza a través de las Células Agroecológicas (CEA), que son las unidades únicas, que llevan información de suelos, clima y geomorfología.

**3.4.3. Evaluación de la Aptitud de la Tierra.** (FAO, 1997), señala que es llevada a cabo sobre la base analítica de los cultivos priorizados, normalmente se evalúa la adecuación de la tierra con los cultivos; Y el cálculo de rendimiento potencial agronómico función a la radiación solar, la eficiencia fotosintética de los cultivos y la ubicación geográfica. La clasificación de la aptitud de la tierra esta basada en normas de clasificación, aunque algunos estudios llevados a cabo en Asia (FAO, 1994) han mostrado discrepancia, en tal sentido estas normas son flexibles para su aplicación. Las normas son (FAO, 1997):

1. Rendimiento potencial con pocos insumos = 25% del rendimiento con insumos elevados.  
Rendimiento potencial con insumos intermedios = 62.5% de rendimiento con insumos elevados.
2. Las clases S2. S3 y S4 por requerimientos del cultivo en cuanto a zonas térmicas implican una reducción potencial del 25%. 50% y 75% respectivamente.
3. El rendimiento potencial en un penado intermedio de crecimiento corresponde al 50% del periodo normal (excepto para Fluvisols y Gleysols).
4. Las limitaciones agroclimáticas moderada y severa producen una reducción de rendimiento potencial del 25% y 50% respectivamente.
5. Las clases de aptitud agroclimática. y de aptitud de tierras corresponden a los siguientes rangos de rendimiento potencial (expresado como porcentaje del rendimiento potencial máximo):

Simb.	clase	Rend.	Simb.	clase	Rend.
S1	Muy Apta	80-100	S4	Marginalmente apta	20-40
S2	Apta	60-80	Vms	Muy Marginalmente Apta	May-20
S3	Moderadamente Apta	40-60	N	No Apta	0-5

6. Los rangos S2. S3 y S4 de parámetros de suelo seleccionados en función de los requerimientos del cultivo implican reducciones del rendimiento potencial del 25%. 50% y 75% respectivamente.
7. Los suelos de textura gruesa (arenosos y franco arenosos) tienen otro 25% de reducción de rendimiento en todos los cultivos excepto cacahuets y patatas.

Según (FAO, 1994), el cálculo de la tasa de acumulación de biomasa neta, también conocido como rendimiento potencial en (qq/Ha.), depende de la radiación solar, la especie vegetal y la ubicación

geográfica. En (FAO. 1997) señala que sobre los resultados obtenidos influir tres situaciones de uso de insumos, que son altos, medianos de acuerdo a enfoque FAO (Tabla 2).

**Tabla 2.** Criterios de la aplicación de niveles de insumo enfoque (FAO. 1994)

Atributo	Insumos bajos	Insumos medios	Insumos elevados
Orientación sobre mercado	Producción de subsistencia	Producción de subsistencia más venta comercial de productos	Producción comercial
Intensidad de capital	Bajo	Intermedio con créditos accesibles	Alto
Intensidad de trabajo	Elevado. incluyendo trabajo familiar no remunerado	Medio. incluyendo trabajo familiar no remunerado	Bajo. trabajo familiar remunerado si se utiliza
Fuente de energía	Trabajo manual con herramientas manuales	Trabajo manual con herramientas manuales y/o tracción animal con implementos mejorados; alguna mecanización	Mecanización total
Tecnología	Variedades tradicionales. Sin fertilizantes ni agroquímicos. Períodos de barbecho. Escasas medidas de conservación	Variedades mejoradas. Adecuadas prácticas extensionistas, incluyendo algunos fertilizantes y agroquímicos. Algunos períodos de barbecho y medida de conservación	Variedades de altos rendimientos incluyendo híbridos. Óptimo uso de fertilizantes y agro químicos. Medidas de conservación completas
Infraestructura	Sin accesibilidad a los mercados. Inadecuados servicios de asistencia	Accesibilidad a algunos mercados y servicios de demostración	Accesibilidad a los mercados. Elevado nivel de los servicios de asistencia y acceso a los resultados de investigación
Tenencia de la tierra	Pequeña. fragmentada	Pequeña. algo fragmentada	Extensa. consolidada
Nivel de ingresos	Bajo	Moderado	Elevado

**Fuente:** (FAO. 1994).

**3.4.4. Método de Thiessen.** El método de Thiessen consiste en unir los puntos de ubicación de casetas meteorológicas, uniéndolas mediante líneas, de tal manera que los bisectores formen áreas que se llaman polígonos de Thiessen. Todos los puntos dentro del área de influencia del polígono significa representativa a los datos climatológicos registrados en las casetas (Schwab G, 1990).

**3.4.4.1. Generación de isolineas y polígonos de Thiessen en computadora.** Lo que se busca mediante este análisis, es unir los valores iguales registrados por las estaciones meteorológicas por medio de una línea, sobre los valores bajos y altos de los datos climatológicos registrados se efectúan interpolaciones a la escalas de estudio deseado, tal como se realiza la interpolación de curvas de nivel en la topografía, solo que en este caso las altitudes son valores de precipitación. Temperatura, evapotranspiración y radiación solar. Con este criterio se generan las isolineas y los polígonos.

Inicialmente los polígonos de Thiessen fueron creados para el análisis de datos meteorológicos (estaciones pluviométricas) aunque en la actualidad también se aplica en estudios en los que hay que determinar áreas de influencia (precipitación, temperatura, brillo solar, etc.). La generación de isolineas y polígonos es una de las funciones de análisis básicas en los SIG (Ordóñez, 1995).

**3.4.5. Análisis de la duración del período de crecimiento.** Se entiende por período de crecimiento el período del año en el que tanto las condiciones de humedad como de temperatura son favorables para el desarrollo de los cultivos (FAO, 1997).

En los trópicos, donde la temperatura es rara vez un factor limitante, excepto a grandes alturas, la duración del período de crecimiento (DPC) se puede estimar por un simple balance de humedad entre la precipitación (P) y la evapotranspiración potencial (ETP). La DPC se debe estimar para todas las estaciones con medidas de precipitación en la zona de estudio, y para un período histórico superior 15 a 20 años. Si no se dispone de los datos necesarios para el cálculo de la ETP, se puede estimar mediante correlaciones validadas con la altitud; o. en zonas llanas, mediante interpolación lineal desde las estaciones limítrofes.

Aunque el primer estudio de ZAE de FAO a escala continental basó el cálculo de DPC en datos mensuales de P y ETP, estudios más detallados han puesto de manifiesto el interés de analizar records históricos de lluvias y utilizar los resultados como base para, posteriormente, hacer un análisis estadístico de la distribución de la DPC. Esta aproximación basada en datos históricos es muy recomendable, particularmente en zonas semi-áridas donde la variabilidad interanual de la precipitación y de la DPC calculada puede llegar a ser muy elevada (FAO, 1997).

(FAO, 1994), señala que uno de los parámetros más importantes en la evaluación de recursos agroclimáticos, para una región es, la duración de los periodos de crecimiento disponibles para el desarrollo de los cultivos. Los periodos de crecimientos básicamente están determinadas por la disponibilidad de agua y temperatura favorable para el desarrollo de los cultivos. En regiones tropicales los periodos de crecimiento esta determinada por el periodo de tiempo que existe humedad en el suelo para el desarrollo de cultivos. Mientras que en regiones templadas, además de la disponibilidad de humedad, el periodo de crecimiento está definida por la disponibilidad de temperaturas favorables y en regiones de agricultura con riego el periodo de crecimiento, además de las temperaturas favorables, esta determinada por el régimen de radiación solar, la humedad ambiental y otros factores más. Criterio de la duración del periodo de crecimiento (DPC) según J. Villalpando (1988), la duración del periodo de crecimiento (DPC) en la región subtropical Amazónico, se basa en un modelo simple de balance de humedad, comparando la precipitación (P) con evapotranspiración potencial (ETP) y se analiza de la siguiente manera:

- **Inicio del periodo de crecimiento.** La determinación del periodo decrecimiento esta basada en el comienzo de la estación lluviosa. Especialmente se obtiene cuando  $P > 0.5$  ETP. El valor de 0.5 ETP no es casual, si no que fue determinado considerando las necesidades de agua para la germinación de los cultivos, y cuando  $P$  es igual o mayor a 0.5 ETP se satisface ese hecho. El inicio del periodo de crecimiento también puede determinarse al inicio de la estación de lluvia, concretamente cuando la lluvia recibida para el periodo corto (1-3 días) es mayor e igual 25 mm.
- **Periodo húmedo.** El periodo húmedo es el intervalo de tiempo en el cual la precipitación es mayor a la evapotranspiración potencial ( $P > ETP$ ). Cuando existe un periodo húmedo, no solamente se satisfacen las demandas de la evapotranspiración de los cultivos a una completa o máxima cobertura, sino también el déficit de humedad en el perfil de suelo.
- **Terminación de la estación lluviosa.** La estación lluviosa termina cuando la  $P = 0.5$  ETP, después del periodo húmedo.
- **Terminación del Periodo de Crecimiento.** La fecha. de terminación del periodo de crecimiento, depende de la cantidad de humedad almacenada en el suelo al finalizar la estación de lluvias. La duración de esta reserva de humedad dependerá de los factores: a) profundidad del suelo. b) características físicas del suelo y c) patrón de desarrollo radical del cultivo. Luego, la fecha. de terminación dependerá de la metodología usada en la determinación de la duración de las reservas de humedad, para cada suelo y cultivo en particular.

(FAO, 1994), señala que las zonas de períodos de crecimiento se trazan en mapas, pudiendo hacerse en intervalos fijos de la DPC media. o en base a una DPC que presenta un determinado nivel de probabilidad (0.75 o 0.80).

**3.4.6. Radiación solar.** La radiación solar es prácticamente la fuente de toda energía para todos los procesos físicos y biológicos que ocurren sobre la tierra. Se puede decir que la agricultura es una explotación de la energía solar, la cual es posible con el adecuado suministro de agua y nutrientes, que en conjunto mantienen el desarrollo de las plantas. Bajo condiciones optimas de agua, nutrientes y manejo, factible mediante valores de radiación solar calcular la materia seca total y eventualmente el rendimiento potencial de materia seca total para uno o varios cultivos, proporciona una base cuantitativa para estimar el potencial agrícola de diferentes regiones. Aun más, el contar con datos del

régimen y distribución de la radiación solar a nivel regional, permitiría la zonificación de cultivos en base a sus requerimientos de radiación solar estacional (Villalpando J, 1988).

**3.4.6.1. Estimación de la radiación solar.** Debido a la escasez de estaciones meteorológicas que registren la radiación solar en forma directa ( $\text{cal}/\text{cm}^2/\text{min}$ ), varios autores han desarrollado relaciones empíricas en. Localidades específicas, para estimar la radiación solar en base a la duración de la insolación (brillo solar) o bien utilizando el grado de nubosidad (Villalpando J, 1988).

**3.4.6.2. Tasa de acumulación de materia seca.** Como sé menciono anteriormente, una de las aplicaciones de la radiación solar es aquélla relacionada con la tasa de acumulación de materia seca o denominada también biomasa. La tasa de acumulación de materia seca depende de la especie vegetal y del medio ambiente. La tasa de desarrollo de una especie bajo condiciones optimas de suelos, fertilidad, humedad y practicas de producción, dependerá de la temperatura, la radiación solar y el ciclo de cultivo (Kassam. A. H, 1977).

**3.4.7. Índice de área foliar.** El área foliar es uno de los parámetros más importantes en la evaluación del crecimiento de las plantas, las medidas lineales de la hoja pueden utilizarse en relaciones matemáticas simples; en caso de hojas muy grandes como las de banano y maíz, generalmente se determina el área como el producto del largo por el ancho. Cuando se trabaja en análisis, con fines de vegetación, cambios de biomasa, lo más conveniente es determinar el área foliar de las plantas utilizando una sub-muestra representativa de la población, sistema este que también se puede aplicar en la determinación del área foliar en la copa de un árbol. El modelo matemático consiste en considerar el peso (g.) de las hojas para lograr de manera satisfactoria la constante de la ecuación (K), en el modelo  $A = KLB$  donde L = longitud de la hoja en cm. B = el punto más ancho de la hoja en toda su longitud en cm. A = área en  $\text{cm}^2$  (Villalpando J, 1988).

**Tabla 3.** Ejemplos de Índice de área foliar

Nº	CULTIVOS	INDICE AREA FOLIAR (IAF)
1	Maíz	5.0
2	Café	3.0
3	Arroz	0.5
4	Banano	9.0
5	Limón	3.0
6	Tomate	3.0
7	Cacao	3.2

Fuente: Villalpando J. 1988

**3.4.8. El índice de cosecha. (IC).** Es la relación que existe entre el rendimiento de la parte cosechable o rendimiento económico (RE) y la producción de biomasa total del cultivo o rendimiento biológico (RB);  $IC = RE/RB$ . El IC es un indicador de la porción de materia seca producida que es particionada



hacia los órganos cosechables. El IC es afectado por factores ambientales como la disponibilidad hídrica y el fotoperíodo los que interactúan con el genotipo. Reportes extranjeros indican que el incremento de rendimiento de los cultivares modernos se produjo por el incremento de rendimiento biológico sin cambios en el índice de cosecha. (Altube H. Rivata, 1999).

**Tabla 4.** Ejemplos de Índice de Cosecha.

Nº	CULTIVOS	INDICE DE COSECHA. (IC)
1	Maíz	0.4
2	Café	0.49
3	Arroz	0.35
4	Banano	45.0
5	Limón	21.0
6	Tomate	1.2
7	Cacao	0.2

Fuente: Altube H. Rivata. 1999.

**3.4.9. Ruta fotosintética.** Se define como el metabolismo de la fotorespiración de los vegetales.

**Tabla 5.** Ruta fotosintética de algunos cultivos

Características	Grupo de adaptabilidad			
	I	II	III	IV
Ruta fotosintética	C3	C3	C4	C4
Índice de fotosíntesis a saturación de luz y temperatura óptima ( $\text{mg CO}_2 \text{ dm}^{-2}\text{h}^{-1}$ )	20-30	40-50	>70	>70
Temperatura óptima ( $^{\circ}\text{C}$ )	15-20	25-30	30-35	20-30
Intensidad de radiación de máxima fotosíntesis ( $\text{cal cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ )	0.2-0.6	0.3-0.8	> 1.0	> 1.0
Cultivos (ejemplos)	Cebada	Caupí	Mijo	Sorgo
	Avena	Guisante verde	Sorgo	Maíz
	Trigo	Guandú	Maíz	
	Ha.ba	Ha.ba	Caña de azúcar	
	Patata	Arroz		
		Soja		
		Cacahuete		
		Batata		
		Mandioca		
		Banano		
		Palma		

Fuente: FAO. 1997

**3.4.9.1. Plantas CAM.** La sigla CAM significa en inglés “*metabolismo ácido de las Crasuláceas*”, debido a que esta variante fotosintética se describió inicialmente en plantas de esta familia. Actualmente se conoce un buen número de especies CAM, pertenecientes a diversas familias de plantas crasas o suculentas: Crassulaceae. Cactaceae. Euphorbiaceae. Aizoaceae, etc. La piña (*Ananas comosus*), perteneciente a la familia Bromeliaceae, presenta este tipo de metabolismo. Se trata en general de plantas originarias desérticas o subdesérticas, sometidas a intensa iluminación, altas temperaturas y pronunciados déficit hídricos, adaptadas a condiciones de aridez bastante extremas (FAO, 1997).

### 3.5. SUELOS.

**3.5.1. Características edafológicas.** El suelos es la cubierta superficial de la mayoría de la superficie de la Tierra. Es un agregado de minerales no consolidados y de partículas orgánicas producidas por la acción combinada del viento, el agua y los procesos de desintegración orgánica. Los suelos cambian mucho de un lugar a otro. La composición química y la estructura física del suelo en un lugar dado, están determinadas por el tipo de material geológico del que se origina, por la cubierta vegetal, por la cantidad de tiempo en que ha actuado la meteorización, por la topografía y por los cambios artificiales resultantes de las actividades humanas. Las variaciones del suelo en la naturaleza son graduales, excepto las derivadas de desastres naturales (USDA. 1982).

**3.5.2. Clasificación de los suelos.** Los suelos se dividen en clases según sus características generales. La clasificación se suele basar en la morfología y la composición del suelo, con énfasis en las propiedades que se pueden ver, sentir o medir por ejemplo, la profundidad, el color, la textura, la estructura y la composición química. La mayoría de los suelos tienen capas características, llamadas horizontes; la naturaleza, el número, el grosor y la disposición de éstas también es importante en la identificación y clasificación de los suelos.

Las propiedades de un suelo reflejan la interacción de varios procesos de formación que suceden de forma simultánea tras la acumulación del material primigenio. Algunas sustancias se añaden al terreno y otras desaparecen. La transferencia de materia entre horizontes es muy corriente. Algunos materiales se transforman. Todos estos procesos se producen a velocidades diversas y en direcciones diferentes, por lo que aparecen suelos con distintos tipos de horizontes o con varios aspectos dentro de un mismo tipo de horizonte. Los suelos que comparten muchas características comunes se agrupan en series y éstas en familias. Del mismo modo, las familias se combinan en grupos y éstos en subórdenes que se agrupan a su vez en órdenes. Los nombres dados a los órdenes, subórdenes, grupos principales y subgrupos se basan, sobre todo, en raíces griegas y latinas. Cada nombre se elige tratando de indicar las relaciones entre una clase y las otras categorías y de hacer visibles algunas de las características de los suelos de cada grupo. Los suelos de muchos lugares del mundo se están clasificando según sus características lo cual permite elaborar mapas con su distribución (USDA, 1982).

**3.5.2.1. Clasificación taxonómica de suelos en acuerdo al nivel de estudio.** Por la heterogenia de los suelos (polipedones) en los paisajes, para niveles de estudio exploratorio (escala 1: 500.000 a 1: 2'000.000), se asociación en órdenes; de reconocimiento (escala 1: 100.000 a 1: 500.000) se asocian en subórdenes; semidetalle (escala 1: 50.000 a 1: 100.000) se asocian en subórdenes y gran grupo; y

detallado (escala 1: 10.000 a 1:50. 000) se asocian en series, tipos y fase (**BID AMAZONIA/OTRA, 1999**).

### 3.6. CARTOGRAFÍA DE LA VEGETACIÓN SEGÚN (UNESCO, 1973)

En la clasificación Unesco. las unidades cartográfica de vegetación están representados de la forma siguiente:

- Clase I. Bosque denso, formado por árboles de mas de 5 metros de altura, cuyas copas se tocan, comprende las subclases de I.A. bosque mayormente sempervirente; y IB. Bosque mayormente deciduo.
- Clase II. Bosque claro. Formado por árboles de por lo menos 5 metros de altura, la mayoría de las copas no se tocan entre ellas, pero cubren por lo menos 45 % de la superficie. Puede existir una Sinusia herbaria. Son comunidades de árboles abiertos, comprenden las siguientes subclases de II.A bosque claro mayormente sempervirente; II.B bosque claro mayormente deciduo; y II.C bosque claro extremadamente xeromórfico.
- Clase III. Matorral, mayormente constituido por fanerófitas leñosas cespitosas de 0.5 a 5 metros de altura. Pueden sé matorrales densos o claros, comprende las siguientes subclases de III.A matorrales mayormente sempervirentes; III.B matorrales mayormente deciduos; y III.C matorral claro extremadamente xeromórfico.

### 3.7. PLANIFICACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS.

Las características biogeofísicas de una cuenca tienden a formar sistemas hidrológicos y ecológicos relativamente coherentes. y por lo tanto las cuencas hidrográficas se utilizan a menudo como unidades para la planificación del. Sin embargo, el hecho de que la planificación de cuencas hidrográficas como concepto haya estado evolucionando y lo esté todavía, significa muchas cosas para mucha. gente. A pesar de sus numerosas connotaciones, los recursos hídricos han sido generalmente la consideración más importante. En las etapas iniciales, la planificación de cuencas hidrográficas, o la *planificación de recursos hídricos* tenían que ver por lo general con un problema específico, como por ejemplo el control de inundaciones, el riego, la navegación o el abastecimiento de agua para consumo humano o industrial. Más tarde se puso de moda el enfoque de *la planificación de propósito múltiple* para lograr el desarrollo de los recursos hídricos. y ello consistió en dividir el total de agua disponible de una estructura entre varios usos diferentes. Debido a que los distintos usos del agua son a menudo competitivos, surgen conflictos que hacen que el enfoque de propósitos múltiples parezca cuestionable. En cierto grado, la *planificación integrada de cuencas hidrográficas* fue una respuesta a este problema,

ya que se trató de coordinar y desarrollar armónicamente los usos de agua de una cuenca mientras se tomaban en cuenta otros procesos de desarrollo tanto dentro de la cuenca como fuera de ella. La idea de la *planificación integral de una cuenca hidrográfica* es una extensión de la planificación integrada y va más allá del recurso hídrico específico para incluir la mayor parte de los otros recursos, así como muchos aspectos de planificación socioeconómica o regional (PNUMA, 2003). Un término conexo, la *planificación de recursos de agua y tierra* se aplica a menudo a los "Principios y Normas para la Planificación de Recursos Relacionados de Agua y Tierra" del Consejo de Recursos Hídricos de los Estados Unidos. Debido a que estos principios y normas propusieron originalmente cuatro objetivos equivalentes, el concepto de planificación ha sido llamado a menudo *planificación de objetivo múltiple*, aunque el término se utiliza algunas veces para indicar *también planificación de múltiple propósito* (PNUMA, 2003).

A pesar que la planificación integral de cuencas, a estado evolucionando en concepto, se ha visto que en la década del 90 y años 2003. existe una falencia para evaluar la tierra en un concepto amplio integracionista (OEA, 2002).

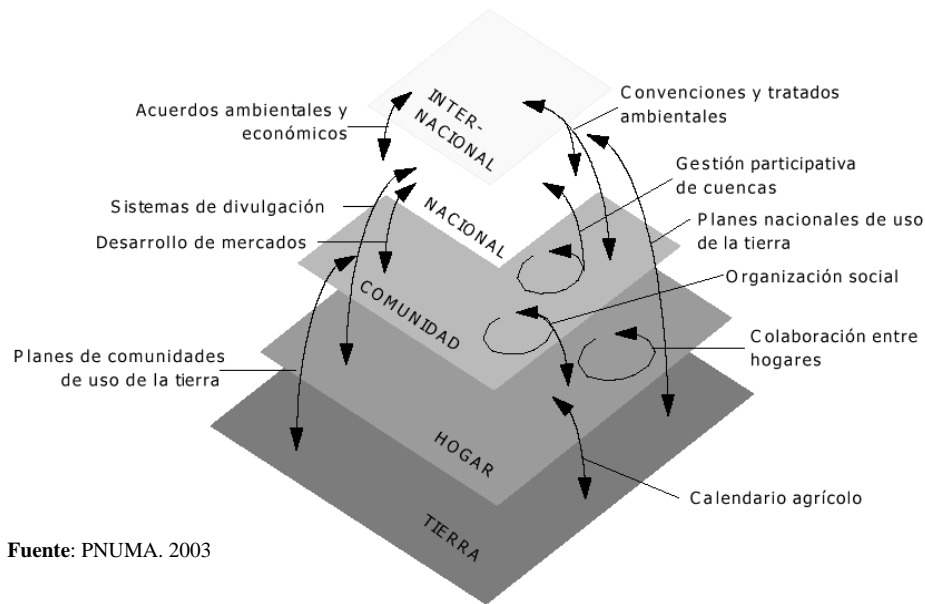
**3.7.1. El proceso de planificación.** Según (PNUMA, 2003), la planificación es un proceso que busca soluciones a problemas y necesidades o que fomenta acciones que satisfacen metas y objetivos. En la planificación de cuencas hidrográficas el objetivo es proporcionar alternativas al encargado de tomar decisiones para el uso de los recursos de agua y tierra de la cuenca. Por lo general, la planificación no se realiza en una actividad continuada sino que se desglosa en 6 pasos.

En primer lugar existe un número de actividades preliminares que indican el punto al que hay que llegar en la planificación para evitar caer en el vacío. Las regiones geográficas en diferentes grados de detalle de escala demuestran la naturaleza de sus formaciones, pero existen características políticas, sociales y económicas de la región, que la delimitan generalmente no coincidiendo con las formas naturales. Estas situaciones deben ser consideradas en la planificación, porque cada una de ellas influye en el nivel de la intervención para la planificación.

También debe añadirse las necesidades de un enfoque integrado en manejo de tierras necesita incentivar los intereses de los usuarios para la producción y conservación, apoyado sobre la planificación participativa. Los bancos de datos e informaciones pertinentes sobre los recursos y sus usuarios, como las estructuras institucionales responsables y capacitadas, son los instrumentos indispensables de este enfoque. Bancos de datos y mapas digitales permiten que los atributos físicos,

económicos y sociales del uso y el mal uso de la tierra, sean analizados por sector, y sean accesibles a todos los niveles de decisión. Los delegados de los Gobiernos centrales y locales, conjuntamente con los representantes de las comunidades locales y usuarios de la tierra, deben mantener un proceso interactivo para asegurar la mejor variedad mixta de opciones técnicas en base de las realidades locales, utilizando datos compilados para unidades específicas de manejo. El objetivo del Gobierno es institucionalizar y estabilizar este proceso, de modo que la información circule entre las disciplinas relacionadas con el uso de tierra y entre usuarios de recursos y creadores de políticas (OEA, 2002).

**Figura 5.** Esquema generalizado de los niveles de la planificación



Fuente: PNUMA. 2003

En segundo lugar se definen las necesidades y problemas y se fijan o se perfeccionan los objetivos, dependiendo esto de si es la primera o la última repetición del proceso.

En tercer lugar se hace un inventario de los recursos disponibles a fin de alcanzar de alguna manera los objetivos o resolver los problemas. También se prepara un inventario de las demandas actuales de los recursos, de manera que pueda hacerse un balance entre la disponibilidad y la demanda de dichos recursos.

El cuarto paso es la formulación de un conjunto de estrategias o proyectos y un programa de alternativas que satisfagan los objetivos.

El quinto paso es evaluar estas estrategias, proyectos y programas y ordenarlos de acuerdo con un sistema de prioridades.

El sexto paso es decidir los niveles intervenidos como interactúan entre sí, cuál debe ser descartado como no factible, y cuál necesitará pasar nuevamente a través del mismo proceso, pero a nivel más detallado.

De esta manera, el proceso de planificación va hacia adelante en una serie de repeticiones. Aunque estas repeticiones o "niveles" en la planificación del desarrollo pueden recibir distintos nombres y dividirse en puntos ligeramente diferentes, casi todas las instituciones de planificación llevan a cabo tres o cuatro estudios separados antes de la ejecución del proyecto o programa, dependiendo de la calidad y cantidad de los datos disponibles.

## **IV. MATERIALES Y METODOS**

### **4.1. LOCALIZACION**

**4.1.1. UBICACIÓN.** La cuenca menor del Río Boopi se encuentra ubicado en el Departamento de La Paz, pertenece a la gran cuenca Amazonas; cuenca del Beni y Subcuenca del Río La Paz-Boopi. Tiene por coordenadas geográficas 15°40'06" latitud Sud y 67°20'08" longitud Oeste. Con una altitud entre 800 a 2000 msnm. (ERST, 1982).

**4.1.2. FISIOGRAFIA.** Comprenden dos provincias fisiográficas muy definidas, de la cordillera Oriental Norte conocida también como estribación Oriental o Yungas y el Subandino con valles estrechos y terrazas fluviales antiguas y recientes (ERST, 1982).

**4.1.3. SUELOS.** Corresponde al complejo de tierras Cotacajes y Covendo. sus características son:

- **Complejo de tierras Cotacajes.** Suelos muy poco profundos, con fragmentos rocosos fragmentos rocosos, en todos los horizontes del perfil del suelo, con presencia de hojarasca y colchones orgánicos semidescompuestos a descompuestos; pardo amarillentos, pardo oscuro; franco, franco limoso, arcillo limoso, arcilloso; bien o moderadamente drenado; pobres a moderadamente fértiles; muy susceptibles a la erosión hídrica; fuertemente ácidas a neutras. Taxonomía: Orthents. Tropepts y Fluvents; Capacidad de Uso: IV-VIIste; III-Ivs (ERST, 1982).
- **Complejo de tierras Covendo.** Suelos muy poco profundos; presentan capas muy gruesos de material orgánico en las partes altas de la serranía; pardo rojizo oscuro, rojo, pardo amarillento, pardo oscuro; franco, franco limoso, arcillo limoso, arcilloso; bien a moderadamente drenados;

pobres a moderadamente fértiles; muy susceptibles a la erosión hídrica; fuertemente ácidos a moderadamente alcalinos.

Taxonomía: Orthens. Tropets. Orttox. Fibrists. Fluvents y Udults; Capacidad de Uso: IV-VIII set. II-IV sw (**ERST, 1982**).

**4.1.4. VEGETACIÓN.** Según el mapa ecológico de Bolivia, basada en los sistemas de clasificación de zonas de vida o formaciones vegetales del mundo, propuesto por L.R. Holdrige, el área corresponde a tres regiones de vida: Bosque húmedo subtropical (bh-ST). Bosque muy húmedo subtropical (bmh-ST) y un bosque pluvial muy bajo subtropical (bp-MBST), (**ERST, 1982**).

**4.1.5. CLIMA.** Las estaciones meteorológicas de las localidades de Sapecho y Covendo, que se encuentran más próximas al área de estudio, revelan que la precipitación promedio es de 1400 a 1600 mm. presenta dos épocas bien diferenciadas durante el año; época de lluvia (verano) y la época seca (invierno). La temperatura media de 22°C a 25°C. los meses más calurosos son los meses de Noviembre. Diciembre. Enero y febrero y los más fríos en los meses de Junio y Julio (**ERST, 1982**).

**4.1.6. HIDROLOGIA.** Posee un sistema de drenaje dendrítico, densidad de drenaje alta, los ríos La Paz. Boopi. San Pedro. Quita Calzón. Quimuni se articulan el sistema. El río Boopi por su sinuosidad de su curso y por la presencia de pequeñas cachuelas, poseen condiciones regulares de navegabilidad sola para embarcaciones pequeñas de poco calado. El Río presenta un ancho como promedio de 210 m aproximadamente, caudal turbio (**ERST, 1982**).

## **4.2. MATERIALES**

### **4.2.1. HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS**

El equipo empleado de hardware y software:

#### **4.2.1.1. Hardware (Equipo PC)**

- Procesador Intel MXX 266 MHz Pentium o Pentium II 300 MHz o compatible
- 512 cache-Flash Bios
- 64 MB EDO RAM
- 5.2 GB EIDE Hard disk
- 12X Eide CD-ROM
- Drive 3.5" floppy drive
- PCI 64 bits graphic acelerator con 4 MB de RAM (placa de video)

- Monitor 17" .26 dp 1280 NI
- Teclado, mouse, gabinete. etc.

#### 4.2.1.2. Software

- ARCVIEW GIS versión 3.2 de ESRI
- SURFER (Win 32) versión 6.01. agosto 1995 Goden Colorado (USA) 80401-1866
- ERDAS versión 8.4

#### 4.2.1.3. Materiales de campo

- |   |                                    |
|---|------------------------------------|
| 1. Tabla de Munsell. Soil color chárter | 6. Wincha. /cinta métrica de 200 m |
| 2. Guía manual de Taxonomía de suelos   | 7. Flexómetro                      |
| 3. Cateador o picotita geológica        | 8. Piceta de 100 cc                |
| 4. Pala pico de pato                    | 9. Ácido HCl al 12 %               |
| 5. Picota de punta                      | 10. Bolsas de polietileno          |
| 11. Barreno Holandés                    | 18. Etiqueta                       |
| 12. Altimetro                           | 19. Marcadores                     |
| 13. Brújula                             | 20. Cámara fotográfica             |
| 14. Eclímetro                           | 21. Formularios para suelos        |
| 15. GPS                                 | 22. Formulario para Vegetación     |
| 16. Puñal o espátula                    | 23. Cartas topográficas            |
| 17. Lupa 10X                            | 25. Imagen satelital               |

### 4.3. METODOLOGIA

La metodología comprender cuatro fases sucesivas que son:

#### 4.3.1. Fase 1: Pre-campo. Con tres actividades:

**Actividad 1: Correcciones geométricas de la imagen satelital.** Para lograr una precisión geométrica de la imagen satelital y los procedimientos de la superposición de mapas, la imagen fue corregida geométricamente, lo que se llama también geocodificación o georeferenciación. Según **Deutsches Zentrum für Luft (DZEL, 2003)**, se efectuaron *correcciones geométricas no Paramétricas o correcciones de escena* sobre la imagen satelital, que toma en cuenta errores no sistemáticos en la proyección de vuelo o influencia de relieve. El problema se resuelve con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), tomando en cuenta puntos de control conocidos de la superficie de la subcuena.

**Actividad 2: Elaboración del mapa base de campo.** Según **(DZEL, 2003)** fue efectuada una *Clasificación supervisada* en computadora en forma automatizada, mediante procedimientos del “clustering” que agrupa los píxeles de la imagen satelital por sus características espectrales.



**Actividad 3: Modelación de base de datos.** Según (Chuvieco, 1996) para capturar los datos geográficos en una serie de tablas de dos dimensiones, conocido como relaciones enlazados entre sí por llaves o claves se efectuó un *modelo de base de datos relacional*, bajo tres formatos: alfanumérico, raster y vectorial.

#### **4.3.2. Fase 2: Visita de Campo.**

Consiste en un cuidadoso examen de campo, para registrar los datos útiles para la zonificación como: suelos, socioeconómicos y cobertura vegetal, para este fin se elaboraron tres formularios de campo: edafológico (anexo 1), vegetación (anexo 2) y socioeconómico (anexo 3), con atributos que la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1997) menciona.

##### **4.3.2.1. Suelos.**

La morfología de los perfiles de suelos fueron descritos en base a la “**Guía Metodológica de Descripción de Perfiles de Suelos**” de la (FAO. 1982) y la Taxonomía con la “**Clasificación de Suelos**” método (USDA. 1982). La apertura de los perfiles de suelo (calicatas) se hacen a través de tres tipos de cortes: reglamentarios, natural y de observación (BID AMAZONIA/OTRA, 1999). La información tomada in situ es registrada con los formularios edafológico, los mismos tienen dos partes de acuerdo a (FAO, 1997) y estos son:

- **Descripción del sitio de muestreo.** Se tomo las coordenadas del sitio de muestreo con un GPS, altitud, clasificación taxonómica; topografía del terreno circundante; Geomorfología; posición fisiográfica del perfil; pendiente; longitud de la pendiente; forma de la pendiente; microtopografía; uso actual de la tierra; influencia humana; geología estratificada; geología litología (material parental o roca madre); actividad biológica en la superficie; rocosidad y pedregosidad en la superficie; costras superficiales; erosión; grietas; drenaje; inundación; mapa freática; Sales o álcalis y condiciones de humedad la.
- **Descripción del Perfil del suelo.** Para la descripción morfológica del perfil de suelos se tomo los siguientes datos: designación de los horizontes; profundidad; color; manchas; textura; fragmentos rocosos del perfil; estructura; consistencia (seco, húmedo y mojado); porosidad; cutanes; cementación; nódulos minerales; raíces; carbonatos; Límite del horizonte y profundidad efectiva.

#### 4.3.2.2. Cobertura vegetal

La cobertura vegetal se registraron con formularios de campo, estructurados de acuerdo a la Clasificación Internacional y Cartografía de la Vegetación de la (UNESCO, 1977), por sus factores determinantes y clases, tomando nota de las especies predominantes. Los puntos de verificación de campo son los mismos sitios de muestreo de suelos (BID AMAZONIA/OTRA, 1999).

#### 4.3.2.3. Socioeconómicos

Los factores socioeconómicos fueron registrados con formularios, que tienen atributos que la (FAO, 1997) menciona para el efecto y estos son: niveles de insumos utilizados en la producción agrícola, cultivos, tenencia de la tierra y numero de familias asentadas. El llenado se realizo con la entrevista a autoridades, lideres locales y familias asentadas. Para ajustar los datos socioeconómicos recabados en trabajo de campo, se tomo en cuenta datos del Censo Nacional Población y Vivienda (INE, 2001), paralelo a esta actividad se registraron las coordenadas de ubicación los centros poblados, infraestructura vial y parte-aguas de la subcuenca, con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

#### 4.4. Delimitación de la Subcuenca Hidrográfica del Río Boopi.

Para la delimitación de la subcuenca, se tomo como base cartográfica la información concerniente a la imagen satelital Landsat (TM); las cartas topográficas escala 1: 100.000 de la Agencia Americana publicado el año 1996; mapa de limites, infraestructura e hidrología de la cuencas del Río La Paz-Boopi del Plan Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas (PLANACHBOL, 1997), y mapa político del departamento de La Paz nivel provincial y municipal del (INE, 2002). Se tomaron tres criterios para la delimitación y caracterización de la subcuenca.

1. **Geopolíticos y de parte-aguas (PLANACBOL, 1997).** Tiene las siguientes especificaciones: en el ámbito de la cuenca que atraviesan dos o más naciones y/o cuando hay contacto con naciones vecinos; asignarle el *prefijo de Gran cuenca internacional*; en el ámbito de cuencas que atraviesan dos o más departamentos y/o cuando hay contacto con departamentos vecinos, asignarles el *prefijo de cuenca Interdepartamental*; en el ámbito de subcuencas que atraviesan dos o más provincias y/o cuando hay contacto con provincias vecinos, asignarles *el prefijo de cuenca Interprovincial*; en el ámbito de microcuenca que atraviesan dos o más municipios y/o cuando hay contacto con municipios vecinos, asignarles *el prefijo de microcuenca*

**Intermunicipal.** Con respecto a *pate-aguas* deben estar en concordancia con las curvas topográfica de la carta topográfica.

2. **Grado de concentración de la red de drenaje.** Propuesto por la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales de la república del Perú (**OIERN-NRENA, 2003**), clasifica a la cuenca en 5 clases: Gran Cuenca, Cuenca, Subcuenca, Microcuenca y Quebrada; dividido en dos de acuerdo a la escala de trabajo:

#### **Divisiones Mayores**

- Gran cuenca. Considerada como toda área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de la cuenca. Varias cuencas forman una gran cuenca.
- Cuenca. Considerada como toda área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de la gran cuenca. Varias cuencas forman una gran cuenca.

#### **Divisiones Menores**

- Subcuenca. Considerada como toda área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de la cuenca. Varias subcuencas forman una cuenca.
  - Microcuenca. Considerada como toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una subcuenca. Varias subcuencas forman una subcuenca.
  - Quebrada. Es toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una microcuenca. Varias quebradas forman una microcuenca.
3. Según (**OIERN-INRENA, 2003**) a la subcuenca se divide *según aspectos físicos y climáticos*, en tres zonas alta, media y baja, en función a las características de relieve, altura y aspectos climáticos, como base para el manejar del sistema ecológico de la subcuenca.

**Codificación de la cuenca hidrográfica (OIERN-INRENA, 2003).** Es hecha una distinción entre río principal y tributario, en función del criterio del área drenada. Así, en cualquier confluencia el río principal será siempre aquel que posee la mayor área drenada entre los dos. Denominándose cuencas las áreas drenadas por los tributarios e intercuenas las áreas restantes drenadas por el río principal. En función a estos criterios las áreas drenadas se codificaron de la siguiente manera:

El proceso de codificación consiste en: subdividir una cuenca hidrográfica, cualquiera que sea su tamaño, determinándose los cuatro mayores afluentes del río principal, en términos de área de sus cuencas hidrográficas. Las cuencas correspondientes a esos tributarios son enumerados con los dígitos

pares (2, 4, 6 y 8), en el sentido desde la desembocadura hacia la naciente del río principal. Los otros tributarios del río principal son agrupados en las áreas restantes, denominadas intercuencas, que reciben, en el mismo sentido, los dígitos impares (1, 3, 5, 7 y 9). Cada una de esas cuencas e intercuencas, resultantes de esa primera subdivisión, pueden ser subdivididas de la misma manera, de modo que la subdivisión de la cuenca 8 genera las cuencas 82, 84, 86 y 88 y las intercuencas 81, 83, 85, 87 y 89. El mismo proceso se aplica a las intercuencas resultantes de la primera división, de modo que la intercuenca 3, por ejemplo, se subdivide en las cuencas 32, 34, 36 y 38 y en las intercuencas 31, 33, 35, 37 y 39. Los dígitos de la subdivisión son simplemente agregados al código de la cuenca (o intercuenca) que está siendo dividida.

#### 4.3.3. Fase 3: Zonificación Agroecológica (ZAE)

- **Inventario socioeconómico.** A través de formularios socioeconómicos de campo, con atributos de la (FAO, 1997) sobre: Niveles de insumos utilizados en la producción agrícola, cultivos, tenencia de la tierra y número de familias asentadas, compatibilizada con datos del censo local.
- **Inventario de cobertura vegetal.** A través de la evaluación de las características de los datos proporcionados por la combinación de bandas (3R-2G-1B) de la imagen satelital que refleja las clases de cobertura vegetal (DZEL, 2003), sobreponiendo a la imagen los sitios (puntos) de muestra de vegetación recabadas en visita de campo, a través de sus coordenadas tomadas con un GPS. Las clases de cobertura son descritas bajo el criterio de la (UNESCO, 1977). La cartografía elaborada en Sistema de Información Geográfica (SIG), convirtiendo el modelo raster de la imagen con bandas (3R-2G-1B) a modelo vector, a la cual se le debe implementar su base de datos respectivo (DZEL, 2003).
- **Inventario recursos suelos.** A través de la evaluación de las características de los datos proporcionados por la combinación de bandas (4R.5G.2B) de la imagen satelital, que refleja las unidades geomorfológicas (DZEL, 2003), con interpretación de la rugosidad de la superficie y origen geológico (SGI, 1998). La descripción se realiza a nivel de provincia fisiográfica, gran paisaje y paisaje (BID AMAZONIA/OTRA, 1999). La cartografía obtenida con Sistema de Información Geográfica (SIG), convirtiendo el modelo raster de la imagen con bandas (4R.5G.2B) a modelo vector, a la cual se le implementa su base de datos (DZEL, 2003).
- A través de la evaluación de las características de los datos proporcionados por la combinación de bandas (4R.5G.7B) de la imagen satelital, que refleja las unidades de suelos (DZEL, 2003), se sobreponen a la imagen los sitios (puntos) de muestra de suelos con coordenadas recabadas

con GPS en visita de capo. La cartografía obtenida con Sistema de Información Geográfica (SIG), convirtiendo el modelo raster de la imagen con bandas (4R.5G.7B) a modelo vector, con descripciones a nivel de provincia fisiográfica, gran paisaje, paisaje y subpaisaje (**BID AMAZONIA/OTRA, 1999**), a las cuales se les implementan su base de datos (**DZEL, 2003**).

- **Inventario de cultivos**

En acuerdo a (**FAO, 1997**) la inventariación de cultivos se registran en los formularios socioeconómicos, por su importancia económica y seguridad alimentaria para los habitantes de la subcuenca, basada en la constatación in situ. Los cultivos seleccionados deben constituir la base para la revisión bibliográfica, sobre sus aspectos de adaptabilidad edáfica y climática, a sí como los rangos de índices de cosecha, área foliar y rutas fotosintéticas.

- **Inventario de Tipos de Utilización de Tierras (TUT)**

Según la (**FAO, 1997**) las unidades de TUT se obtienen sobreponiendo los mapas de, unidades de tierras y cobertura vegetal y Reserva Forestal de Inmovilización, Zona Forestal de Reserva Fiscal. El procedimiento en SIG se efectúan sobre las uniones (sumas) de los mapas temáticos, mediante la opción “geoprocessing wizard...” y “union two themes...” en acuerdo a (**Miranda E.E, 2002**).

- **Inventario climático**

La inventariación climatológica se basa en el método de los polígonos de Thiessen. Una primera actividad se localizo las estaciones meteorológicas del área de influencia de la subcuenca, que poseen datos históricos climáticos disponibles. Las estaciones según (**Schwab G, 1990**), deben ser unidos por líneas rectas formando bisectores perpendiculares a las líneas de unión formando áreas o polígonos de Thiessen.

La Generación de isolineas y polígonos de Thiessen en SIG, busca unir los valores iguales climatológicos que se encuentran dentro de los polígonos mediante isolineas, que dan origen a zonas con diferentes rangos climatológicos en acuerdo con (**Ordóñez, 1995**).

**Determinación de la duración del periodo de crecimiento (DPC).** Según (**Villalpando J, 1988**) y (**FAO, 1997**), señala que la duración del periodo de crecimiento (DPC) en la región subtropical, se basa en un modelo simple de balance de humedad, comparando la precipitación (P) con evapotranspiración potencial (ETP), y se analiza de la siguiente manera:

- **Inicio del periodo de crecimiento** La determinación del periodo decrecimiento esta basada en el comienzo de la estación lluviosa. Especialmente se obtiene cuando  $P > 0.5$  ETP. El valor de 0.5 ETP no es casual, si no que fue determinado considerando las necesidades de agua para la germinación de los cultivos, y cuando P es igual o mayor a 0.5 ETP se satisface ese hecho. El inicio del periodo de crecimiento también puede determinarse al inicio de la estación de lluvia, concretamente cuando la lluvia recibida para el periodo corto (1-3 días) es mayor e igual 25 mm.
  - **Periodo húmedo.** El periodo húmedo es el intervalo de tiempo en el cual la precipitación es mayor a la evapotranspiración potencial ( $P > ETP$ ). Cuando existe un periodo húmedo, no solamente se satisfacen las demandas de la evapotranspiración de los cultivos a una completa o máxima cobertura, sino también el déficit de humedad en el perfil de suelo.
  - **Terminación de la estación lluviosa.** La estación lluviosa termina cuando la  $P = 0.5$  ETP después del periodo húmedo.
  - **Terminación del Periodo de Crecimiento.** La fecha de terminación del periodo de crecimiento, depende de la cantidad de humedad almacenada en el suelo al finalizar la estación de lluvias. La duración de esta reserva de humedad dependerá de los factores: a) profundidad del suelo. b) características físicas del suelo y c) patrón de desarrollo radical del cultivo. Luego, la fecha de terminación dependerá de la metodología usada en la determinación de la duración de las reservas de humedad, para cada suelo y cultivo en particular.
- **Inventario de tierras.** Según (FAO, 1997) elaborar un inventario de tierras es el resultado de sobreponer los mapas de: unidades geomorfológicas, de suelos, cobertura vegetal, zonas DPC, zonas térmicas y zonas de precipitación. El resultado de este procedimiento es un número de celdas agroecológicas (CEAS). También en (FAO, 1994) las CEAS pueden ser aglutinados y formar las ZAES. La (FAO, 1997) señala los SIG deben ser usados para el tratamiento de los resultados generados de la sobreposición de mapas.
  - **Evaluación de aptitud de uso de tierras.** Según (FAO, 1997) la evaluación de la aptitud de la tierra comprende dos pasos: La comparación de los factores que incluye la tierras con los requerimientos de adaptabilidad de los cultivos (llamado adecuamiento) y el calculo del

rendimiento agronómico potenciales (llamado tasa de acumulación de biomasa neta) estos dos pasos se desarrollan de la siguiente manera:

- **Adecuamiento tierra y cultivos.** El adecuamiento esta basada en coincidir valore de agroclimáticos y agroedáficos de la tierra y los cultivos. El procedimiento se realiza mediante la verificación de las limitaciones que tiene la tierra para mantener los cultivos. Las limitaciones son de índole físico y climático (**FAO, 1997**). El adecuamiento en SIG se efectuó envasé a consultas a la base de datos de las Células Agroecológicas (CEAS) a través de la opción “Query..” y “SQL” del lenguaje estandarizado de un SIG. Según **Chuvieco (1996)** los resultados son expresados en tablas o “reports” con valores alfanuméricos de cada CEA involucrada y respectivo mapa temático.
- **Calculo del rendimiento agronómico potencial (acumulación de biomasa neta).** Según (**FAO. 1994**), señala que el calculo de la tasa de acumulación de biomasa neta o rendimiento potencial depende de la radiación solar, la especie vegetal y la ubicación geográfica. En (**FAO. 1997**) indica que la finalidad es determinar el rendimiento potencial de los cultivos en (qq/ha) en condiciones naturales, y sobre los resultados influir tres situaciones de uso de insumos que son altos, medianos y bajos. También se deben aplicar las “*normas comparativas*” para definir las clases de aptitud que son:
  - a) Rendimiento potencial con pocos insumos = 25% del rendimiento con insumos elevados. Rendimiento potencial con insumos intermedios = 62.5% de rendimiento con insumos elevados.
  - b) Las clases S2. S3 y S4 por requerimientos del cultivo en cuanto a zonas térmicas implican una reducción potencial del 25%. 50% y 75% respectivamente.
  - c) El rendimiento potencial en un penado intermedio de crecimiento corresponde al 50% del periodo normal (excepto para Fluvisols y Gleysols).
  - d) Las limitaciones agroclimáticas moderada y severa producen una reducción de rendimiento potencial del 25% y 50% respectivamente.
  - e) Las clases de aptitud agroclimática. y de aptitud de tierras corresponden a los siguientes rangos de rendimiento potencial (expresado como porcentaje del rendimiento potencial máximo):

<b>Símbolo</b>	<b>Clase de aptitud</b>	<b>Rend. (%)</b>
S1	Muy Apta	80-100
S2	Apta	60-80
S3	Moderadamente Apta	40-60
S4	Marginalmente apta	20-40
Vms	Muy Marginalmente Apta	May-20
N	No Apta	0-5

- f) Los rangos S2. S3 y S4 de parámetros de suelo seleccionados en función de los requerimientos del cultivo implican reducciones del rendimiento potencial del 25%. 50% y 75% respectivamente.
- g) Los suelos de textura gruesa (arenosos y franco arenosos) tienen otro 25% de reducción de rendimiento en todos los cultivos excepto cacahuets y patatas.

**4.3.4. Fase 4: Planificación de uso de tierras.** Según (PNUMA, 2003) en la planificación de cuencas hidrográficas el objetivo es proporcionar alternativas al encargado de tomar decisiones para el uso de los recursos de agua y tierra de la cuenca. Por lo general la planificación se realiza en una actividad continuada desglosada en seis pasos que son:

**Paso 1: Los niveles de intervencion.** Existe un número de actividades preliminares que indican el punto al que hay que llegar en la planificación para evitar caer en el vacío. Las regiones geográficas en diferentes grados de detalle de escala demuestran la naturaleza de las formaciones, pero existen características políticas, sociales y económicas de la región, que la delimitan generalmente no coincidiendo con las formas naturales. También debe añadirse las necesidades de un enfoque integrado en manejo de tierras necesita incentivar los intereses de los usuarios para la producción y conservación.

**Paso 2: Objetivos.** Definiendo las necesidades y problemas y se fijan o se perfeccionan los objetivos, dependiendo esto de si es la primera o la última repetición del proceso.

**Paso 3: Inventariación.** En tercer lugar se hace un inventario de los recursos disponibles a fin de alcanzar de alguna manera los objetivos o resolver los problemas. También se prepara un inventario de las demandas actuales de los recursos, de manera que pueda hacerse un balance entre la disponibilidad y la demanda de dichos recursos.

**Paso 4: Estrategia. La formulación** de un conjunto de estrategias y un programa de alternativas que satisfagan los objetivos.



**Paso 5: Evaluación de la estrategias.** Proyectos y programas y ordenarlos de acuerdo con un sistema de prioridades.

**Paso 6: Diseño final.** Consiste en decidir los niveles intervenidos como interactúan entre sí, cuál debe ser descartado como no factible, y cuál necesitará pasar nuevamente a través del mismo proceso, pero a nivel más detallado.

De esta manera, el proceso de planificación va hacia adelante en una serie de repeticiones. Aunque estas repeticiones o "niveles" en la planificación del desarrollo pueden recibir distintos nombres y dividirse en puntos ligeramente diferentes, casi todas las instituciones de planificación llevan a cabo tres o cuatro estudios separados antes de la ejecución del proyecto o programa, dependiendo de la calidad y cantidad de los datos disponibles.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Correcciones geométricas de la imagen satelital

La imagen satelital Landsat TM (Thematic Mapper) posee las siguientes características: comprende la escena "Covendo" con (P233; R071), con origen de la Agencia Americana NASSA, tonada en agosto de 2003. con una resolución espectral alta (7 bandas), que van del azul visible al infrarrojo termal, resolución espacial de 30 por 30 metros de píxel (salvo la banda infrarrojo termal de 120 por 120 metros de píxel). La imagen fue cortada con ERDAS<sup>4</sup> 8.5. en un Quad (cuarta escena) para explorar solo la "cobertura Río boopi".

Sobre la imagen se realizaron *correcciones geométricas no Paramétricas* o georeferenciación efectuadas de acuerdo a (SGI, 1998), con 45 puntos de control (polynomial orden 10)<sup>4</sup> base cartográfica escala 1:100 000 de la Agencia Americana hojas: 3438; 3395; 3539 y 3439 publicado el año 1996. la imagen "cobertura Río boopi" obedece a una proyección llamada Universal Transverse Mercator (UTM), zona 19 hemisferio sur; esferoide Internacional 1909 y Datum PSAD 56 (Bolivia), las medición son presentadas en forma plana corrigiendo la curvatura natural del geoide, para evitar errores de medición en un plano cartesiano (DZEL, 2003). Las correcciones geométricas en la imagen satelital tienen dos fines: disponer la superficie del geoide en sistema métrico de dos dimensiones y lograr una precisión geométrica para los procedimientos de la superposición de mapas temáticos.

---

<sup>4</sup> **ERDAS** es una sigla que significa Earth Resources Data Analysis System (Sistema de análisis de datos de recurso tierra) es el mas usado de los sistemas de procesamiento digital de imágenes satelitales e incluye también un sistema de información geográfica. Este corre bajo UNIS Workstation (como SUN o SG) o en un PC bajo Windows.

<sup>4</sup> Polynomial orden 10. Es máxima corrección geométrica de la imagen satelital realizada en ERDAS 8.5

## 5.2. Elaboración del mapa base

El mapa base se elaboro con ERDAS 8.5. a través de una *Clasificación supervisada* (DZEL, 1999), con 7 clases determinado en computadora en forma automatizada, mediante procedimientos del “*clustering*” (agrupación de píxeles de acuerdo a sus características espectrales), cada clase fue denominada como cobertura y el río especificada con su nombre “Río Boopi”. Se sobreponieron la toponomía respectiva de infraestructura vial, comunidades, ríos y arroyos. La evaluación clustering calculo 98568 píxeles para la subcuenca, que nos ha permitido calcular la superficie de la siguiente manera: se multiplica el valor de un píxel de 30 x 30 m de la imagen Landsat (TM), cuya resolución es 900 m<sup>2</sup>, por 9856756 píxeles obtenido por “*clustering*”, la multiplicación nos da un total de 8871080400 m<sup>2</sup> ó 88710.80 ha. (Tabla 6). Los resultados analíticos obtenidos en computadora se exponen en (Anexo 1).

**Tabla 6.** Resultados del clustering cobertura Río boopi

Numero	1	2	3	4	5	6	7	7
Clases	Río Boopi	Clas 2	Clas 3	Clas 4	Clas 5	Clas 6	Clas 7	7
Simbolo	R	Cob 2	Cob 3	Cob 4	Cob 5	Cob 6	Cob 7	7
Nº píxeles	44812	2009783	94536	1588418	1759724	2874254	1485229	<b>9856756</b>

Fuente: elaboración propia

El mapa base fue elaborado por medio de una clasificación supervisada, gracias a la existencia de datos sobre la descripción de la cobertura y superficie de la subcuenca recopilada por (BID AMAZONIA/OTRA, 1999). Se tomaron en cada unidad supervisada 2 transectas esencialmente comprendidas por los sitios de muestreo (cima, pendiente alta, media, baja y piso de drenaje). También se considero los grados de dificultad de accesibilidad a los sitios (Mapa 1). El criterio asumido obedece también a (BID AMAZONIA/OTRA, 1999).

## 5.3. Modelo de base de datos

Fue modelado una base de datos “*correlacional*” para ser implementada en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) según (Chuvieco, 1996) la finalidad es capturar los datos georreferenciados en tablas de dos dimensiones. Se han estructurado dos bases de datos una raster-vector (imagen satelital-mapas temáticos) y otro alfanumérico (tablas). La estructura de la base de datos esta compuesto por los siguientes campos esencialmente: identificador (Id), un Codificador (Cod), Nombre (Nom.), Atributos (At) y Superficie en has. (Sup).

#### 5.4. Levantamiento de Suelos

La descripción morfológica de los perfiles de suelos fueron hechas con la “**Guía Metodológica de Descripción de Perfiles de Suelos**” de la (FAO, 1982) y la Taxonomía con la “**Clasificación de Suelos**” método (USDA, 1982). Según (BID AMAZONIA/OTRA, 1999) y (USDA, 1982) la apertura de los perfiles de suelo (calicatas) se realizaron en tres tipos de cortes cuyas características son:

**Corte Reglamentario.** Un corte reglamentario para la descripción de los perfiles de suelos es dada por (USDA, 1982), la superficie de un pedón es de 1 m<sup>2</sup> a 2 m<sup>2</sup>, dependiendo de la variabilidad del suelo y de profundidad de 1 a 2,5 m dependiendo de la continuidad.

**Corte Natural.** Un corte natural según (BID AMAZONIA/OTRA, 1999), es hechas la descripción de los perfiles de suelos, sobre los deslizamientos de suelos y fallas geológicas que ponen al descubierto los horizontes del perfil de suelos.

**Observación.** Una descripción de perfil de suelos de observación, tiene la finalidad de confirmar el hecho de encontrarnos en una misma morfología y taxonomía de suelos, según (BID AMAZONIA/OTRA, 1999), no es necesario efectuar un corte del suelo para su descripción, puede efectuarse a través de barrenadas o tubos muestreadores de suelos.

La información tomada in situ fueron registrados con los formularios edafológico, los mismos tienen dos partes de acuerdo a (FAO, 1997) y estos son:

**Descripción del sitio de muestreo.** Se tomo las coordenadas del sitio de muestreo con un GPS, altitud, clasificación taxonómica; topografía del terreno circundante; Geomorfología; posición fisiográfica del perfil; pendiente; longitud de la pendiente; forma de la pendiente; microtopografía; uso actual de la tierra; influencia humana; geología estratificada; geología litología (material parental o roca madre); actividad biológica en la superficie; rocosidad y pedregosidad en la superficie; costras superficiales; erosión; grietas; drenaje; inundación; mapa freática; Sales o álcalis y condiciones de humedad la.

**Descripción del Perfil del suelo.** Para la descripción morfológica del perfil de suelos se tomo los siguientes datos: designación de los horizontes; profundidad; color; manchas; textura; fragmentos rocosos del perfil; estructura; consistencia (seco, húmedo y mojado); porosidad; cutanes; cementación; nódulos minerales; raíces; carbonatos; Límite del horizonte y profundidad efectiva.

Se describieron 43 perfiles de suelos código (w) y 22 perfiles fueron recopilados del (BID AMAZONIA, 1999) código (wam). Las aperturas de calicatas son: 31 calicatas reglamentarias. 21 en corte natural y 10 de observación y se tomaron muestras para laboratorio de 30 horizontes (s) (Tabla 7).

Tabla 7. Características de sitio y de perfiles de suelos de la Subcuenca Río Boopi

ID	COD	COORD. UTM		POS-FISIG	USO-TRR	LAB	COD	TAX.	TEX-HS	TEX-HI	FR-HS	FR-HS (%)	FR-HI	FR-HI (%)	PE (cm)	DRENJ	PH
1 w-1	695300	8235100	Cima	Forestal	N	C1.2.1	3e	F, FY, F	Y, FY		piedras, grava, pedre	15-70	piedra, grava, pedre	20-90	45	Moderado	4.1-6.9
2 w-2	695300	8234600	pendiente superior	agricultura	S	C1.2.1	3e	F, FY, F	Y, FY		piedras, grava, pedre	15-70	piedra, grava, pedre	20-90	110	Moderado	4.1-6.9
3 w-3	696400	8230500	Cima	Forestal	S	C1.2.1	10c	F, FY, F	Y, FY		piedras, grava, pedre	15-70	piedra, grava, pedre	20-90	100	Moderado	4.1-6.9
4 w-4	696000	8236000	pendiente baja	agricultura	S	C1.2.1	3e	F, FY, F	Y, FY		piedras, grava, pedre	15-70	piedra, grava, pedre	20-90	120	Moderado	4.1-6.9
5 w-5	690100	8232400	pendiente baja	Forestal	S	C1.3.1	3f	FY, YL	Y, YL		piedras, grava, pedre	15-71	piedra, grava, pedre	20-91	180	Moderado	4.7-7
6 w-6	690100	8233000	pendiente media	Forestal	N	C1.2	3e	F, FY, FL	FY, Y		piedra, grava, pedre	20-80	piedra, grava, pedre	40-80	150	Imperfecto	3.9-6.8
7 w-7	689900	8233700	pendiente superior	Forestal	S	C1.2	10a	F, FY, FYL	FA, FAL, A		piedra, grava, pedre	15-80	piedra, grava, pedre	40-80	90	Moderado	4.3-6.8
8 w-8	695000	8237300	pendiente superior	Forestal	S	S1.3	3f	F, FY, FL	FY, Y		piedra, grava, pedre	20-80	piedra, grava, pedre	40-80	120	Moderado	3.9-6.8
9 w-9	694700	8236800	pendiente media	Forestal	N	C1.2	10a	F, FY, FL	FY, Y		piedra, grava, pedre	20-80	piedra, grava, pedre	40-80	54	Bien	3.9-6.8
10 w-10	694300	8236400	pendiente baja	Forestal	N	C1.3	1c	F, FY, FL	FY, Y		piedra, grava, pedre	20-81	piedra, grava, pedre	40-81	90	Imperfecto	3.9-6.9
11 w-11	692900	8236800	pendiente media	Forestal	S	C1.1	2e	F, FY, FYL	FA, FAL, A		piedra, grava, pedre	15-80	piedra, grava, pedre	40-80	80	Moderado	4.3-6.8
12 w-12	693000	8237600	pendiente baja	agricultura	N	C1.1	1d	F, FY, FYL	FA, FAL, A		piedra, grava, pedre	15-81	piedra, grava, pedre	40-81	80	Moderado	4.3-6.9
13 w-13	686200	8239100	pendiente baja	Forestal	S	C1.2	3e	F, FY, FYL	FA, FAL, A		piedra, grava, pedre	15-80	piedra, grava, pedre	40-80	73	Moderado	4.3-6.8
14 w-14	687800	8239200	Cima	Forestal	S	C1.1	1d	F, FY, FYL	FA, FAL, A		piedra, grava, pedre	15-80	piedra, grava, pedre	40-80	35	Excesivamente	4.3-6.8
15 w-15	688000	8240300	pendiente media	agricultura	S	C1.1	3e	F, FY, FYL	FA, FAL, A		piedra, grava, pedre	15-80	piedra, grava, pedre	40-80	73	Moderado	4.3-6.8
16 w-16	690700	8240100	pendiente baja	agricultura	N	C1.2	3e	F, FY, FL	FY, Y		piedra, grava, pedre	20-80	piedra, grava, pedre	40-80	150	Moderado	3.9-6.8
17 w-17	691400	8240000	pendiente baja	agricultura	S	C1.3	3e	F, FY, FL	FY, Y		piedra, grava, pedre	20-81	piedra, grava, pedre	40-81	180	Moderado	3.9-6.9
18 w-18	690000	8241200	pendiente superior	Forestal	N	C1.3	3c	F, FY, FYL	FY, FYL, Y		piedras, grava, pedre	35-90	piedras, grava, pedre	45-80	90	Excesivamente	3.9-7.9
19 w-19	689600	8243400	pendiente superior	Forestal	N	C1.3	10a	F, FY, FYL	FY, FYL, Y		piedras, grava, pedre	35-90	piedras, grava, pedre	45-80	57	Moderado	3.9-7.9
20 w-20	690100	8244300	pendiente media	Forestal	S	C1.3	3e	F, FY, FYL	FY, FYL, Y		piedras, grava, pedre	35-90	piedras, grava, pedre	45-80	120	Moderado	3.9-7.9
21 w-21	689800	8246600	Piso de drenaje	proteccion	S	C3.1	1c	F, FY, FL	FY, Y		piedra, grava, pedre	20-80	piedra, grava, pedre	40-80	74	Imperfecto	3.9-6.8
22 w-22	679700	8246700	pendiente media	agricultura	S	C1.3.1	3e	F, FY, FAL	FY, FYL, Y		piedras, grava, pedre	35-90	piedras, grava, pedre	45-80	120	Moderado	3.9-7.9
23 w-23	682000	8245300	Cima	agricultura	N	C1.3.1	10a	F, FY, FAL	FY, FYL, Y		piedras, grava, pedre	35-90	piedras, grava, pedre	45-80	71	Moderado	3.9-7.9
24 w-24	684400	8244900	pendiente media	agricultura	S	C1.3.1	3c	F, FY, FAL	FY, FYL, Y		piedras, grava, pedre	35-90	piedras, grava, pedre	45-80	115	Moderado	3.9-7.9
25 w-25	684700	8245800	pendiente baja	agricultura	N	C1.2	3e	F, FY, FYL	FY, Y		piedra, grava, pedre	20-80	piedra, grava, pedre	40-80	130	Moderado	3.9-6.8
26 w-26	686600	8243800	pendiente media	agricultura	N	C1.3.1	1c	F, FY, FAL	FY, FYL, Y		piedras, grava, pedre	35-90	piedras, grava, pedre	45-80	56	Imperfecto	3.9-7.9
27 w-27	688700	8245400	pendiente superior	Forestal	S	C1.3	10a	F, FY, FYL	FY, FYL, Y		piedras, grava, pedre	35-90	piedras, grava, pedre	45-80	50	Moderado	3.9-7.9
28 w-28	688100	8249800	pendiente media	Forestal	S	S1.4	3e	F, FY, FYL	FY, FYL, Y		piedras, grava, pedre	35-90	piedras, grava, pedre	45-80	140	Moderado	3.9-7.9
29 w-29	689900	8251600	pendiente baja	Forestal	S	C3.1	1c	FY, YL	Y, YL		piedras, grava, pedre	35-91	piedras, grava, pedre	45-81	45	Imperfecto	3.9-7.10
30 w-30	689100	8253400	pendiente superior	Forestal	S	C1.1	1d	F, FY, FL	FY, Y		piedra, grava, pedre	20-80	piedra, grava, pedre	40-80	56	Moderado	3.9-6.8
31 w-31	689600	8252900	pendiente media	Forestal	S	C1.2	1c	F, FY, FL	FY, Y		piedra, grava, pedre	20-80	piedra, grava, pedre	40-80	49	Imperfecto	3.9-6.8
32 w-32	690300	8252500	pendiente baja	Forestal	N	C2.1	8c	FY, YL	Y, YL		piedra, grava, pedre	20-81	piedra, grava, pedre	40-81	35	Imperfecto	3.9-6.9
33 w-33	692800	8255100	Cima	Forestal	N	S1.1	1d	F, FY, FYL	FYL, Y		piedra, pedregón	40-50	piedra, pedregón	60-80	99	Moderado	4-7.6
34 w-34	693400	8255800	pendiente baja	Forestal	S	S1.1	3e	F, FLY	FYL, Y		piedra, pedregón	40-50	piedra, pedregón	60-80	130	Moderado	4-7.6
35 w-35	694600	8256500	pendiente alta	Forestal	S	S1.1	1e	F, FLY	FYL, Y		piedra, pedregón	40-50	piedra, pedregón	60-80	99	Moderado	4-7.6
36 w-36	696600	8259500	pendiente media	Forestal	S	S1.3	3e	F, FLY	FYL, Y		piedra, pedregón	40-50	piedra, pedregón	60-80	100	Moderado	4-7.6
37 w-37	698600	8260000	pendiente alta	Forestal	S	S1.1	1d	FY, Y	FYL, Y		piedras, pedregones	50-80	piedras, pedregones	50-90	68	Moderado	3.8-6.2
38 w-38	697800	8261400	pendiente media	Forestal	N	S1.2	3e	FY, Y	FYL, Y		piedras, pedregones	50-80	piedras, pedregones	50-90	98	Moderado	3.8-6.2
39 w-39	698600	8263700	pendiente media	agricultura	S	S1.3	1d	F, FYL	FY, FYL, YA		grava, piedras, pedre	5-15	grava, piedras, grav	40-80	71	Moderado	4.2-7.7
40 w-40	699700	8264400	pendiente baja	agricultura	S	S1.4	1c	FYL, YLA	FL, L		grava, piedras, pedre	5-16	grava, piedras, grav	40-80	47	Imperfecto	4-6.8
41 w-41	701000	8261300	Cima	Forestal	N	S1.2	1d	FY, Y	FYL, Y		piedras, pedregones	50-80	piedras, pedregones	50-90	59	Moderado	3.8-6.2
42 wam-42	696300	8231100	pendiente media	Forestal	N	C1.2	1d	F, FY, FL	FY, Y		piedra, grava, pedre	20-80	piedra, grava, pedre	40-80	47	Moderado	3.9-6.8
43 wam-43	697400	8235100	pendiente superior	Forestal	N	C1.2	1c	F, FY, FL	FY, Y		piedra, grava, pedre	20-80	piedra, grava, pedre	40-80	40	Imperfecto	3.9-6.8
44 wam-44	696300	8235100	pendiente Baja	Forestal	S	C1.3.2	1d	F, FY, FYL	FY, FYL, Y		piedras, grava, pedre	35-90	piedras, grava, pedre	45-80	51	Imperfecto	3.9-7.9
45 wam-45	696312	8235110	pendiente Baja	Forestal	N	C1.3.2	3e	F, FY, FL	FY, Y		piedras	50	piedra	40	59	imperfecto	3.9
46 wam-46	696323	8235300	pendiente Baja	Forestal	N	C1.3.2	10a	F, FY, FL	FY, Y		piedras	50	piedra	40	59	imperfecto	3.9
47 wam-47	697200	8235130	Cima	Forestal	N	C2.1	10a	F, FY, FL	FY, Y		piedra, grava, pedre	20-80	piedra, grava, pedre	40-80	55	Moderado	3.9-6.8
48 wam-48	693900	8236100	pendiente media	agricultura	N	C1.2.1	3e	F, FY, F	Y, FY		piedras, grava, pedre	15-70	piedra, grava, pedre	20-90	110	Moderado	4.1-6.9
49 wam-49	696500	8235500	pendiente baja	Forestal	S	C2.1	1d	F, FY, FL	FY, Y		piedra, grava, pedre	20-80	piedra, grava, pedre	40-80	40	Imperfecto	3.9-6.8
50 wam-50	696345	8235240	Cima	Forestal	N	C2.1	3c	F, FY, FL	FY, Y		piedra, grava, pedre	20-80	piedra, grava, pedre	40-80	40	Imperfecto	3.9-6.8
51 wam-51	696600	8235140	pendiente Baja	Forestal	N	C2.1	7c	F, FY, FL	FY, Y		piedra, grava, pedre	20-80	piedra, grava, pedre	40-80	40	Imperfecto	3.9-6.8
52 wam-52	696100	8235200	pendiente Baja	Forestal	N	C2.1	3e	F, FY, FL	FY, Y		piedra, grava, pedre	20-80	piedra, grava, pedre	40-80	40	Imperfecto	3.9-6.8
53 wam-53	693200	8234340	pendiente media	agricultura	N	C1.1	1c	F, FY, FYL	FA, FAL, A		piedra, grava, pedre	15-80	piedra, grava, pedre	40-80	43	Imperfecto	4.3-6.8
54 wam-54	696230	8235312	pendiente media	Forestal	N	C3.1	1e	F, FY, FL	FY, Y		piedra, grava, pedre	20-80	piedra, grava, pedre	40-80	55	Moderado	3.9-6.8
55 wam-55	692500	8235000	pendiente superior	agricultura	N	C1.1	3e	F, FY, FYL	FA, FAL, A		piedra, grava, pedre	15-80	piedra, grava, pedre	40-80	113	Moderado	4.3-6.8
56 wam-56	700100	8259500	pendiente superior	agricultura	N	S1.2	1d	FY, Y	FYL, Y		piedras, pedregones	50-80	piedras, pedregones	50-90	44	Moderado	3.8-6.2
57 wam-57	696600	8235700	pendiente baja	Forestal	N	S1.2	1c	F, FY, FL	FY, Y		piedra, grava, pedre	20-80	piedra, grava, pedre	40-80	55	Moderado	3.9-6.8
58 wam-58	698900	8262600	pendiente media	Forestal	S	S1.2	3e	FY, Y	FYL, Y		piedras, pedregones	50-80	piedras, pedregones	50-90	90	Moderado	3.8-6.2
59 w-59	696236	8235100	pendiente baja	Forestal	N	S1.4	1e	F, FY, FL	FY, Y		piedra, grava, pedre	20-80	piedra, grava, pedre	40-80	55	Moderado	3.9-6.8
60 wam-60	698700	8264400	pendiente intermedia	agricultura	N	S1.3	3e	F, FYL	FY, FYL, YA		grava, piedras, pedre	5-15	grava, piedras, grav	40-80	112	Moderado	4.2-7.7
61 wam-61	696351	8235145	pendiente superior	Forestal	N	S1.3	1e	F, FY, FL	FY, Y		piedra, grava, pedre	20-80	piedra, grava, pedre	40-80	55	Moderado	3.9-6.8
62 wam-62	696150	8235230	pendiente superior	Forestal	N	S1.3	1c	F, FY, FL	FY, Y		piedra, grava, pedre	20-80	piedra, grava, pedre	40-80	55	Moderado	3.9-6.8
63 wam-63	699700	8265400	pendiente baja	agricultura	N	S1.4	1c	FYL, YLA	FL, L		grava, piedras, pedre	5-16	grava, piedras, grav	40-80	32	Imperfecto	4-6.8
64 w-64	696105	8235900	pendiente superior	Forestal	S	S1.3	3b	F, FY, FL	FY, Y		piedra, grava, pedre	20-80	piedra, grava, pedre	40-80	55	Moderado	3.9-6.8
65 wam-65	696215	8235200	pendiente superior	Forestal	N	S1.4	1a	F, FY, FL	FY, Y		piedra, grava, pedre	20-80	piedra, grava, pedre	40-80	55	Moderado	3.9-6.8

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8.** Resultados de laboratorio de análisis de muestras de suelos

ID	COD	Sitio de muestreo	USO-TRR	LAB	UNID	Horizonte (cm)	PH	CE (mS/cm)	TB (cmol/kg)	CIC (cmol/Kg)	SB (%)	MO (%)	N (%)	P (mg/Kg)	Al (%)	FERTILIDAD*	TOXIC. Al*
1	w-2	Pendiente superior	Agricultura	S	C1.2.1	A p (0 a 55)	4.10 a 6.90	11 a 102	0 a 15.30	4.04 a 15.40	4.20 a 99.35	1 a 7.60	0.13 a 0.50	1 a 20	0 a 88.82	muy baja a moderada	sin y con alta
2	w-3	Cima	Agricultura	S	C1.2.1	AC (35 a 45)	4.20 a 6.10	15 a 112	0.48 a 14.21	4.00 a 18.00	4.30 a 45.00	1 a 2.60	0.11 a 0.30	1 a 10	0 a 77.98	muy baja a moderada	sin y con alta
3	w-4	Pendiente baja	Agricultura	S	C1.2.1	Ap (0 a 59)	4.10 a 6.00	27 a 104	0.45 a 15.21	4.14 a 15.00	3.85 a 89.30	1 a 5.30	0.13 a 0.70	1 a 15	0 a 87.88	muy baja a moderada	sin y con alta
4	w-11	Pendiente media	Forestal	S	C1.1	AC (45 a 69)	4.30 a 6.80	26 a 126	0.47 a 11.21	3.81 a 11.41	8.44 a 98.25	1 a 5.80	0.10 a 0.48	2 a 18	0 a 84.38	muy baja	baja a alta
5	w-13	Pendiente baja	Forestal	S	C1.1	ABtg ( 0 a 57)	3.80 a 6.20	7 a 117	0.40 a 11.30	4.00 a 13.10	7.30 a 75.24	1 a 3.43	0.09 a 0.50	1 a 25	0 a 88.82	muy baja	sin y con alta
6	w-14	Cima	Forestal	S	C1.1	HA.C (0 a 55)	3.80 a 6.10	13 a 145	0.37 a 4.22	3.75 a 10.00	5.23 a 81.33	1 a 4.89	0.12 a 0.27	1 a 14	0 a 85.82	muy baja a moderada	sin y con alta
7	w-15	Pendiente media	Agricultura	S	C1.1	AC ( 0 a 75)	4.10 a 6.80	0.5 a 146	0.41 a 12.25	3.98 a 11.51	4.58 a 77.96	1 a 7.57	0.13 a 0.49	2 a 20	0 a 86.15	muy baja	sin y con alta
8	Wan-45	Cima	Forestal	S	C2.1	HA.Bt (0 a 45)	4.30 a 5.10	6 a 65	0.36 a 2.39	3.90 a 6.24	7.11 a 58.48	0.90 a 3.40	0.06 a 0.27	1 a 7	26.89 a 84.19	muy baja a baja	mediana a muy alta
9	w-17	Pendiente baja	Agricultura	S	C1.3	Ap (0 a 55)	3.90 a 7.90	12 a 221	0 a 13.81	2.06 a 14.56	3.51 a 98.25	0.70 a 16	0.06 a 0.95	0 a 39	0 a 85.38	muy baja a baja	sin y con alta
10	w-20	Pendiente media	Forestal	S	C1.3	AC1 (45 a 79)	4.10 a 6.40	0.80 a 170	0.47 a 11.21	3.00 a 9.00	4.00 a 35.35	0.70 a 13	0.07 a 0.72	0 a 29	0 a 79.45	muy baja a baja	sin y con alta
11	w-21	piso de drenaje	Proteccion	S	C1.2	ACBtg (42 a 70)	4.90 a 6.60	11 a 143	0.40a 15.00	2.75 a 19.00	3.25 a 87.45	0.60 a 15	0.05 a 0.55	0 a 25	0 a 82.91	muy baja a baja	sin y con alta
12	w-22	Pendiente baja	Agricultura	S	C1.3.1	AC/ACBtg (55 a 80)	3.90 a 7.90	12 a 221	0 a 13.81	2.06 a 14.56	3.51 a 98.25	0.70 a 16	0.06 a 0.95	0 a 39	0 a 85.38	muy baja a baja	sin y con alta
13	w-24	Pendiente media	Agricultura	S	C1.3.1	Ap (0 a 55)	4.50 a 6.90	125 a 120	0.430 a 15.11	3.09 a 13.20	4.12 a 88.15	1 a 9.20	0.07 a 0.53	0 a 35	0 a 80.79	muy baja a baja	sin y con alta
14	Wan-44	Pendiente baja	Agricultura	S	C1.3.2	CBtg (45 a 69)	5.10 a 6.90	11 a 102	0 a 15.30	4.04 a 15.40	4.20 a 99.35	1 a 7.60	0.13 a 0.50	1 a 20	0 a 88.82	muy baja a moderada	sin y con alta
15	w-27	Pendiente superior	Forestal	S	C1.3	HA. (0 A 55)	5.30 a 5.70	0.5 a 102	0.430 a 14.80	4.00 a 19.00	3.95 a 89.38	0.7 a 11.24	0.13 a 0.80	0 a 23	0 a 75.82	muy baja a moderada	sin y con alta
16	w-29	Pendiente baja	Forestal	S	C3.1	ABt (35 a 58)	4.70 a 70	6 a 88	0 a 6.35	3.16 a 6.71	10.57 a 98.45	1 a 3.80	0.08 a 3.10	1 a 10	0 a 75.20	baja	alta toxicidad
17	w-30	Pendiente superior	Forestal	S	C1.2	AC (0 a 57)	3.9 a 6.8	7 a 192	0 a 192	2.48 a 20.48	4.55 a 99.30	0.60 a 11.30	0.06 a 0.60	0 a 46	0 a 90.53	muy baja a moderada	alta toxicidad
18	w-31	Pendiente media	Forestal	S	C1.2	ABtg (45 a 60)	3.80 a 7.70	17 a 156	0.431 a 15.78	4.00 a 12.00	4.70 a 90.55	0.70 a 12.12	0.08 a 0.50	0 a 45	0 a 79.22	baja	sin y con alta
19	w-34	Pendiente baja	Forestal	S	S1.1	A (0 a 69)	4.00 a 7.60	16 a 162	0.455 a 16.00	3.80 a 15.88	1.76 a 187	0.70 a 5.50	0.07 a 0.31	1 a 39	0.45 a 89.57	muy baja	baja a alta
20	w-35	Pendiente alta	Forestal	S	S1.1	AC (40 a 59)	5.00 a 6.80	16 a 123	0 a 15.45	2.90 a 10.00	2.00 a 89.10	0.90 a 5.20	0.08 a 0.41	1 a 29	0 a 85.62		
21	w-39	Pendiente media	Agricultura	S	S1.3	AC2 (48 a 61)	4.20 a 7.70	0.60 a 184	0 a 10.55	1.23 a 14.91	12.86 a 100	0.20 a 3.70	0.02 a 0.45	1 a 35	0 a 79.52	muy baja y moderada	sin y con alta
22	w-40	Pendiente baja	Agricultura	S	S1.4	CBtg (35 a 51)	4.00 a 6.80	0.80 a 184	12 a 287	1.09 a 14.45	35.54 a 98.49	0.50 a 3.90	0.06 a 0.30	1 a 38	0 a 54.55	baja	sin y con mediana
23	wam-44	Pendiente baja	Forestal	S	C1.3	A (0 a 59)	3.70 a 7.80	11 a 114	0 a 10.00	3.13 a 17.00	4.60 a 83.30	0.4 a 4.20	0.05 a 0.50	1 a 29	0 a 69.92	baja	sin y con alta
24	wam-51	Pendiente media	Forestal	S	S1.2	AC1 (23 a 100)	3.80 a 6.20	13 a 164	0.40 a 17.88	3.41 a 18.18	3.31 a 98.35	0.20 a 5.80	0.03 a 0.40	1 a 16	1.65 a 92.31	moderada	baja a alta

**Fuente:** Elaboración propia basada en informe de análisis rutinario de suelos de laboratorio

\*interpretados según rangos expuestos por el Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT), ver anexo 18.

Los perfiles de suelos encontrados por unidades de paisaje de la subcuenca, presentan variedad de características morfológicas y una heterogeneidad de clase taxonómicas (Figura 6), es por esta razón que se vio por conveniente describir cada clase taxonómica dominante en asociación, por unidad cartográfica de suelo, este procedimiento se basa en la estimación del porcentaje de superficie que ocupa cada suborden en una unidad de suelo (**BID AMAZONIA/OTRA, 1999**). Como resultado, se tienen las siguientes clases subórdenes dominantes para cada unidad de suelo (Tabla 9), donde el número entre paréntesis es el porcentaje de la superficie estimada que ocupa cada suborden taxonómico. También ponderar que a estudio semidetalle las descripciones de clases taxonómicas de suelos fueron realizados a niveles de ordenes y subórdenes (**FAO, 1994**).

**TABLA 9.** Subórdenes taxonómicas asociación en base a los suelos dominantes

Id	Cod	Unidad de suelos	Clasificación taxonómica nivel de asociaciones
1	C1.1	Serranía alta con cimas amplias, con bosque húmedo	Tropepts (55%); Orthents (30%) y Inclusiones de Fibrist (10 %) y Fluvents (5%).
2	C1.2	Serranías bajas, con cimas angulares. con bosque húmedo	Orthents (55%) y Tropepts (25%); Fluvents (15 %); e inclusiones de Fibrist (5 %).
3	C1.2.1	Serranía bajas, con cimas angulares. con intervención antrópica	Tropepts (75%); Ochrepts (20%) y Fibrist (5 %).
4	C1.3	Serranías medias, con cima amplias. con bosque húmedo	Tropept (90%); Ochrepts (5 %); %; e inclusiones de Fibrist (3 %) y Fluvents (2 %);
5	C1.3.1	Serranías medias, con cimas apilas. con intervención antrópica	Orthents (65%). Tropepts (10%); Fibrist (10 %); inclusiones de Fluvents (3%). Ochrepts (5 %); Psamments (2 %) y Umbrepts (5 %).
6	C1.3.2	Serranías medias, con cimas amplias. con pastizal	Orthents (75%) y Tropepts (30%); inclusiones de Fibrist (5 %).
7	C2.1	Colinas medias y bajas, moderadamente disectadas a disectadas. con bosque húmedo	Orthents (50%); Ochrepts (15%); y Udalfs (20 %); inclusiones de Tropepts (15 %).
8	C3.1	Terrazas aluviales en ríos y arroyos	Fluvents (60%). Udoll (40%) y inclusiones Psamments (20 %).
9	S1.1	Serranías altas, con cimas amplias. con bosque húmedo	Orthents (50%); Tropepts (35%); Inclusiones de Psamments (5%) y otros (10%).
10	S1.2	Serranías medias y bajas, con cimas angulares. con bosque secundario	Orthents (50%); Tropepts (40%); Inclusiones de Fluvents (5%) y Psamments (10%).
10	S1.3	Llanura de pie de monte, con bosque secundario	Tropepts (85%); inclusiones Psamments (10%) y Fluvents (5%).
11	S1.4	Terrazas aluviales amplias, con bosque secundario y agricultura	Fluvents (60 %); Aquepts (20 %); Inclusiones Aquepts (20 %).

Fuente: Elaboración propia

## 5.5. Delimitación de la Subcuenca Hidrográfica del Río Boopi

Una primera evaluación se realizó sobre la situación *geopolítico de la subcuenca*, con los criterios del (**PLANACHBOL, 1997**). Se sobreponieron capas con información georeferenciada en Sistemas de Información Geográfica (SIG), los límites de la subcuenca hidrográfica Río La Paz-Boopi e hidrología

recopilados también del **(PLANACHBOL, 1997)**, y límites políticos administrativos provinciales y municipales publicadas por el **INRA** en **(2003)**. Como resultado de la sobreposición de los mapas temáticos, se obtuvieron las siguientes evaluaciones: la Subcuenca Hidrográfica Río Boopi es un “sector” de la Subcuenca Hidrográfica Río La Paz-Boopi, tiene una superficie de 88710.80 has el 6.15 % de la superficie total. Pertenece a la cuenca del Río Beni y Gran cuenca Amazónica. Geopolíticamente esta bajo límites administrativos provinciales de Caranavi. Sud Yungas y Nor Yungas, con superficies dentro de la subcuenca de: 45691.95 ha. 42893.90 ha. 124.95 ha. respectivamente. Los municipios involucrados territorialmente son: Caranavi. La Asunta. Palos Blancos y Coripata (Mapa 2).

Una segunda evaluación fue la delimitación de la subcuenca hidrográfica “sector” Río Boopi, por *parte-agua y el grado de concentración de la red de drenaje*, con los criterios del **(PLANACHBOL, 1997)** y de la **(OIERN-NRENA, 2003)**. Para precisar en la identificación de parte-agua en SIG fueron sobrepuestos a la imagen satelital con combinación de bandas (4R-5G-2B), las curvas de nivel cada 50 m. e hidrografía (ríos y arroyos), la imagen combinada muestra las rugosidades de la superficie de terrestre en color sepia, mientras que los cuerpos de agua, ríos, y arroyos son muy visibles en colores azul claro y oscuro **(DZEL, 2003)**. Una vez concluido el procedimiento de la sobreposición, se identificaron las formas y los límites de la Subcuenca y microcuencas siguiendo los grados de concentración de drenaje. Los resultados obtenidos demostraron que la subcuenca “sector” desarrolla un sistema de drenaje dendrítico, con 6 ríos y 14 arroyos (Tabla 10), las aguas van directamente al curso principal Río La Paz-Boopi; mientras que las microcuencas desarrolla un sistema de drenaje también dendrítico pero pequeño con ríos, arroyos, manantiales y quebradas, cuyas aguas van directamente al Río Boopi. Los polígonos obtenidos son: polígono de la subcuenca “sector” Río Boopi y 22 polígonos correspondiente a las microcuencas (Mapa 3), fueron asignados con sus respectivos atributos y codificación.

Para la codificación de la subcuenca y microcuencas, se basa en la experiencia de la **(OIERN-NRENA, 2003)**, asignando la subcuencas, en sentido de la desembocadura hacia la naciente del río principal con dígitos impar (1, 3, 5....); y las microcuencas en el mismo sentido con letras minúsculas (a, B, c....). Con la codificación, se han logrado clasificar detalladamente a la subcuenca “sector” Río Boopi como punto de partida para organizar la información socioeconómica y la localización de ríos y arroyos (Tabla 10).

**Tabla 10.** Clasificación detallada de la Subcuenca Hidrográfica Sector- Río Boopi

Clasificación	Nombre	Id	Cod	Sup (ha)
Gran Cuenca	Amazonas	1	A	728953 (Km2)
Cuenca	Beni	2	6	25398 (Km2)
Subcuenca	Río La Paz-Boopi	3	15	14423 (Km2)
Sector	Río Boopi	3	15	90061.7
Microcuenca	Arroyo Mal Paso Chico	4	e	2662.00
	Arroyo Cinco Llaychi	5	d	3259.00
	Arroyo Colorado Grande	6	c	5279.00
	Arroyo Tigre	7	m	1046.00
	Arroyo Lerco	8	j	4093.00
	Arroyo Agua Clara	9	o	2194.00
	Río San Lorenzo	10	n	7983.00
	Río Eva Eva	11	p	13530.00
	Río Irpachurqui	12	q	7434.00
	Arroyo Sihuaní	13	ñ	3393.00
	Arroyo Nogalani	14	r	3661.00
	Arroyo San Fernando	15	k	590.80
	Río San Fernando Chico	16	i	6703.00
	Arroyo Chispanito	17	g	2489.00
	Arroyo Chispani	18	h	7345.00
	Arroyo Mal Paso Grande	19	f	1951.00
	Río San Lorenzo Chico	20	l	2550.00
	Arroyo Playa Ancha.	21	a	3142.00
	Río San Fernando	22	ll	8094.00
	Arroyo colorado Chico	23	b	1312.00

**Fuente:** Elaboración propia basada en (OIERN- NRENA. 2003)

Los criterios asumidos sobre la delimitación de la subcuenca, es a causa de la poca experiencia de delimitaciones de cuencas hidrográficas en nuestro medio (PLANACBOL, 1997), también para satisfacer las necesidades de claridad de los aspectos socioeconómicos para la ZAE. Por esta razón se conjuncionarán los criterios de la (OIERN- NRENA, 2003) con él (PLANACBOL, 1997), para definir los límites político administrativos que se interceptan sobre el territorio de la subcuenca, de los límites naturales de la subcuenca y la escala de trabajo. Como resultado analítico se han logrado sintetizar los criterios en la (Tabla 11), donde las divisiones menores tienen importancia para el caso estudio.

**Tabla 11.** Niveles de escala de estudio de la subcuenca

División	Clasificación	Nombre	Nivel territorial	Criterios de delimitaron
MAYORES	Gran Cuenca	Amazónica	Internacional (Brasil. Perú. Bolivia)	Geopolíticos (en el ámbito de dos o más naciones) y de parte-aguas, en concordancia con las curvas de nivel del mapa físico a escala 1:10'000.000. Para estudios exploratorios escala 1: 8'000.000
	Cuenca	Río Beni	Interdepartamental (La Paz)	Geopolíticos (en el ámbito de dos o más departamentos) y de parte-aguas, en concordancia con las curvas de nivel del mapa físico a escala 1:1'000.000. Para estudios exploratorios escala 1: 8'000.000
MENORES	Subcuenca	Río Boopi "sector"	Interprovincial (Caranavi. Sud Yungas y Nor Yungas)	Geopolíticos (en el ámbito de dos o más provincias) y de parte-aguas, en concordancia con las curvas de nivel del mapa físico de a escala 1: 500.000. para estudios semidetallados escala 1:250.000
	Microcuenca	Ríos y arroyos	Intermunicipal (Caranavi. La Asunta. Palos Blancos y Coripata)	Geopolíticos (en el ámbito de dos o más municipios) y de parte-aguas, en concordancia con las curvas de nivel del mapa físico de a escala 1:250.000. para estudios detallados escala 1:50.000
	Quebrada	Quebradas	Intercomunal	Geopolíticos (en el ámbito de dos o más comunidades) y de parte-aguas, en concordancia con las curvas de nivel cartas topográficas escala 1: 50.000. para estudios detallados escala 1:10.000

**Fuente:** Elaboración propia basada en OIERN- NRENA. 2003 y PLANACHBOL. 1997



## 5.6. Inventario socioeconómico

La inventariación socioeconómico se realizó con formularios de campo, estructurados de acuerdo a (FAO, 1997), con los siguientes atributos: niveles de insumos utilizados en la producción agrícola, cultivos, tenencia de la tierra y número de familias asentadas. El llenado se hizo con la entrevista a autoridades, líderes locales y pobladores. La información recabada in situ fueron complementadas con datos del censo nacional población y vivienda (INE, 2001) para tener mayor referencia socioeconómica. Se obtuvieron un total de 45 formularios socioeconómicos en visita de campo. La información ordenada y sistematizada, fue incorporada a la base de datos de las microcuencas hidrográficas, el objetivo es que el espacio físico de las microcuencas sirvan como unidades de análisis socioeconómico. Los resultados obtenidos son:

### 5.6.1. Los insumos utilizados en la producción de cultivos arbóreos.

Muestran que el café, banano, cacao y cítricos (naranja, limón, lima y mandarina), tienen mayor importancia en las familias de la subcuenca como cultivos comerciables y muy poco para seguridad alimentaria, generalmente se encuentran bajo sistemas agroforestales y manejados individualmente. Las características de los niveles de uso de insumos para la producción son las siguientes (Tabla 12).

**TABLA 12.** Niveles de utilización de insumos en la producción de cultivos arbóreos

Atributo	Insumos bajos	Insumos medios	Insumos elevados
Producto y producción	Cultivo de café, banano, cacao y cítricos. Sistema asociados al bosque, individuales.		
Orientación sobre mercado	Producción de subsistencia (banano, cítricos y cacao)	Producción de subsistencia más venta comercial de productos localmente	Producción comercial (café)
Intensidad de capital	No hay inversión	Bajo	Mediano
Intensidad de trabajo	Elevado, incluyendo trabajo familiar no remunerado	Medio. incluyendo trabajo familiar no remunerado	Bajo. trabajo familiar remunerado si se utiliza
Fuente de energía	Trabajo manual con herramientas manuales	Trabajo manual con herramientas manuales con implementos mejorados (fumigadoras portátiles)	Sin mecanización
Tecnología	Variedades tradicionales. Sin fertilizantes ni agroquímicos. Escasas medidas de manejo técnica	Variedades mejoradas. Adecuadas prácticas incluyendo algunos fertilizantes y agroquímicos.	Variedades de altos rendimientos incluyendo híbridos. Óptimo uso de fertilizantes y agro químicos. Medidas de conservación y manejo completas
Infraestructura	Sin accesibilidad a los mercados.	Accesibilidad a los mercados de La Asunta y Chulumani.	Accesibilidad a los mercados de Caranavi y La Paz.
Tenencia de la tierra	Pequeña. fragmentada (propiedad)	4 catos a 3 has. (propiedad)	Extensa. consolidada
Nivel de ingresos	Muy bajo	Moderado	Elevado

**Fuente:** Elaboración propia basada en FAO. 1997.

El grano de café es el producto que tiene mayor importancia económica en la zona de estudio, con una intensidad de capital mediano, con dos orígenes familiar y cooperación externa mediante la Federación de Productores de Café Orgánico (FECAFE) asiento en Caranavi. Las variedades de café orgánico son Caturra y Catuaí, por la demanda del grano de café por parte del mercado de Caranavi y La Paz, que

genera ganancias a las familias asentadas en la subcuenca, es posible que la intensidad de trabajo sea familiar remunerado y en algunos casos se contrate los servicios de otras familias.

El banano se constituye en alimento básico para las familias asentadas en la subcuenca, con intensidad de capital es nulo, incluye trabajo familiar no remunerado alto, cuando la intensidad de trabajo, es bajo a mediano hay accesibilidad a los mercados de La Asunta y Chulumani.

**5.6.2. Los insumos utilizados en la producción de cultivos anuales.** Muestran que el cultivo de maíz, arroz y hortalizas, en asociación sujeto a rotaciones apropiadas, tienen mayor importancia en las familias de la subcuenca como cultivos de seguridad alimentaria. Las características de los niveles de uso de insumos para la producción fueron sintetizados (Tabla 13).

**TABLA 13.** Niveles de utilización de insumos en la producción de cultivos anuales

Atributo	Insumos bajos	Insumos medios	Insumos elevados
Producto y producción	Cultivo de maíz, arroz, tomate. Locoto, pepino y lechuga. Sistema individual y asociados sujeto a rotaciones apropiados.	Locoto, pepino y lechuga. Sistema individual y asociados sujeto a rotaciones apropiados.	Sistema individual y asociados sujeto a rotaciones apropiados.
Orientación sobre mercado	Producción de subsistencia (autoconsumo y alimentos para los animales domésticos)	Producción de subsistencia más venta comercial de productos (arroz)	Producción comercial (arroz, maíz, tomate y locoto)
Intensidad de capital	Bajo	Medios	Elevados
Intensidad de trabajo	Elevado. incluyendo trabajo familiar no remunerado	Medio. incluyendo trabajo familiar no remunerado	Bajo. trabajo familiar remunerado si se utiliza
Fuente de energía	Trabajo manual con herramientas manuales	Trabajo manual con herramientas manuales con implementos mejorados.	Trabajo con implementos mejorados.
Tecnología	Variedades tradicionales. Sin fertilizantes ni agroquímicos. La recuperación de la fertilidad de los suelos están sujetos a períodos de barbecho. Escasas medidas de conservación	Variedades mejoradas. Adecuadas prácticas incluyendo algunos fertilizantes y agroquímicos. Algunos períodos de barbecho y medida de conservación	Variedades de altos rendimientos incluyendo híbridos. Óptimo uso de fertilizantes y agro químicos. Medidas de conservación completas
Infraestructura	Sin accesibilidad a los mercados.	Accesibilidad a algunos mercados locales e intermediarios. Elevado nivel de los servicios de las peladoras y flete de transporte.	Accesibilidad a los mercados de La Asunta, Chulumani y La Paz. Elevado nivel de los servicios de las peladoras y flete de transporte.
Tenencia de la tierra	Pequeña. fragmentada (propio y alquilada)	Pequeña. algo fragmentada (propio y alquilada)	Extensa. consolidada (propio y alquilada)
Nivel de ingresos	Bajo	Moderado	Moderado

**Fuente:** Elaboración propia basado en FAO. 1997.

El maíz puede ser almacenado en grano para la alimentación humana y animales domésticos. Las variedades difundidas de maíz son duro cubano y blando. La producción es de subsistencia.

**5.6.3. Ubicación de Comunidades.** Con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) en visita de campo, fueron registrados las ubicaciones geográficas de las comunidades e incorporadas a la base de datos con las siguientes codificaciones: Comunidad (C), poblaciones (P) y puertos (T), El número de familias obedece a la consulta a autoridades y líderes locales. (Tabla 14).

**Tabla 14.** Centros Poblados Sector-Subcuenca Hidrográfica Río Boopi

Id	Cod	Comunidad	Numero de Familias	Coor. UTM	
				E	N
1	P	San Juan de Cotapata	500	695500	8234300
2	C	San Pablo	300	695500	8235700
3	T	Pto. San Pablo	45	695800	8236100
4	P	Puerto Rico	79	691300	8240200
5	C	Agua Clara	80	692600	8237200
6	C	Sta. Teresita	50	696400	8234400
7	C	Los Olivos	20	698500	8229500
8	C	Picha.ri	97	698200	8229000
9	C	Nueva Llusta	85	688000	8233100
10	T	Pto. Boopi Playa	5	690400	8245700
11	C	Ramal Bolívar	35	684100	8245500
12	C	Playa Ancha.	2	700200	8262000
13	T	Pto. Carmen	3	701000	8264900
14	P	San Miguel de Huachi	300	701300	8266100
15	C	Chuma	95	676600	8249500
<b>Total:</b>			1696		

**Fuente:** Elaboración propia compatibilizada con INE 2001

**5.6.4. Tenencia de la tierra.** Se presenta como propiedad privada, alquiler y comunal (Tabla 15).

**Tabla 15.** Tenencia de la tierra en la Subcuenca Hidrográfica Sector-Río Boopi

Id	Cod	Nom. Microcuenca	Tenencia De La Tierra (%)			Sup. (ha.)
			Propio	Alquiler	Comunal	
1	e	Arroyo Mal Paso Chico	0	0	100	2662.00
2	d	arroyo Cinco Llaychi	0	0	100	3259.00
3	c	Arroyo Colorado Grande	0	0	100	5279.00
4	m	Arroyo Tigre	30	60	10	1046.00
5	j	Arroyo Lerco	0	0	100	4093.00
6	o	arroyo Agua Clara	70	20	10	2194.00
7	n	Río San Lorenzo	10	5	85	7983.00
8	p	Río Eva Eva	0	0	100	13530.00
9	q	Río Irpachurqui	80	5	15	7434.00
10	ñ	Arroyo Sihuaní	70	20	10	3393.00
11	r	Arroyo Nogalani	10	5	85	3661.00
12	k	Arroyo San Fernando	0	0	100	590.80
13	i	Río San Fernando Chico	0	0	100	6703.00
14	g	Arroyo Chispanito	0	0	100	2489.00
15	h	Arroyo Chispani	0	0	100	7345.00
16	f	Arroyo Mal Paso Grande	0	0	100	1951.00
17	l	Río San Lorenzo Chico	90	5	5	2550.00
18	a	Arroyo Playa Ancha.	50	40	10	3142.00
19	ll	Río San Fernando	20	10	70	8094.00
20	b	Arroyo colorado Chico	0	0	100	1312.00
<b>TOTAL</b>						<b>88710.8</b>

**Fuente:** Elaboración propia

**5.6.5. Jurisdicciones Administrativa Sobre La Subcuenca.** El mapa de “Municipios del Departamento de La Paz” INE (2001) sobrepuesta a la subcuenca hidrográfica Sector Río Boopi en SIG muestra los municipios que tienen jurisdicción administrativa sobre la subcuenca (Tabla 16).

**Tabla 16.** Municipios dentro de la Subcuenca Hidrográfica

Departamento	Provincia	Municipio	Sup. (ha)
La Paz	Caranavi	Municipio Caranavi	45691.95
La Paz	Sud Yungas	Municipio Palos Blancos	4481.95
La Paz	Sud Yungas	Municipio La Asunta	38411.95
La Paz	Nor Yungas	Municipio Coripata	124.95
<b>Sup. Total</b>			<b>88710.8</b>

Fuente: Elaboración propia basada en INE 2001

También al sobreponer el “Mapa de Areas Protegidas y Parques Nacionales” del INRA (2003) a la Subcuenca hidrográfica, revelo que hay tierras de Reserva Forestal de Inmovilización y Zona Forestal de Reserva Fiscal dentro de la subcuenca, que ocupa 61 % de la superficie total (Tabla 17).

**Tabla 17.** Reserva y Zona Forestal de Inmovilización y Fiscal dentro de la Subcuenca

Ubicación	Propósito	Decreto Supremo	Superficie total	Sup. (ha) en la Subc.
Cuenca del Río Boopi	Reserva Forestal de Inmovilización	DS 17005 del 02/08/1979	418.802.131	48580.00
Serranía de Bella Vista	Zona Forestal de Reserva Fiscal	DS 6689 del 22/02/1964	58.281.688	5667.00
<b>Total</b>			477083.819	54247.00

Fuente: Elaboración propia basada en INRA (2003)

## 5.7. Inventario de cobertura vegetal

Para inventariar la cobertura vegetal se combinó las bandas (3R-2G-1B) de la imagen satelital de acuerdo a (DZEL, 2003), que da pruebas de la buena sensibilidad a la cobertura vegetal (en color rojizo), en tanto que los bosques densos y bien conformados se ven en color rojo oscuro; los barbechos en color rojo claro; caminos en color rosado; cultivos color plomo rojizos y las masas de agua son muy visibles en color negro cuando son profundos y color plomo cuando hay presencia de sedimentos finos en suspensión, coloración rojo amarillento deposito de sedimentos gruesos en las orillas; y el rojo azulado son pastos (Figura 7).

Se convirtió del modelo raster de la imagen (3R-2G-1B) a modelo vector, a través del “módulo Vector” en SIG para obtener las unidades de vegetación y evaluar las superficies y conectarlas a su respectiva base de datos.

La descripción de las unidades de vegetación fueron recabadas en 41 formularios desarrolladas según (UNESCO, 1977). A nivel de: clases, subclases, grupo, formación y subformación; tomando en cuenta sus factores determinantes. Los datos descriptivos de la vegetación fueron registradas en los sitios de muestreo

con sus respectivas coordenadas de ubicación tomadas con GPS. Los resultados obtenidos sobre estos puntos de descripción fueron sobrepuestos al mapa vector obtenida mediante la imagen con bandas (3R-2G-1B), procedimiento que nos ha permitido obtener 10 unidades cartográficas de vegetación y sus características (Tabla 18), a escala 1:250 000 (Mapa 4).

**Tabla 18.** cobertura vegetal de la Subcuenca Hidrográfica

ID	COD	NOMBRE	SUP (ha.)
1	IA1c(6)	Bosque denso siempre verde umbrofilo montano arraigado	10069
2	VF17c(6)	Herbáceo graminosa baja de estación montano arraigado	397
3	III3c(6)	Bosque ralo barbecho semideciduo montano arraigado	9306
4	VIHb(6)	Antrópico cultivos submontano arraigado	2385
5	VIH13c(6)	Antrópico cultivos barbechos arraigado	6335
6	IA3c(6)	bosque denso siempre verde semideciduo montano arraigado	5357
7	IA3c(6)	Bosque denso siempre verde montano arraigado	20150
8	IIA3c(6)	Bosque ralo siempre verde semideciduo montano arraigado	21160
9	IIIA3c(6)	Bosque ralo secundario siempre verde semideciduo montano arraigado	5970
10	LJ3c(6)	Bosque denso secundario semideciduo montano arraigado	7582
<b>Total:</b>			<b>88710.8</b>

**Fuente:** Elaboración propia basada en UNESCO (1977)

La cobertura vegetal en la Cordillera Oriental es heterogenia, con especies de árboles y arbustos siempre verdes, en algunas zonas semidecíduos, también presentan arbustos y herbáceos graminosas bajas. Las especies nativas con mayor presencia son: *Brumellia boliviana* (cedrillo), *Almus acuminata* (Aliso) y *Gunnera magellanica* (Kirusilla). La importancia de la cobertura vegetal en sus formas arbóreas, arbustivas y herbáceos graminoides, es la proteccion del suelo. interceptadora de agua de lluvia y mantener el caudal del Río Boopi; y la cobertura vegetal en el Subandino Norte es heterogenia, con especies de árboles y arbustos semidecíduos, en algunas zonas deciduos. Las especies nativas con mayor presencia son: *Juglans boliviana* (Nogal), *Cederla lilloi* (Cedro) y *Ceroxylon pytirophyllum* (Palmera de altura). La importancia de la cobertura vegetal en sus formas semideciduas y deciduas, favorecen en la incorporación de material orgánico a los suelos, también tiene la función de proteccion del suelo. interceptadora de agua de lluvia y mantener el caudal del Río Boopi.

## 5.8. Inventario de recursos suelos

### 5.8.1. Unidades cartográficas Geomorfológicas

Las unidades geomorfológicas se interpretaron de acuerdo a (DZEL, 2003), combinando las bandas (4R.5G.2B) de la imagen satelital, que da pruebas de la buena sensibilidad a la rugosidad de los suelos (en color sepia), en tanto que los caminos, asentamientos humanos y las masas de agua son muy visibles. El blanco pálido y blanco azulado de la superficie es sustancialmente suelos inundados y erosionados

respectivamente (Figura 8). Las unidades fueron descritas a nivel de gran paisaje, paisaje y subpaisaje, para elaborar un mapa geomorfológico semidetallado escala 1:250 000 (Mapa 5).

Se convirtió el modelo raster (4R.5G.2B)) a vector con el módulo “módulo Vector” del Arcview 3.2. los atributos de las unidades geomorfológicas fueron incorporados a la base de datos. La nomenclatura y el criterio de descripción de unidades cartográficas, fueron asumidos de acuerdo al Proyecto **(BID-AMAZONIA/OTRA, 1999)** para obtener las siguientes unidades cartográficas:

#### **5.8.1.1. Unidades cartográficas geomorfológicas en la cordillera (C)**

**Serranía alta con cimas elongadas (Csa).** Moderada disección; divisoria de aguas muy bien visibles; pendientes abruptas; con 1600 a 2000 n.s.n.m. Geológicamente formada por rocas del Ordovícico. Silúrico y Devónico principalmente, constituidas por areniscas. lutitas y arcillas, sujeta a procesos de remoción en masas y erosión fluvial. El drenaje es subparalelas a dendrítico.

**Serranía medias con cimas angulares (Csm).** Disección media; divisoria de aguas discernibles; pendientes abruptas, con cicatrices de deslizamientos y derrumbes, control estructural con plegamiento. Se ubican a una altitud de 1500 a 2000 m.s.n.m. Geológicamente formada por rocas del Ordovícico. Silúrico y Devónico principalmente, constituidas por areniscas. lutitas y arcillas.

**Serranía bajas con cimas amplias (Csb).** Disección media y alta; divisoria de aguas discernibles; pendientes abruptas, con cicatrices de deslizamientos y derrumbes. Se ubican a una altitud de 900 a 1000 m.s.n.m. Geológicamente formada por rocas del Ordovícico. Silúrico y Devónico principalmente, constituidas por areniscas. lutitas y arcillas.

**Colinas medias y bajas con cimas angulares y redondeadas (Ccab).** Disección alta, divisoria de aguas poco discernibles, pendientes escarpadas y inclinadas, ínter flujos bien modelados, erosión en cárcavas moderado, altura de 900 a 1200 m.s.n.m. Geológicamente formada por rocas del Ordovícico. Silúrico y Devónico principalmente, constituidas por areniscas. lutitas y arcillas.

**Terrazas fluviales sobre lecho de ríos y arroyos (Ct1).** Terrazas fluviales sobre ríos y arroyos, alturas de 900 a 1000 m.s.n.m. esta unidad esta formada por sedimentos cuaternarios aluviales y representada por terrazas reducidas al lecho de ríos y arroyos.

**Terrazas Fluviales nuevas y antiguas (Ct2).** Terrazas nuevas, alturas de 700 a 900 m.s.n.m. formada por sedimentos cuaternarios aluviales y representada por terrazas estrechas que se encuentran en el Río Boopi.

### 5.8.1.2. Unidades cartográficas geomorfológicas en el Subandino (S).

**Serranía altas con cimas amplias (Ssa).** Disección moderada; divisoria de aguas discernibles; pendientes abruptas, con cicatrices de deslizamientos y derrumbes, control estructural con plegamiento. Se ubican a una altitud de 900 a 1200 m.s.n.m.

Formada principalmente por rocas sedimentarias paleozoicos, mesozoicos y terciarias, constituida por areniscas, margas, calizas y arcillas, erosión laminar y en cárcavas moderadas, drenaje detrítico a subparalela.

**Serranía medias y bajas con cimas redondeadas angulares (Ssmb).** Disección moderada y alta; divisoria de aguas discernibles; pendientes abruptas, con cicatrices de deslizamientos y derrumbes, control estructural con plegamiento. Se ubican a una altitud de 900 a 1000 m.s.n.m.

Formada principalmente por rocas sedimentarias paleozoicos, mesozoicos y terciarias, constituida por areniscas, margas, calizas y arcillas, erosión laminar y en cárcavas moderadas, drenaje detrítico a subparalela.

**Piedemonte (Ssp).** Propiamente dicho es el Piedemonte, con alturas de 800 a 890 m.s.n.m. formada por sedimentos cuaternarios coluvio aluviales, constituida por gravas subredondeadas, arena, limo y arcillas. Drenaje subparalela a detrítica.

**Terrazas fluviales nuevas y antiguas (St).** Terrazas aluviales y playas, alturas de 600 a 800 m.s.n.m. formada por sedimentos cuaternarios aluviales y representada por terrazas y playas amplias, temporalmente inundables que se encuentran a ambos lados del Río Alto Beni.

Se describieron nueve unidades geomorfológicas en la Subcuenca Hidrográfica Sector-Río Boopi (Tabla 19).

**Tabla 19.** Unidades Geomorfológicas Subcuenca Hidrográfica Sector-Río Boopi

Id	Cod	Nombre	Sup. (ha)
1	Csa	Serranía alta. con cimas amplias	8313
2	Csm	Serranía medias. con cimas angulares	28500
3	Ccmb	Colinas medias y bajas. con cimas angulares y redondeadas	10040
4	Csb	Serranías bajas. cimas amplias	25835.1
5	Ct1	Terrazas aluviales antiguas y nuevas	761.7
6	Ssa	Serranías altas. cimas amplias	12010
7	Smb	Serranías medias y bajas. con cimas angulares	1681
8	Ssp	Piedemonte	217
9	St	Terrazas aluviales amplias	1353
<b>TOTAL</b>			<b>88710.8</b>

Fuente: Elaboración propia

### 5.8.2. Unidades cartográficas de suelos

Las unidades cartográficas de suelos se interpretó con la combinación de bandas (4R.5G.7B) de la imagen satelital en acuerdo a **(DZEL. 2003)**, dan testimonio de suelos con agricultura en color azul pálido; sin agricultura en coloración café oscuro; suelos sujeto a inundación en color plomo pálido; afloramientos rocosos en color anaranjado oscuro y amarillo pálido; Son muy perceptibles la erosión hídrica en cárcavas en color azulado y quemas de bosques color plomo oscuro (Figura 9). Para ajustar las delimitaciones de las unidades de suelos, se ha sobrepuesto el mapa geomorfológico. Las unidades de suelos fueron descritos en el ámbito de gran paisaje, paisaje y subpaisaje, para elaborar un mapa de suelos semidetallado escala 1:2500 ( Mapa 6).

Se convirtió el modelo raster (imagen 4R.5G.7B) a vector a través del modulo “módulo Vector” del Arcview 3.2. los atributos de unidades de suelos incorporados a la base de datos. La nomenclatura y el criterio de descripción de unidades cartográficas, fueron asumidos de acuerdo al Proyecto **(BID-AMAZONIA/OTRA. 1999)**.

#### 5.8.2.1. Unidades cartográficas de suelos en la cordillera oriental (C)

##### C1 Serranías

##### C1.1 Serranías altas con cimas amplias. con bosque húmedo

**Suelos.** Suelos superficiales a profundos; drenaje a bueno moderado; erosión hídrica tipo laminar, en surcos moderada; pocos sectores con cárcavas; reacción fuertemente ácido a ácido; con muy baja fertilidad; y de baja a alta toxicidad de aluminio.

**Propiedades físicas (z =6)<sup>1</sup>.** Profundidad efectiva: entre 10 y 130 cm; Textura: Franco, franco arcillosos y franco arcillo limoso en los horizontes superiores; con franco arcilloso, franco arcillosos limoso y arcilloso en los horizontes inferiores. Fragmentos rocosos: presenta piedras, grava y pedregones entre 15 y 80 % en el horizonte superior; a sí mismo estos materiales están entre 40 y más 80 % en los horizontes inferiores, en algunos sectores no presentan fragmentos rocosos en todo el perfil. Estructura: De migajosa a bloques angulares en los horizontes superiores; con migajosas, bloques subangulares, migajosa, masivo y grano suelto en los horizontes inferiores. Color: Pardo oscuro a pardo muy oscuro en los horizontes superiores; con pardo grisáceo a pardo amarillento en algunos casos amarillo rojizo a rojizos en los horizontes inferiores.

---

<sup>1</sup> “z se refiere al numero de datos utilizado para promediar la información; por ejemplo la Taxonomia (w = 13) quiere decir que se obtuvo este rango de la descripción de 13 calicatas ”



**Propiedades químicas (z = 6).** PH entre 4.3 a 6.8; conductividad eléctrica entre 26 y 126 mS/cm; Bases intercambiables entre 0.47 y 11.21 cmol/Kg; Capacidad de intercambio catiónico efectivo entre 3.81 a 11.41 cmol/Kg; Saturación de bases intercambiables entre 8.44 y 98.25 %; Materia orgánica entre 1 y 5.80 %; Nitrógeno total entre 0.10 a 0.48 %; Fósforo entre 2 y 18 mg/Kg; y Saturación de aluminio entre 0 y 84.38 %.

**Clasificación taxonómica (z = 6).** Clasificación taxonómica: a nivel de asociaciones de Orthents (55%) y Tropepts (30%); Inclusiones de Fibrist (10 %) y Fluvents (5%).

### **C1.2 Serranías medias con cimas angulares. con bosque húmedo**

**Suelos.** Suelos muy superficiales a profundos, drenaje bueno a excesivo; erosión hídrica tipo laminar y en surcos leve a moderado, en algunos lugares presentan cárcavas; reacción ácido a alcalino a ligeramente ácidas; con muy baja a moderada fertilidad; sin y con alta toxicidad de aluminio.

**Propiedades físicas (w = 11):** Profundidad efectiva: entre 10 y 150 cm; Textura: Franco, franco arcillosos y franco limoso en los horizontes superiores; con franco arcilloso, arcillosos en los horizontes inferiores. Fragmentos rocosos: presenta piedras, grava y pedregones entre 20 y 80 % en el horizonte superior; a si mismo estos materiales están entre 40 y mas 80 % en los horizontes inferiores, en algunos sectores no presentan fragmentos rocosos en todo el perfil. Estructura: De migajosa a bloques angulares en los horizontes superiores; con masivos migajosas, bloques subangulares. migajosa y grano suelto en los horizontes inferiores. Color: Pardo oscuro a pardo rojizo en los horizontes superiores; con pardo amarillento a pardo rojizo a rojizos en los horizontes inferiores.

**Propiedades químicas (w = 11).** PH entre 3.9 y 6.8; conductividad eléctrica entre 7 y 192 mS/cm; Total de bases intercambiables entre 0 y 192 cmol/kg; Capacidad de intercambio catiónico efectivo entre 2.48 a 20.48 cmol/Kg; Saturación de bases intercambiables entre 4.55 y 99.30 %; Materia orgánica entre 0.60 y 11.30 %; Nitrógeno total entre 0.06 y 0.60 %; Fósforo entre 0 y 46 mg/Kg; y Saturación de aluminio entre 0 y 90.53 %.

**Clasificación taxonómica (w = 11).** Clasificación taxonómica: a nivel de asociaciones de Orthents (55%) y Tropepts (20%); Fluvents (5 %); Fibrist (5 %); Umbrepts (5%) e inclusiones de (10 %).

### **C1.2.1 Serranías bajas con cimas angulares. con intervención antrópica**

**Suelos.** Suelos poco profundos a profundos, drenaje bueno a moderado; erosión hídrica tipo laminar y en surcos moderado, en algunos lugares presentan cárcavas severas; reacción fuertemente ácido a alcalino a ligeramente ácidas; con muy baja a moderada fertilidad; sin y con alta toxicidad de aluminio.

**Propiedades físicas (w = 5).** Profundidad efectiva: entre 52 y 110 cm; Textura: Franco, franco arcillosos y franco en los horizontes superiores; con arcilloso y franco arcilloso en los horizontes inferiores. Fragmentos rocosos: presenta piedras, grava y pedregones entre 15 y 70 % en el horizonte superior; a si mismo estos materiales están entre 20 y mas 90 % en los horizontes inferiores, en algunos sectores no presentan fragmentos rocosos en todo el perfil. Estructura: De migajosa, bloques angulares a migajoso en los horizontes superiores; con franco arcilloso a arcilloso en los horizontes inferiores. Color: Pardo oscuro a pardo grisáceo en los horizontes superiores; con pardo amarillento a pardo amarillento y pardo rojizo en los horizontes inferiores.

**Propiedades químicas (w = 5).** PH entre 4.10 y 6.90; conductividad eléctrica entre 11 y 102 mS/cm; Total de bases intercambiables entre 0 y 15.30 cmol/kg; Capacidad de intercambio catiónico efectivo entre 4.04 y 15.40 cmol/Kg; Saturación de bases intercambiables entre 4.20 y 99.35 %; Materia orgánica entre 1 y 7.60 %; Nitrógeno total entre 0.13 y 0.50 %; Fósforo entre 1 y 20 mg/Kg; y Saturación de aluminio entre 0 y 88.82 %.

**Clasificación taxonómica (w = 5).** Asociaciones Orthents (75%) y Tropepts (20%); Fluvents (5 %).

### **C1.3.2 Serranías medias con cimas amplias. con pastizal Suelos**

**Suelos.** Poco profundos a profundos, drenaje bueno a moderado; erosión hídrica tipo laminar y en surcos moderado moderados y severas; reacción ligeramente ácido a alcalino; con muy baja a moderada fertilidad; sin y con alta toxicidad de aluminio. Cultivos : Maíz, arroz, cítricos, cacao, papaya, maracuya. Maní, hortalizas (tomate y locoto).

**Propiedades físicas (w = 3).** Profundidad efectiva: entre 20 y 45 cm; Textura: Franco, franco arcillosos y franco en los horizontes superiores; con arcilloso y franco arcilloso en los horizontes inferiores. Fragmentos rocosos: presenta piedras, grava y pedregones entre 10 y 35 % en el horizonte superior; a si mismo estos materiales están entre 40 y mas 80 % en los horizontes inferiores, en algunos sectores no presentan fragmentos rocosos en todo el perfil. Estructura: De bloques angulares y subangulares en los horizontes superiores; subangulares en los horizontes inferiores. Color: Pardo oscuro a pardo grisáceo en los horizontes superiores; con pardo amarillento y pardo rojizo oscuro en los horizontes inferiores.

**Propiedades químicas (w = 3).** PH entre 5.10 y 6.90; conductividad eléctrica entre 11 y 102 mS/cm; Total de bases intercambiables entre 0 y 15.30 cmol/Kg; Capacidad de intercambio catiónico efectivo entre 4.04 y 15.40 cmol/Kg; Saturación de bases intercambiables entre 4.20 y 99.35 %; Materia orgánica entre 1 y 7.60 %; Nitrógeno total entre 0.13 y 0.50 %; Fósforo entre 1 y 20 mg/Kg; y Saturación de aluminio entre 0 y 88.82 %.

**Clasificación taxonómica (w = 3).** Clasificación taxonómica: asociaciones de Orthents (75%) y Tropepts (10%); Fluvents (5 %); inclusiones de Fibrist (5 %); Fluvents (5%) y Ochrepts (5 %).

### **C1.3 Serranías medias con cimas amplias. con bosque húmedo**

**Suelos.** Suelos superficiales a poco profundos, drenaje bueno a excesivo; erosión hídrica tipo laminar y en surcos moderado y severo; reacción fuertemente ácido a alcalino; con muy baja a baja fertilidad; sin y con alta toxicidad de aluminio.

**Propiedades físicas (w = 7).** Profundidad efectiva: entre 35 y 150 cm; Textura: Franco, franco arcillosos y franco arcillo limoso en los horizontes superiores; con franco arcilloso, franco arcillo limoso y arcilloso en los horizontes inferiores. Fragmentos rocosos: presenta piedras, grava y pedregones entre 20 y 55 % en el horizonte superior; a si mismo estos materiales están entre 55 y mas 90 % en los horizontes inferiores, en algunos sectores no presentan fragmentos rocosos en todo el perfil. Estructura: De migajosa, bloques angulares y calumniares en los horizontes superiores; con migajosas, bloques subangulares, migajosa, masivo, grano suelto y prismático en los horizontes inferiores. Color: Pardo oscuro a pardo rojizo oscuro en los horizontes superiores; con pardo rojizo en los horizontes inferiores.

**Propiedades químicas (w = 7).** PH entre 3.9 a 7.9; conductividad eléctrica entre 12 y 221 mS/cm; Bases intercambiables entre 0 y 13.81 cmol/kg; Capacidad de intercambio catiónico efectivo entre 2.06 a 14.56 cmol/Kg; Saturación de bases intercambiables entre 3.51 y 98.25 %; Materia orgánica entre 0.70 y 16 %; Nitrógeno total entre 0.06 a 0.95 %; Fósforo entre 0 y 39 mg/Kg; y Saturación de aluminio entre 0 y 85.38 %.

**Clasificación taxonómica (w = 4).** Clasificación taxonómica: a nivel de asociaciones de Orthents (95%). Ochrepts (5 %).

### **C1.3.1 Serranías medias con cimas amplias. con intervención antrópica**

**Suelos.** Suelos superficiales a poco profundos, drenaje bueno a excesivo; erosión hídrica tipo laminar y en surcos moderado y severo; reacción fuertemente ácido a alcalino; con muy baja a baja fertilidad; sin y con alta toxicidad de aluminio. Cultivos: Café, maíz, papaya, yuca, hualusa, locoto y maní.

**Propiedades físicas (w = 4):** Profundidad efectiva: entre 20 y 115 cm; Textura: Franco, franco arcillosos y franco arcillo limoso en los horizontes superiores; con franco arcilloso, franco arcillo limoso y arcilloso en los horizontes inferiores. Fragmentos rocosos: presenta piedras, grava y pedregones entre 35 y 90 % en el horizonte superior; a sí mismo estos materiales están entre 45 y más 80 % en los horizontes inferiores, en algunos sectores no presentan fragmentos rocosos en todo el perfil. Estructura: De migajosa, bloques angulares y calumniares en los horizontes superiores; con migajosas, bloques subangulares, migajosa, masivo, grano suelto y prismático en los horizontes inferiores. Color: Pardo oscuro a pardo rojizo oscuro en los horizontes superiores; con pardo rojizo en los horizontes inferiores.

**Propiedades químicas (w = 4).** PH entre 3.9 a 7.9; conductividad eléctrica entre 12 y 221 mS/cm; Bases intercambiables entre 0 y 13.81 cmol/kg; Capacidad de intercambio catiónico efectivo entre 2.06 a 14.56 cmol/Kg; Saturación de bases intercambiables entre 3.51 y 98.25 %; Materia orgánica entre 0.70 y 16 %; Nitrógeno total entre 0.06 a 0.95 %; Fósforo entre 0 y 39 mg/Kg; y Saturación de aluminio entre 0 y 85.38 %.

**Clasificación taxonómica (w = 4).** Clasificación taxonómica: a nivel de asociaciones de Orthents (65%). Tropepts (10%); Fibrist (10 %); inclusiones de Fluvents (3%). Ochrepts (5 %); Psamments (2 %) y Umbrepts (5 %).

## **C2 Colinas**

### **C2.1 Colinas medias y bajas, moderadamente a disectadas. con bosque húmedo**

**Suelos.** Suelos poco profundos a profundos, drenaje bueno a moderado; erosión hídrica tipo laminar y en surcos leve, con baja a muy baja fertilidad; reacción ácido a ligeramente ácida; de mediana a muy alta toxicidad de aluminio.

**Propiedades físicas (w = 3).** Profundidad efectiva: entre 25 y 159 cm; Textura: Franco, franco arcillosos, franco limoso en los horizontes superiores; con arcilloso en los horizontes inferiores. Fragmentos rocosos: presenta piedras y pedregones entre 5 y 95 % en el horizonte superior; a sí mismo estos materiales están entre 40 y más 80 % en los horizontes inferiores, presentan afloramiento rocoso en algunos sectores.

Estructura: De migajosa, bloques angulares a migajoso en los horizontes superiores; con migajosa, masivo y granular en los horizontes inferiores. Color: Pardo grisáceo oscuro y pardo amarillento en los horizontes superiores; con pardo amarillento y pardo rojizo en los horizontes inferiores.

**Propiedades químicas (w = 3).** PH entre 4.30 y 5.10; conductividad eléctrica entre 6 y 65 mS/cm; Total de bases intercambiables entre 0.36 y 2.39 cmol/Kg; Capacidad de intercambio catiónico efectivo entre 3.9 y 6.24 cmol/Kg; Saturación de bases intercambiables entre 7.11 y 58.48 %; Materia orgánica entre 0.9 y 3.40 %; Nitrógeno total entre 0.06 y 0.27 %; Fósforo entre 1 y 7 mg/kg; y Saturación de aluminio entre 26.89 y 84.19 %.

**Clasificación taxonómica (w = 3).** Clasificación taxonómica: asociaciones de Orthents (50%); Ochrepts (15%); y Udalfs (15 %); inclusiones de Tropepts (10 %); Fluvents (5%) y Udolls (5 %).

### **C3.1 terrazas aluviales en ríos y arroyos**

**Suelos.** Suelos poco profundos, drenaje moderado y escaso; erosión hídrica tipo laminar leve y moderado; reacción ácido a alcalino; con baja fertilidad; con alta toxicidad de aluminio.

**Propiedades físicas (w = 3).** Profundidad efectiva: entre 25 y 45 cm; Textura: Franco. Franco arcillo limoso en los horizontes superiores; con arcilloso y arcillo limoso en los horizontes inferiores. Fragmentos rocosos: sin fragmentos rocosos. Estructura: De migajosa, bloques subangulares en los horizontes superiores; con masivo y bloque subangulares en los horizontes inferiores. Color: Pardo a pardo grisáceo oscuro en los horizontes superiores; con gris y pardo amarillento en los horizontes inferiores.

**Propiedades químicas (w = 3).** PH entre 4.7 a 7; conductividad eléctrica entre 6 y 88 mS/cm; Bases intercambiables entre 0 y 6.35 cmol/Kg; Capacidad de intercambio catiónico efectivo entre 3.16 a 6.71 cmol/Kg; Saturación de bases intercambiables entre 10.57 y 98.45 %; Materia orgánica entre 1 y 3.80 %; Nitrógeno total entre 0.08 y 3.10 %; Fósforo entre 1 y 10 mg/Kg; y Saturación de aluminio entre 0 y 75.20 %.

**Clasificación taxonómica (w = 3).** Clasificación taxonómica: a nivel de asociaciones de Fluvents (60%), Udoll (40%) y inclusiones Psamments (20 %).

### **5.8.1.2. Unidades cartográficas de suelos en el subandino (s)**

#### **S1 Serranías**

### **S1.1 Serranías altas con cimas amplias, con bosque húmedo.**

**Suelos.** Suelos superficiales a profundos; drenaje a bueno moderado; erosión hídrica tipo laminar, en surcos moderada; pocos sectores con cárcavas; reacción fuertemente ácido a ácido; con muy baja fertilidad; y de baja a alta toxicidad de aluminio.

**Propiedades físicas (w = 4).** Profundidad efectiva: entre 35 y 45 cm; Textura: Franco y franco arenoso en los horizontes superiores; con franco arcilloso; arcilloso a arcillo arenoso, en algunos sectores con franco arenoso en los horizontes inferiores. Fragmentos rocosos: piedras y pedregones con sectores que contienen menos de 50 en los horizontes superiores y entre 5 y más 80% en los horizontes inferiores. Estructura: de migajosa a bloques angulares a subangulares en los horizontes superiores; con bloques angulares, subangulares. migajosa y grano suelto en los horizontes inferiores. Color pardo rojizo a rojizo en los horizontes superiores; con rojizo oscuro, pardo rojizo en los horizontes inferiores.

**Propiedades químicas (w = 4).** PH entre 4.0 a 7.6; Conductividad eléctrica entre 16 a 162 mS/cm; Bases intercambiables entre 0.431 y 15.78 cmol/Kg; Capacidad de intercambio catiónico efectivo entre 3.80 a 15.88 cmol/Kg; Saturación de bases intercambiables entre 1.76 a 187 %; Materia orgánica entre 0.70 y 5.50 %; Nitrógeno total entre 0.07 a 0.31 %; Fósforo entre 1 a 39 mg/Kg; y Saturación de aluminio entre 0.45 a 89.57 %.

**Clasificación taxonómica (w = 4).** Clasificación taxonómica: a nivel de asociaciones de Orthents (50%); Tropepts (35%); Inclusiones de Psamments (5%) y otros (10%).

### **S1.2 Serranías medias y bajas con cimas angulares, con bosque húmedo.**

**Suelos.** Suelos poco profundos; drenaje a bueno moderado; erosión hídrica tipo laminar, en surcos leve a moderada; pocos sectores con cárcavas moderado; reacción ligeramente ácido; con moderada fertilidad; y sin problemas de toxicidad de aluminio.

**Propiedades físicas (w = 4).** Profundidad efectiva: entre 68 y 90 cm. Textura: Franco arcillosos y arcilloso en los horizontes superiores; con franco arcilloso limoso y arcilloso, en los horizontes inferiores. Fragmentos rocosos: por lo general presentan fragmentos rocosos; con sectores que contienen de 50 y 80 % en los horizontes superiores y entre 50 % en los horizontes inferiores. Estructura: de migajosa a bloques subangulares en los horizontes superiores; con bloques subangulares, masivos y sueltos en los horizontes inferiores. Color pardo grisáceo oscuro a pardo en los horizontes superiores; con pardo rojizo a rojo amarillento en los horizontes inferiores.

**Propiedades químicas (w = 4).** PH entre 3.8 a 6.2; Conductividad eléctrica entre 13 a 164 mS/cm; Bases intercambiables entre 0.40 a 17.88 cmol/kg; Capacidad de intercambio catiónico efectivo entre 3.41 a 18.18 cmol/Kg; Saturación de bases intercambiables entre 3.31 a 98.35 %; Materia orgánica entre 0.20 a 5.80 %; Nitrógeno total entre 0.03 a 0.40 %; Fósforo entre 1 a 16 mg/Kg; y Saturación de aluminio entre 1.65 a 92.31 %.

**Clasificación taxonómica (w = 4).** Clasificación taxonómica: a nivel de asociaciones de Orthents (50%); Tropepts (40%); Inclusiones de Fluvents (5%) y Psamments (10%).

### **S1.3 Llanura de Piedemonte. con Bosque húmedo intervenido**

**Suelos.** Suelos profundos a muy profundos; drenaje a bueno moderado, en algunos sectores excesivo e imperfecto; erosión hídrica tipo laminar moderado; Reacción fuertemente ácido a alcalino; con muy baja y moderada fertilidad; sin y con alta toxicidad de aluminio.

**Propiedades físicas (w = 4).** Profundidad efectiva: entre 40 y 180 cm. Textura: Franco arcillosos limoso y franco en los horizontes superiores; con franco arcilloso, arcilloso y franco arcilloso arenoso en los horizontes inferiores.

Fragmentos rocosos: por lo general presentan fragmentos rocosos; con sectores próximo a la serranía que contienen 5 a 15 % en los horizontes superiores y entre 40 a 80% en los horizontes inferiores. Estructura: de migajosa a bloques angulares. subangulares y grano suelto en los horizontes superiores; con masivos, bloques angulares. Subangulares, grano suelto en los horizontes inferiores. Color negro, pardo oscuro y pardo en los horizontes superiores; con pardo pálido y gris (gley) en los horizontes inferiores.

**Propiedades químicas (w = 4).** PH entre 4.20 a 7.70; Conductividad eléctrica entre 0.60 a 184 mS/cm; Bases intercambiables entre 0 a 10.55 cmol/kg; Capacidad de intercambio catiónico efectivo entre 1.23 a 14.91 cmol/Kg; Saturación de bases intercambiables entre 12.86 a 100 %; Materia orgánica entre 0.20 a 3.70 %; Nitrógeno total entre 0.02 a 0.45 %; Fósforo entre 1 a 35 mg/Kg; y Saturación de aluminio entre 0 a 79.52 %.

**Clasificación taxonómica (w = 4).** Clasificación taxonómica: a nivel de asociaciones de Tropepts (85%); Inclusiones Psamments (10%) y Fluvents (5%).

### **S1.4 Llanura fluvial terrazas amplias con agricultura.**

**Suelos.** Suelos profundos a muy profundos; drenaje a bueno moderado e imperfecto. en algunos sectores escaso; sin erosión aparente; Reacción fuertemente ácido a neutro; con baja fertilidad; sin y con mediana toxicidad de aluminio.

**Propiedades físicas (w = 4).** Profundidad efectiva: entre 55 y 200 cm. Textura: Franco arcillosos limoso y arcillo limoso arenoso en los horizontes superiores; con franco limoso, limoso en los horizontes inferiores. Fragmentos rocosos ausentes; Estructura: de migajosa a bloques angulares. subangulares en los horizontes superiores; con y laminar. columnar grano suelto en los horizontes inferiores. Color pardo grisáceo oscuro y pardo en los horizontes superiores; con pardo claro y rojo amarillento en los horizontes inferiores. Presenta manchas de color rojo a rojo amarillento y gris (gley) solo en horizontes inferiores.

**Propiedades químicas (w = 4).** PH entre 4.0 a 6.80; Conductividad eléctrica entre 0.80 a 184 mS/cm; Bases intercambiables entre 12 a 287 cmol/Kg; Capacidad de intercambio catiónico efectivo entre 1.09 a 14.45 cmol/Kg; Saturación de bases intercambiables entre 35.54 a 98.49 %; Materia orgánica entre 0.50 a 3.90 %; Nitrógeno total entre 0.06 a 0.30 %; Fósforo entre 1 a 38 mg/Kg; y Saturación de aluminio entre 0 a 54.55 %.

**Clasificación taxonómica (w = 4).** Clasificación taxonómica: a nivel de asociaciones de Fluvents (60 %); Aquepts (20 %); Inclusiones Aquepts (20 %).

Se encontraron once unidades de suelos en la Subcuenca Hidrográfica Sector-Río Boopi (Tabla 20).

**Tabla 20.** Unidades de suelos Subcuenca Hidrográfica Sector-Río Boopi

Id	Cod	Unidad	Sup. (ha)
1	C1.1	Serranía alta con cimas amplias. con bosque húmedo	8313
2	C1.2	Serranías bajas, con cimas angulares. con bosque húmedo	24940
3	C1.2.1	Serranía bajas, con cimas angulares. con intervención antrópica	3037
4	C1.3	Serranías medias, con cima amplias. con bosque húmedo	22211.9
5	C1.3.1	Serranías medias, con cimas apilas. con intervención antrópica	3369
6	C1.3.2	Serranías medias, con cimas amplias. con pastizal	397.2
7	C2.1	Colinas medias y bajas, moderadamente disectadas a disectadas. con bosque húmedo	10420
8	C3.1	Terrazas aluviales en ríos y arroyos	761.7
9	S1.1	Serranías altas, con cimas amplias. con bosque húmedo	12010
10	S1.2	Serranías medias y bajas, con cimas angulares. con bosque secundario	1681
10	S1.3	Llanura de pie de monte. con bosque secundario	217
11	S1.4	Terrazas aluviales amplias. con bosque secundario y agricultura	1353
<b>TOTAL</b>			<b>88710.8</b>

**Fuente:** Elaboración propia base de datos desplegado en Arcview 3.2

## 5.9. Descripción de los Tipos de Utilización de Tierras (TUT)

De acuerdo a (FAO, 1997) se ha seleccionado los tipos de utilización de tierras (TUT), de forma que refleje la cobertura y uso actual de la tierra. Las unidades de TUT se obtuvieron sobreponiendo los mapas de Reserva Forestal de Inmovilización, Zona Forestal de Reserva Fiscal, unidades de tierras y cobertura vegetal (Tabla 21 y Mapa 7).



**Tabla 21.** Tipo De Utilización De Tierras actuales

Id	Cod	Tipo De Utilización De Tierras Actuales	Sup. (ha)
1	Sbh-1	Serranías y colinas medias y bajas, con bosque húmedo montano de extracción selectiva de especies maderables.	50232.73
2	Sbh-2	Pie de monte y Llanura fluvial con cultivos	2755.7
3	Sbh-3	Colinas medias y bajas, moderadamente disectadas a disectadas. con bosque húmedo con extracción selectiva de especies maderables y no maderables	6145.7
4	Sbh-4	Serranía bajas, con cimas angulares, con bosque secundario. con atracción selectiva de especies Maderables y no maderables	3807.7
5	Sbh-5	Serranía bajas, con cimas angulares, con bosque húmedo secundario. con extracción selectiva de especies maderables y no maderables	17962.7
6	Sbh-6	Serranías bajas, con cimas angulares. con bosque húmedo. con extracción selectiva de especies maderables y no maderables	2773.7
7	Sc-1	Serranías medias, con cimas amplias. con cultivos	2164.7
8	Sc-2	Serranías medias, con cima amplias. con cultivos	2867.7
<b>Total</b>			<b>88710.8</b>

Fuente: Elaboración propia

A los TUT actuales se argumento los datos socioeconómicos obtenidos anteriormente y se describieron tres TUT para la subcuenca “sector” y estos son:

**5.9.1. TUT Categoría de Derecho de Uso.** Comprende la unidad de (Sbh-1), son serranías y colinas medias y bajas, con bosque húmedo montano de extracción selectiva de especies maderables no maderables.

Son las categorías de Derecho de Uso de tierras. Reserva Forestal de Inmovilización de la “Cuenca del Río Boopi” declarado a sí por que el nivel de evaluación con la que cuenta no permite su clarificación definitiva; y la Zona Forestal de Reserva Fiscal dentro de la subcuenca conocida como “Serranía de Bella Vista” también transitorio hasta 5 años a su declaración fiscal para luego ser dotada. Tiene una superficie de 54247.00 ha. comprende el 61.15 % de la subcuenca.

**5.9.2. TUT en bosque montano.** Esta comprendida por las unidades (Sbh-5), (Sbh-3), (Sbh-4) y (Sbh-6), Poseen idénticos tipos de utilización del bosque, que consiste en la tala selectiva de madera sin programas de reemplazamiento de las especies extraídas. Los métodos de tala y la fuerza empleada es inadecuada y con poca inversión de capital. La vegetación natural a del bosque primario ha sufrida una transformación a bosque secundario, las especies forestales de importancia han sido totalmente devastadas. Tiene una superficie de 14523.8 ha. comprende el 16.4 % del la subcuenca.

**5.9.3. TUT en bosque montano y bosque de llanura fluvial con agricultura.** Comprende las siguientes unidades (Sc-1), (Sc-2) y (Sbh-2), el tipo de utilización de la tierra para los cultivos anuales, esta basado en la mano de obra únicamente. El capital utilizado es muy reducido, el conocimiento técnico es moderado y bajo, las practicas culturales dependen del conocimiento tradicional. La serie de instrumentos agrícolas comprende únicamente algunos útiles manuales como: machetes, barretas, azadones y hoces. Las áreas

agrícolas son relativamente pequeñas fracciones, que en promedio tienen una superficie de ½ a 3 ha. La tenencia de la tierra son de propiedad, comunal y alquilada. Las limitaciones de los suelos para la agricultura son las pendientes escarpados y los fragmentos rocosos en los horizontes. Tiene una superficie de 19915.60 ha. comprende un 22.45 % del territorio de la subcuenca.

Las practicas comunes para habilitar las parcelas es mediante la tala, roce y quema. La agricultura es migratoria de subsistencia, se producen alimentos para el autoconsumo, alimento para los animales domésticos y algunas veces para la venta. En la habilitación de parcelas con frecuencia no se eliminan árboles mayores ni los tocones. El uso de la tierra rara vez es permanente.

El tipo de utilización de la tierra para los cultivos arbóreos, no se invierten capital en el mantenimiento de las plantaciones, el nivel de conocimiento técnico es bajo, dependiendo las labores culturales del conocimiento tradicional. La serie de instrumentos es muy limitado como machetes, azadones, cuchillos.

No siempre se practican cortas de aclareo, cuando se hacen son solo parciales. La plantaciones de café y cacao se asocia al bosque y la fertilidad de los suelos depende de la acumulación de materia orgánica naturalmente es una practica común.

Los niveles de insumo utilizados en la producción agrícola en los TUT, para cultivos anuales y arbóreos se fueron detalladas en (Tablas 12 y 13).

## **5.10. Inventario de Cultivos**

Los cultivos de la zona de estudio fueron registrados adjunto en formularios socioeconómicos en etapa de trabajo de campo (FAO, 1997), se recabaron 41 datos de cultivo, ordenados por su importancia económica y seguridad alimentaria son: maíz, café, arroz, banano, cítricos, hortalizas (tomate, locoto, zapallo) y cacao, sobre esta base se recopiló datos secundaria sobre; adaptabilidad edafoclimática, y aspectos ecofisiológicos (Anexo 5).

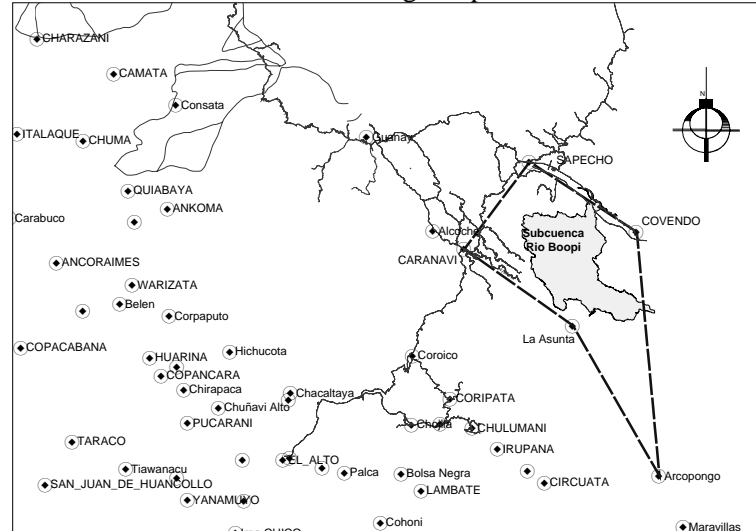
## **5.11. Inventario climático**

### **5.11.1. Localización de estaciones meteorológicas del área de influencia**

Una de las primeras actividades para evaluar los factores climatológicos, fueron dedicadas a localizar las estaciones meteorológicas próximas a la Subcuenca, con este fin se recabaron las coordenadas geográficas de ubicación de estaciones meteorológicas que operan en el departamento de La Paz, bajo control del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrológica (SNMHI). Se encontró que las estaciones de: Arcopongo, La Asunta, Caranavi, Sapecho y Covendo son próximas al área de influencia (Figura 10), y se

elaboro la (Tabla. 22), como punto de partida para evaluar los factores climatológicos y la localización de las estaciones, a sí como de sus características altitudinales, disponibilidad de datos que la (FAO, 1997) menciona para la ZAE y estos son: localización (coordenadas), elevación, precipitación promedio anual, duración de periodo de crecimiento, temperatura promedio anual, proporción de horas de sol y de nubes

**Figura 10.** Localización de las estaciones meteorológicas próximas a la Subcuenca “sector” Río Boopi



Fuente: Elaboración propia basada en información SNMHI (2001)

**TABLA 22.** Lista de estaciones meteorológicas involucradas en el área de influencia

Nº	Estación	Provincia	N	E	Altitud	Origen	Dat. Hist.
1	Arcopongo	Inquisivi	16°33'00"	66°54'00"	1436	SNMHI	1943-81
2	La Asunta	Sud Yungas	16°05'00"	67°11'00"	600	SNMHI	1973-90
3	Caranavi	Caranavi	15°49'00"	67°34'00"	960	SNMHI	1990-1999
4	Sapecho	Sud Yungas	15°32'00"	67° 23'00"	395	SNMHI	1972-1982
5	Covendo	Sud Yungas	15°21'00"	67° 06'00"	420	SNMHI	1975;77-85

Fuente: Elaboración propia basada en información SNMHI (2001)

Según (Schwab. G, 1990), fueron unidos los puntos de ubicación de casetas meteorológicas, mediante líneas, de tal manera que los bisectores formen áreas o polígonos de Thiessen. Todos los puntos dentro del área de influencia del polígono significa representativa a los datos climatológicos registrados (Anexo P). Lo que se busca mediante este análisis, es unir los valores iguales registrados por las estaciones meteorológicas por medio de una línea, según (Ordóñez, 1995) sobre las los bisectores fueron efectuados interpolaciones para encontrar los límites de los valores climatológicos, convirtiendo las isolineas a zonas.

### Inventario de duración del periodo de crecimiento (DPC)

Según (Villalpando J, 1988) y (FAO, 1997), la duración del periodo de crecimiento (DPC) se determino con datos de precipitación media anual (Pmed), evapotranspiración potencial (ETP) y evapotranspiración potencial media (ETP/2) con record históricos proporcionados por el SNAMHI (Tabla 23), según (ERST,

1982) la zona de estudio corresponde a tres zonas de vida de L.R. Holdrige, bosque húmedo subtropical (bh-ST), bosque muy húmedo subtropical (bmh-ST) y bosque pluvial muy bajo subtropical (bp-MBST). Coincidiendo con (ERST, 1982), el modelo para la determinación de la DPC fue asumida para la zona subtropical, que consiste en un balance de humedad, comparando la precipitación (Pmed) con evapotranspiración potencial (ETP), de la siguiente manera: el inicio de la estación de crecimiento es cuando  $P_{med} > 0.5ETP$ ; el inicio del periodo húmedo es cuando  $P_{med} > ETP$ ; la terminación del periodo de lluvias cuando  $P_{med} = 0.5ETP$ ; y la terminación del periodo de crecimiento se presenta aproximadamente cuando  $P_{med} = 0.50 ETP$ .

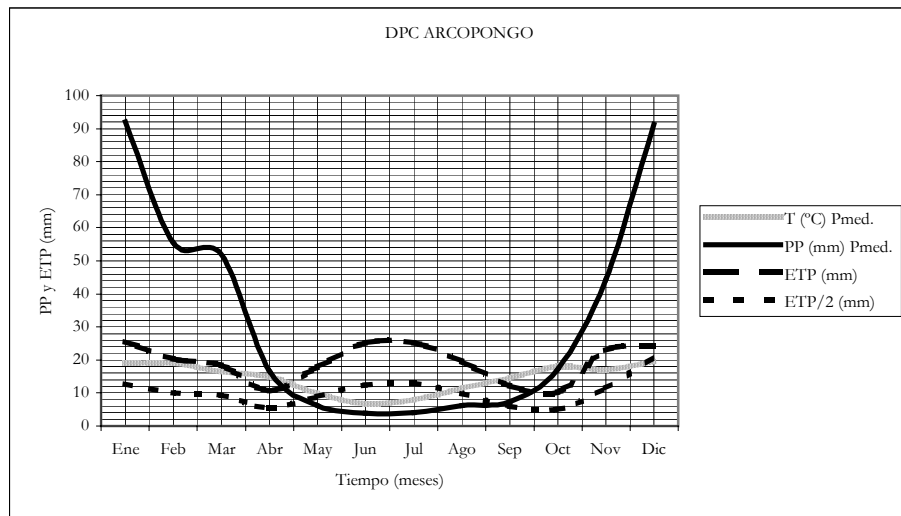
### 5.11.2. Análisis del periodo de crecimiento (DPC) por estaciones meteorológicas

**TABLA 23.** Datos meteorológicos (1943-81) de la Estación: Arcopongo

MESE	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Mes	Anual
T (°C) med.	19	19	16.4	15	9.8	6.7	8	11.5	15	18	17	20	14.5	-
P (mm) med.	92	55	52	17	6.2	3.9	4	6.2	7.3	17	44.4	91	34.3	411
ETP (mm)	25.5	20	18.5	11	17.8	25	25	19.6	12	10	22.9	24	19.3	232
ETP/2 (mm)	12.8	10	9.3	5.5	8.9	13	13	9.8	6	5	11.5	21	10.4	125
NUBOSI (octv.)	5	6	5	4	1	1	1	1	3	4	4	5	3.3	-

Fuente: Elaboración propia basada en información SNMHI (2001)

**Figura 11.** Duración del periodo de crecimiento (DPC) para Arcopongo



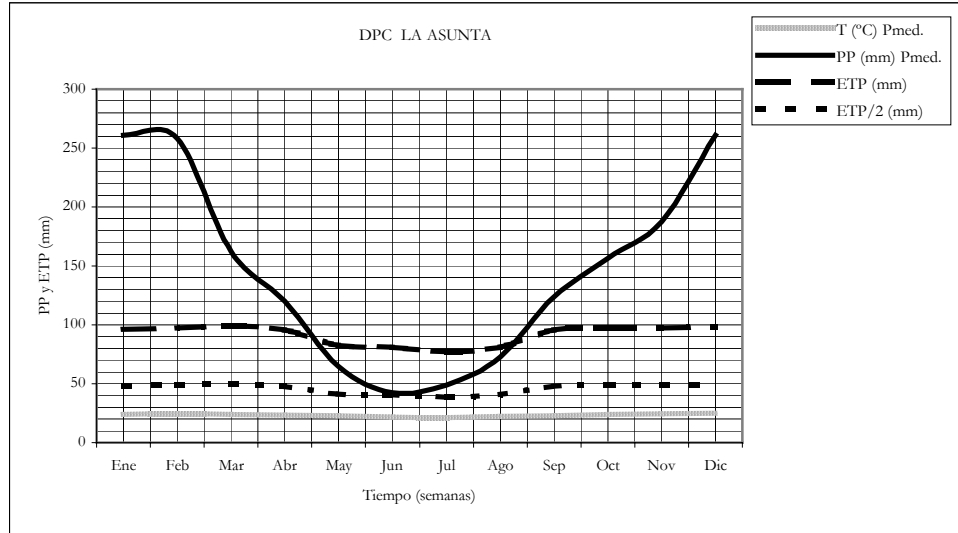
Fuente: Elaboración propia adaptación (FAO. 1994).

Examinando la figura 11. el inicio de la estación de crecimiento ( $P > 0.5ETP$ ) ocurre aproximadamente el 14 de septiembre; el inicio del periodo húmedo ( $P > ETP$ ) ocurre el 19 de septiembre; por su parte la terminación del periodo de lluvias ( $P = 0.5ETP$ ) ocurre el 3 de mayo; por ultimo, la terminación del periodo de crecimiento se presenta el 3 de mayo (aproximadamente cuando  $P = 0.50 ETP$ , es decir 177 días).

**Tabla 24.** Datos meteorológicos (1973-90) de la Estación: La Asunta

MESE	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Mes	Anual
T (°C) Pmed.	24	24	24	24	22.8	22	21	22.5	23	24	24.6	25	21	-
PP (mm) Pmed.	261	258	162	120	64.5	42	49	72.6	124	156	187	261	147	1758
ETP (mm)	96.4	97	99.1	96	82.7	81	77	80.9	96	97	97.3	98	92	1099
ETP/2 (mm)	48.2	49	49.6	48	41.4	41	39	40.5	48	49	48.7	49	46	550
NUBOSI (octv.)	5	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	5	4	-

Fuente: Elaboración propia basada en información SNMHI (2001)

**Figura 12.** Duración del periodo de crecimiento (DPC) para: La Asunta

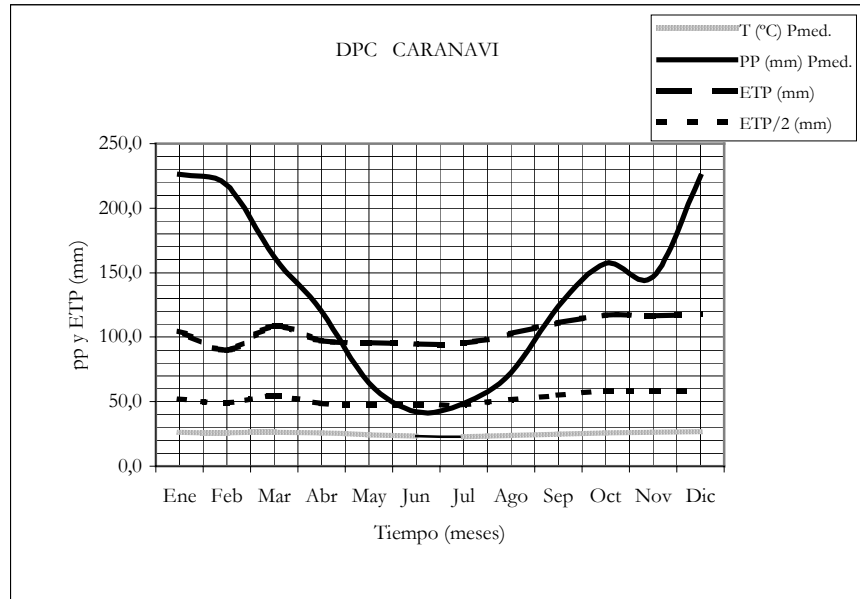
Fuente: Elaboración propia adaptación (FAO. 1994).

Examinando la figura 12. el inicio de la estación de crecimiento ( $P > 0.5ETP$ ) ocurre aproximadamente el 15 de julio; el inicio del periodo húmedo ( $P > ETP$ ) ocurre el 1 de septiembre; por su parte la terminación del periodo de lluvias ( $P = 0.5ETP$ ) ocurre el 15 de junio; por ultimo, la terminación del periodo de crecimiento se presenta el 15 de junio (aproximadamente cuando  $P = 0.50 ETP$ ), es decir 300 días.

**Tabla 25.** Datos meteorológicos (1990-1999) de la Estación: Caranavi

MESE	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Mes	Anual
T (°C) Pmed.	26.3	26.0	26.1	25.7	24.4	23.5	22.8	23.7	24.7	26.0	26.4	26.9	25.2	
PP (mm) Pmed.	226.0	217.7	162.4	119.9	64.5	42.3	48.7	72.6	123.8	157.0	146.8	183.2	130.0	1564.9
ETP (mm)	104.5	89.6	108.8	97.2	95.5	94.8	95.2	102.9	111.0	116.9	116.4	118.1	104.2	1250.9
ETP/2 (mm)	52.25	49.3	54.4	48.6	47.8	47.4	47.6	51.5	55.0	58.5	58.2	59.1	52.5	629.5
NUBOSI (octv.)	7.0	7.0	6.0	6.0	5.0	3.0	4.0	5.0	5.0	6.0	6.0	6.0	5.4	

Fuente: Elaboración propia basada en información SNMHI (2001)

**Figura 13.** Duración del periodo de crecimiento (DPC) para: La Asunta

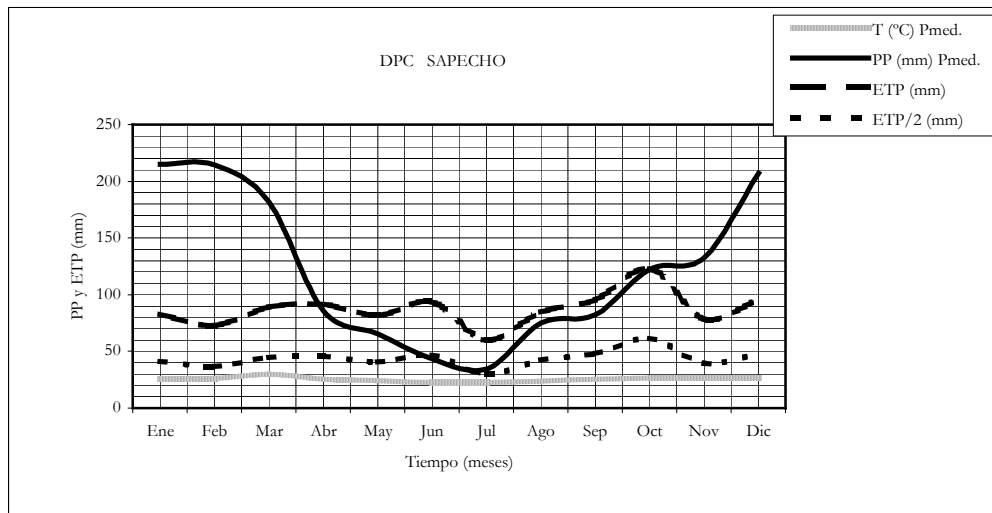
**Fuente:** Elaboración propia adaptación (FAO. 1994).

Examinando la figura 13. el inicio de la estación de crecimiento ( $P > 0.5ETP$ ) ocurre aproximadamente el 15 de julio; el inicio del periodo húmedo ( $P > ETP$ ) ocurre el 15 de septiembre; por su parte la terminación del periodo de lluvias ( $P = 0.5ETP$ ) ocurre el 1 de junio; por ultimo, la terminación del periodo de crecimiento se presenta el 1 de junio (aproximadamente cuando  $P = 0.50 ETP$ ), es decir 270 días.

**Tabla 26.** Datos meteorológicos (1972-1982) de la Estación:Sapecho

MESE	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Mes	Anual
<b>T (°C) Pmed.</b>	26	26.1	30	25.3	24.2	22.7	22.7	23.7	25.2	26.3	26.5	26.5	25.3	-
<b>PP (mm) Pmed.</b>	215.2	214.3	181.8	85.6	65.5	43.4	34.3	74.9	82.4	122.5	132.6	207.3	122.4	1468.8
<b>ETP (mm)</b>	82.8	72.9	89.3	91.4	81.8	93.7	60.1	84.8	95.5	122.8	78.7	95.5	88.5	1062
<b>ETP/2 (mm)</b>	41.4	36.5	44.7	45.7	40.9	46.9	30.1	42.4	47.8	61.4	39.4	47.8	44.3	531.6
<b>NUBOSI (octv.)</b>	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	5.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	-

**Fuente:** Elaboración propia basada en información SNMHI (2001)

**Figura 14.** Duración del periodo de crecimiento (DPC) para: Sapecho

**Fuente:** Elaboración propia adaptación (FAO. 1994).

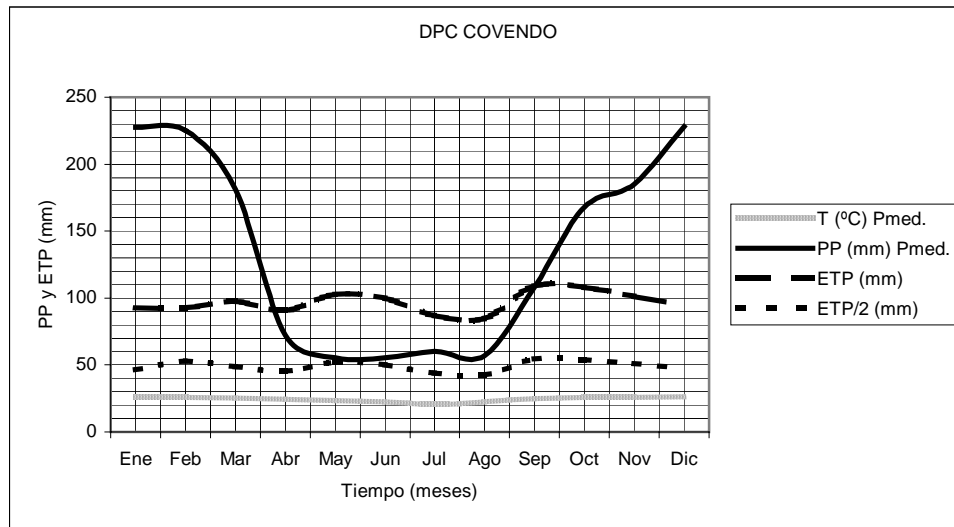
Examinando la figura 14. el inicio de la estación de crecimiento ( $P > 0.5ETP$ ) ocurre aproximadamente el 1 de agosto; el inicio del periodo húmedo ( $P > ETP$ ) ocurre el 1 de noviembre; por su parte la terminación del periodo de lluvias ( $P = 0.5ETP$ ) ocurre el 9 de junio; por ultimo, la terminación del periodo de crecimiento se presenta el 9 junio (aproximadamente cuando  $P = 0.50 ETP$ ), es decir 279 días.

**Tabla 27.** Datos meteorológicos (1975;77-85) de la Estación:Covendo

MESE	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Mes	Annual
T (°C) Pmed.	25.9	26	25.5	24	23.5	22	21	22.3	25	26	26	26	24	-
PP (mm) Pmed.	227	225	181	72	55.3	55	60	57	108	168	185	228	811	1622
ETP (mm)	92.9	93	97.7	91	103	100	87	84.8	109	108	102	95	97	1163
ETP/2 (mm)	46.5	53	48.9	46	52	50	44	42.4	55	54	51	48	49.1	589
NUBOSI (octv.)	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-

Fuente: Elaboración propia basada en información SNMHI (2001)

**Figura 15.** Duración del periodo de crecimiento (DPC) para: Covendo



Fuente: Elaboración propia adaptación (FAO. 1994).

Examinando la figura 15. el inicio de la estación de crecimiento ( $P > 0.5ETP$ ) ocurre aproximadamente el 15 de junio; el inicio del periodo húmedo ( $P > ETP$ ) ocurre el 15 de septiembre; por su parte la terminación del periodo de lluvias ( $P = 0.5ETP$ ) ocurre el 15 de mayo; por ultimo, la terminación del periodo de crecimiento se presenta el 15 de mayo (aproximadamente cuando  $P = 0.50 ETP$ ), es decir 330 días.

Los resultados de DPC para las 5 estaciones área de influencia se ordenan de la siguiente manera (Tabla 28).

**Tabla 28.** Duración del periodo de crecimiento (DPC) por estaciones

Nº	Estación	Provincia	DPC	Altitud	Origen	Dat. Hist.
1	Arcopongo	Inquisivi	177	1436	SNMHI	1943-81
2	La Asunta	Sud Yungas	300	600	SNMHI	1973-90
3	Caranavi	Caranavi	270	960	SNMHI	1990-1999
4	Sapecho	Sud Yungas	279	395	SNMHI	1972-1982
5	Covendo	Sud Yungas	330	420	SNMHI	1975;77-85

Fuente: Elaboración propia basada en información SNMHI (2001)

La inventariación de isolineas de DPC, fueron hechas sobre la base del polígono de Thiessen. Cada 15 días para elaborar un mapa de DPC a escala 1:250 000 (Mapa 8). Se ha determinado 16 zonas de duración de periodo de crecimiento (DPC), que van desde 265 a 340 días. La DPC son altos en los sectores de las comunidades de: Boopi Playa. Puerto Rico. Agua clara. San Pablo y S. Juan de Cota Pata, oscilan entre 300 a 340 días; y son bajas en los sectores de las comunidades de: Puerto Carmen, playa ancha, Chuma. Ramal Bolívar, nueva Llusta, Pichari y Olivos, oscilando entre 265 a 300 días. Los DPC para la ZAE son los parámetros importantes en la evaluación de recursos agroclimáticos para una región, determinado por la disponibilidad de agua y temperatura favorables para el desarrollo y producción de cultivos (FAO, 1994) y (Villalpando J, 1988).

**5.11.3. Inventario de zonas térmicas y de precipitación.** Fueron inventariados sobre los datos promedio anual de temperatura y precipitación, registrados en las 5 estaciones del área de influencia sistematizados de la siguiente manera (Tabla 29),

**Tabla 29.** Temperatura promedio y precipitación promedio acumulada.

Nº	Estación	Provincia	T(°C)	PP (mm)	Altitud	Origen	Dat. Hist.
1	Arcopongo	Inquisivi	14.5	411	1436	SNMHI	1943-81
2	La Asunta	Sud Yungas	21	1758	600	SNMHI	1973-90
3	Caranavi	Caranavi	25.2	1565	960	SNMHI	1990-1999
4	Sapecho	Sud Yungas	25.3	1468.8	395	SNMHI	1972-1982
5	Covendo	Sud Yungas	24	1622	420	SNMHI	1975;77-85

**Fuente:** Elaboración propia basada en información SNMHI (2001)

La inventariación de isoyetas, isotermas y zonas, fueron hechas sobre la base del polígono de Thiessen según (Schwab. G, 1990) y (Ordóñez, 1995), Las isotermas se interpolaron cada 5°C, las isoyetas se interpolaron cada 25 mm. Las isolineas fueron convertidas en zonas, y representadas en mapas a escala 1:250 000 (Mapas 9 y 10).

Se ha determinado 12 zonas de precipitaciones, que van desde 1480 a 1690 mm promedio anual. La precipitación es baja en la subcuenca en los sectores de las comunidades de: Puerto Carmen. Playa Ancha. y Chuma, oscila entre 1480 a 1510 mm; es alta sectores comunidades de: Pichari. Los Olivos. S. Juan de Cota Pata. S. Teresita. S. Pablo. Nueva Llusta. Agua Clara. Puerto Rico y Ramal Bolívar, oscilan entre 1510 a 1690 mm. Las zonas de precipitación describen en la ZAE, para saber el régimen de disponibilidad de agua para el crecimiento de los cultivos durante el periodo de crecimiento. Definidos generalmente en base a los rangos de promedio anual.

Se ha determinado 13 zonas térmicas, que van desde 19 a 25 °C promedio anual. La temperatura es alta en la subcuenca sectores comunidades de: Puerto Carmen. Playa Ancha. y Chuma, oscilan entre 23 a 25 °C promedio anual; es baja sectores comunidades de: Pichari. Los Olivos. S. Juan de Cota Pata. S. Teresita. S.



Pablo. Nueva Llusta. Agua Clara. Puerto Rico y Ramal Bolívar que oscila entre 23 a 19 °C. Las zonas térmicas se describen en la ZAE, para saber el régimen de temperaturas disponibles para el crecimiento de los cultivos durante el periodo de crecimiento. Definidos generalmente en base a los rangos de promedio anual.

### 5.12. Inventario de tierras<sup>2</sup>

El inventario de tierras según (FAO, 1997), se realizó sobre la base de las Células Agroecológicas (CEAS), obtenida a través de la superposición de los mapas de: zonas térmicas, zonas de precipitación, duración de periodo de crecimiento, suelos y geomorfología, procedimiento que se basa en la unión (suma) en SIG mediante la opción “geoprocessing wizard...” y “union two themes” (Miranda E.E, 2002). Los resultados obtenidos indican que la subcuenca Hidrográfica “sector” Río Boopi posee 2323 CEAS (Anexo 6 y Mapa 11).

**5.13. Evaluación de aptitud de tierras.** Según (FAO, 1997) fueron evaluados la aptitud de la tierra bajo procedimiento comprendido en dos pasos: La comparación de los factores que incluye la tierras con los requerimientos de adaptabilidad de los cultivos (llamado adecuamiento), y el cálculo del rendimiento agronómico potenciales (llamado tasa de acumulación de biomasa neta), estos dos pasos se detallan a continuación.

**5.13.1. Adecuamiento tierra y cultivos.** El adecuamiento fue basada en coincidir valores agroclimáticos y agroedáficos de la tierra y con los requerimientos de adaptabilidad de los cultivos. El procedimiento está fundamentado en la verificación de las limitaciones que tiene la tierra para mantener al cultivo. Las limitaciones son de índole físico y climático (FAO, 1997).

El adecuamiento en SIG se efectuó en base a consultas a la base de datos de las Células Agroecológicas (CEAS) a través de la opción “Query...” y “SQL” del lenguaje estandarizado del Arcview 3.2 (SIG), la elección de las CEAS a través de la consulta, se efectúa tomando los factores de adaptabilidad específicos de los cultivos, los resultados son expresados en tablas o “report” con valores alfanuméricos de cada CEA involucrada y respectivo mapa temático (Miranda E.E, 2002).

**5.13.2. Cálculo del rendimiento agronómico potencial (acumulación de biomasa neta).** Según (FAO, 1994), señala que el cálculo de la tasa de acumulación de biomasa neta o rendimiento potencial depende de *la radiación solar, la especie vegetal y la ubicación geográfica*. En (FAO, 1997) indica que la finalidad es determinar el rendimiento potencial de los cultivos en (qq/Ha.) en condiciones naturales.

---

<sup>2</sup> (FAO. 1997), Define tierra a una área específica de superficie terrestre. En el contexto de la evaluación de tierra, incluye propiedades de la superficie, suelo y clima, así como de cualquier planta o animal residente en ella.

El modelo detallado para el cálculo de *rendimiento potencial* fue descrito por (Kassam, 1977) y (FAO, 1994) especificada a continuación:

**a) Datos del cultivo**

- Cultivo
- Grupo de adaptación
- Ciclo de cultivo (N)
- Índice de área foliar (IAF)
- Índice de cosecha. (IC)
- Ruta fotosintética

**b) Cálculo de la velocidad de producción de materia seca bruta**

- 1) Velocidad de la fotosíntesis (pm) a temperatura diurna en Kg/ha./hora (ver anexo 1B).
- 2) Radiación fotosintéticamente activa (Ac) en cal/cm<sup>2</sup>/día.
- 3) Velocidad media producción biomasa días despejados (bc) en Kg/ha./día.
- 4) Velocidad media producción biomasa días nublados (bo) en Kg/ha./día.
- 5) Radiación solar (RS) en cal/cm<sup>2</sup>/día.
- 6) Fracción del día en que el cielo está cubierto (F)

$$F = (Ac - 0.5RS)/0.8 Ac$$

- 7) Velocidad de acumulación de materia seca diaria bruta en (Kg/ha./hora)

$$Msb = F \times bo + (1 - F) bc$$

- 8) Producción de materia seca bruta ajustada (Msaj) en Kg/ha./hora

$$Msaj = Msb + \{ (Y/5 \times 100^{-1}) \times F \times bo + (Y/2 \times 100^{-1}) \times (1 - F) bc \}$$

Donde:

Y = bc-bo

- 9) Corrección por índice de área foliar (IAF). El modelo de la FAO (1976), considera un IAF = 5 para obtener la máxima producción de biomasa. Si el IAF es menor, deberá hacerse una corrección multiplicando la Msaj por el factor correspondiente

**c) Cálculo de materia seca total neta (Msn) en Kg/ha..**

$$Msn = 0.36 \times Msaj / (1/N + 0.25 \times ct)$$

Donde:

N = Ciclo del cultivo (días)

Ct = C30 (0.044 + 0.00019 T + 0.0010 T<sup>2</sup>)

Donde:

Ct = Factor de corrección por respiración

T = temperatura media durante el ciclo de crecimiento

C30 = constante: leguminosas = 0.0283 y no leguminosas = 0.0108

d) **Calculo de rendimiento potencial en Kg/ha..**

$$\text{Rendimiento potencial} = \text{Msn} \times \text{I.C.}$$

Donde:

I.C. = Rendimiento económico (gamo)/ rendimiento total

Los valores de radiación fotosintéticamente activa (Ac), velocidad media producción biomasa días despejados (Bc) y velocidad media producción biomasa días nublados (Bo), fueron interpolados sobre los valores propuesto por la (FAO, 1994) de acuerdo a la ubicación geográfica de la subcuenca, para obtener nuevos valores que obedecen al territorio (Tabla 30, Anexo 6A y 8A). Se opto interpolar valores de Ac. bc y bo para todos los meses del año, por que la DPC en la subcuenca es  $\geq$  a 340 días sobrepasando el ciclo frenológico de los cultivos seleccionados, pudiéndose llevar varias cosechas al año principalmente en hortalizas, maíz y arroz (Tabla 30).

**Tabla 30.** Valores de Ac. bc y bo para la Subcuenca Hidrográfica “sector” Río Boopi

Lat S	Meses												
15° 00' 00"	E	F	M	A	M	JN	JL	A	S	O	N	D	Prom
Ac	387	382	363	329	288	265	274	313	348	375	386	387	341
Bc	433	445	428	399	367	348	355	386	415	438	450	454	410
Bo	243	239	228	211	191	179	269	203	220	235	482	245	245
15°45'00"	E	F	M	A	M	JN	JL	A	S	O	N	D	Prom
Ac	390	383	362	325	282	253	268	308	346	375	388	391	339
Bc	441	447	428	346	363	343	350	383	413	439	453	458	405
Bo	245	240	228	209	188	176	245	201	215	235	423	245	238
15°55'00"	E	F	M	A	M	JN	JL	A	S	O	N	D	Prom
Ac	389	383	363	327	285	259	271	311	347	375	387	389	341
Bc	437	446	428	373	365	346	353	385	414	439	452	456	408
Bo	244	240	228	210	190	178	257	202	218	235	453	244	242

Fuente: Elaboración propia adaptada a FAO. (1994)

Las 5 estaciones meteorológicas del área de influencia, carecen de datos de radiación solar (Rs) pero no a sí de registros de grados de nubosidad, por este motivo según Villalpando J. (1988) la radiación sola (Rs) fue estimada a partir del grado de nubosidad. El modelo matemático se detalla a continuación (Anexo 4A y 5A):

$$Rs = (a + b \, n/N) \, Ra$$

Donde:

Rs: radiación solar en cal/cm<sup>2</sup>/día. Para convertir calorías a mm de agua evaporable (a temperatura de 20 °C) se usa la siguiente formula:

$$\begin{aligned} \text{Mm H}_2\text{O} &= \text{Calorías}/58.6 \\ \text{Calorías} &= \text{mm H}_2\text{O} \times 58.6 \end{aligned}$$

Ra = radiación solar teórica que recibirá la superficie terrestre en ausencia de la atmósfera. Conocidos como valores constantes de Angot que se encuentran tabulados de acuerdo a la latitud (ver anexo tabla 6A).

Los valores de  $a$  y  $b$  fueron estimados por Frère y Popoy (1979), para diferentes zonas del mundo verificada también en Villalpando J. (1988).

A	B	Zonas
0.18	0.55	Zonas frías y templadas
0.25	0.45	Zonas tropicales secas
0.29	0.42	Zonas tropicales húmedas

Los valores de  $n/N$  equivale a la nubosidad media en octavos y se obtiene mediante la relación por Doorenbos y Pruitt (1977). Verificada también en Villalpando J. (1988).

NUBOSIDAD (OCTAVOS)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
REACION $n/N$	0.95	0.85	0.75	0.65	0.55	0.45	0.3	0.15	-

Bajo este modelo la radiación solar fue determinada para las 5 estaciones del área de influencia de la subcuenca “sector” (Tabla 31).

**Tabla 31.** Valor de Radiación solar por estaciones

Nº	Estación	Rs (cal/cm <sup>2</sup> /día)	Lat S	Altitud (m)	Origen	Dat. Hist. (años)
1	Arcopongo	430	16°33'00"	1436	SNMHI	1943-81
2	La Asunta	473	16°00'00"	600	SNMHI	1973-90
3	Caranavi	452	15°49'00"	960	SNMHI	1990-1999
4	Sapecho	428	15°32'00"	395	SNMHI	1972-1982
5	Covendo	428	15°21'00"	420	SNMHI	1975;77-85

**Fuente:** Elaboración propia basada en datos de grado de nubosidad SNMHI

En (Villalpando J, 1988), Menciona que Galindo y Chávez (1977) elaboraron un mapa de la distribución de Radiación Solar (RS), con procedimientos semejantes a los polígonos de Thiessen, basado en este criterio se inventario la distribución de RS para la subcuenca “sector”. Según (Ordóñez, 1995) los SIG determinaron que la RS en la subcuenca va entre 400 a 470 cal/cm<sup>2</sup>/día. La RS es alta en sectores de las comunidades de: Pichare, Los Olivos, S. Juan de Cota Pata; S. Pablo; Nueva Llusta, Agua Clara, Ramal Bolívar y Chuma, que oscila entre 448 a 470 cal/cm<sup>2</sup>/día; y es baja en los sectores de las comunidades de: Playa Ancha. y Puerto Carmen, que oscila entre 400 a 448 cal/cm<sup>2</sup>/día. La RS fue sumado como un factor mas a las CEAS, para facilitar el calculo de rendimiento agronómico en cada CEA (Mapa 12).

Para ilustrar los procedimientos de la adecuación de tierra y cultivos en un SIG, y la utilización del modelo FAO para calculo de rendimiento potencial, a continuación se detalla el procedimiento para determinar la aptitud de tierras para el cultivo de maíz. Procedimientos comunes para el resto de los cultivos priorizados en la subcuenca (Tabla 25).

## 5.14. Determinación de la aptitud de tierra para el cultivo de maíz

**5.14.1. Proceso de adecuamiento.** El adecuamiento en SIG se efectúan de acuerdo a (FAO, 1997) y (Miranda E.E, 2002). Se reanaliza en consultas a la base de datos de Células Agroecológicas (CEAS), definidas según (FAO, 1994) como las unidades únicas de evaluación de tierras, que llevan información de suelos, clima, geomorfología y cobertura vegetal. En el presente trabajo de investigación fueron añadidas información de las ubicaciones geográficas y radiación solar a las CEAS cuya finalidad será explicada posteriormente. Con la opción “Query..” y “SQL” del lenguaje estandarizado de los SIG, pueden aislarse un grupo de CEAS, que tienen factores climáticos, suelos y duración del periodo de crecimiento, que se comparan con los requerimientos de cultivo de maíz; si los factores se acercan mas al requerimiento (adaptabilidad) del cultivo del maíz, entonces se han llegado al punto optimo de la adecuación y si nos alejamos aparecen diferentes grados o limitaciones para el adecuamiento, que tienen mucho que ver para clasificar la tierra por su aptitud. La (FAO, 1997) para calificar estas limitaciones a desarrollado normas. Los resultados obtenidos del proceso de adecuamiento se asemeja a una estadística de CEAS hecha en computadora.

**5.14.2. Estadística de CEAS.** De los 2323 CEAS encontradas para la subcuenca “sector”, se determino los siguientes números de CEAS con diferentes limitaciones suelos, precipitación, temperatura y periodo de duración de crecimiento para el cultivo de maíz.

### 91 CEAS que no tienen limitaciones

336	329	355	372	394	350	396	337	361	380	330	323	344	367	389	345	378	333	357	374	318	383
370	332	356	373	395	361	317	338	362	381	331	324	351	368	390	346	379	334	358	375	326	385
319	339	363	382	341	325	352	369	391	347	359	376	327	395	321	341	365	387	343	328	354	371
320	340	364	383	342	326	353	370	392	348	335	384	386	336	360	377	329	397	322	342	366	388
																			344	393	349

### 35 CEAS que tienen limitaciones en tex. en los HI (L; A); drenaje muy imperfecto (MI)

187	189	2279	2281	2283	2286	2288	2290	2294	2296	2298	2300	2303	2305	2311	2313	2315	2317	188	190	2280	2282
										2297	2299	2302	2304	2310	2312	2314	2316	2284	2287	2289	2295

### 156 CEAS que tienen limitaciones en tex. en HI (L; A); fragmentos rocosos = 80 % en HI

242	212	219	273	280	2319	202	217	258	265	272	2318	197	205	211	227	239	248	255	292	298	304
216	213	257	275	281	192	203	229	259	266	273	2319	198	206	222	228	243	249	256	293	299	305
278	214	258	276	286	193	207	231	260	267	274	2320	199	207	223	229	244	250	268	294	300	310
279	215	262	277	291	194	208	232	261	269	287	2321	200	208	224	230	245	251	271	295	301	311
290	216	263	278	314	195	210	253	263	270	288	195	201	209	225	231	246	252	272	296	302	312
202	218	269	279	2318	196	215	254	264	271	289	196	204	210	226	238	247	253	285	297	303	313
315	316	2321	2322	2323	220	221	222	229	230	233	234	235	236	237	238	239	240	241	243	306	307
																				2321	308

### 163 CEAS que tienen limitaciones en tex. (Y) en HI; fragmentos rocosos >50 % en HS y HI

24	96	156	32	62	79	133	46	124	53	186	72	111	24	39	69	100	16	59	139	178	106
37	98	160	33	63	80	134	48	125	161	85	74	113	25	40	70	101	17	60	140	179	107
61	99	18	34	64	81	135	49	128	162	86	76	114	26	41	71	102	18	118	141	180	108
62	100	19	35	65	82	136	50	129	163	90	84	115	27	42	73	111	19	119	17	181	110
65	103	21	36	66	83	137	54	130	164	91	88	116	28	43	75	112	20	120	44	182	175
67	104	22	37	67	89	14	55	131	165	97	93	117	29	47	76	125	22	121	45	183	177
69	109	23	38	68	92	15	56	133	166	105	94	132	30	57	77	126	36	122	51	184	138
										31	58	78	127	45	123	52	185	95			

### 1778 CEAS limitaciones en tex. (Y) HI; fragmentos rocosos >50 % en HSI; drenaje excesivo (BE)

1145	1702	1141	1549	1880	147	526	847	1093	1288	1649	443	507	630	758	980	1042	1234	1389	1534	409	592
1146	1731	1142	1550	1882	148	532	848	1094	1337	1667	444	508	633	816	989	1043	1235	1391	1606	410	594

1152	1732	1147	1554	1883	149	533	905	1095	1444	1668	445	509	634	817	993	1057	1242	1392	1607	411	598
1156	1733	1148	1582	1885	154	534	906	1098	1449	1669	446	510	636	818	994	1058	1264	1395	1608	416	599
1157	1764	1153	1583	1888	155	540	907	1099	1450	1670	447	518	637	824	995	1059	1265	1396	1609	417	600
1158	1776	1190	1638	1889	156	544	908	1100	1451	1671	448	524	646	842	997	1060	1266	1397	1610	429	601
1159	1777	1194	1639	1890	157	553	956	1104	1452	1672	449	526	647	843	1001	1061	1267	1398	1611	430	602
1192	1783	1195	1684	1891	159	554	972	1105	1464	1673	450	528	683	875	1003	1071	1268	1412	1612	431	603
1193	1784	1453	1735	1892	169	555	988	1106	1465	1674	454	529	692	880	1005	1072	1269	1413	1613	432	604
1198	1792	1456	1748	1893	171	556	992	1107	1466	1723	455	530	699	881	1006	1073	1270	1414	1614	434	605
1447	1793	1457	1759	1894	172	557	998	1108	1467	1724	459	531	700	904	1008	1074	1271	1415	1615	435	606
1448	1795	1487	1762	1895	413	558	1029	1109	1518	1734	460	533	701	910	1009	1075	1285	1416	1631	436	607
1475	1870	1488	1763	1899	421	559	1030	1110	1519	1758	461	534	702	911	1010	1076	1289	1417	1675	437	608
1476	1886	1491	1785	1934	422	560	1037	1111	1520	2205	462	535	704	912	1011	1077	1299	1418	1676	438	610
1489	1887	1492	1786	2059	423	561	1038	1112	1539	2265	463	536	705	913	1014	1078	1306	1419	1704	439	612
1490	1896	1493	1857	2060	425	563	1039	1113	1540	1116	464	537	707	919	1025	1080	1335	1444	1705	440	613
1516	1897	1494	1858	2061	449	564	1044	1114	1541	2	465	538	708	920	1026	1081	1336	1445	1809	444	614
1517	1898	1495	1860	2077	450	633	1045	1261	1542	3	466	539	709	921	1027	1089	1337	1446	1810	451	615
1530	2046	1496	1863	2078	465	635	1046	1264	1543	405	467	541	710	922	1028	1090	1338	1463	1817	452	616
1551	2047	1497	1864	2107	469	636	1047	1271	1559	406	468	542	711	925	1029	1091	1339	1509	1818	453	617
1552	2048	1498	1865	1143	470	638	1048	1273	1560	412	470	543	712	926	1030	1092	1340	1510	1819	454	618
1553	2076	1499	1866	1144	471	648	1049	1274	1561	415	471	544	713	927	1031	1093	1341	1511	1	457	619
1558	2079	1500	1867	1154	473	649	1050	1276	1574	418	472	545	714	928	1032	1096	1342	1525	2	460	620
1571	2086	1501	1868	1155	484	651	1059	1277	1592	419	473	546	715	943	1033	1097	1343	1526	4	475	621
1572	562	1502	1869	1191	486	652	1069	1278	1593	425	474	547	716	952	1034	1098	1344	1527	398	476	622
1677	527	1503	1871	882	489	816	1082	1279	1602	426	477	548	717	958	1036	1100	1345	1528	402	477	623
1685	1852	1504	1872	142	516	842	1083	1280	1627	427	479	549	748	967	1037	1101	1346	1529	403	483	624
1686	1853	1512	1873	143	521	844	1087	1281	1631	432	480	550	749	968	1038	1102	1347	1531	404	506	625
1691	1130	1514	1874	145	522	845	1088	1282	1647	441	481	551	750	969	1040	1103	1382	1532	407	507	626
1693	1139	1515	1876	146	525	846	1089	1283	1648	442	482	552	757	972	1041	1233	1387	1533	408	514	627
628	703	756	873	963	1058	1231	1292	1370	1431	1548	1115	512	603	890	1134	1323	1366	1438	1681	1755	1851
639	704	757	874	964	1062	1232	1293	1371	1432	1570	9	515	610	895	1135	1324	1367	1439	1682	1772	1852
640	706	758	875	970	1063	1233	1294	1378	1433	1575	10	565	611	896	1136	1325	1369	1440	1683	1778	1853
641	718	759	883	971	1064	1234	1295	1379	1434	1587	12	566	613	897	1183	1326	1370	1441	1689	1781	1854
642	719	760	892	973	1065	1235	1296	1383	1435	1588	13	567	621	898	1184	1327	1371	1442	1690	1782	1900
643	720	761	893	978	1066	1236	1297	1384	1458	1589	399	569	626	899	1207	1328	1372	1443	1692	1798	1901
644	721	762	894	979	1067	1237	1298	1385	1459	1590	400	574	627	900	1208	1329	1373	1477	1694	1799	1902
645	722	763	895	983	1070	1238	1299	1386	1460	1603	401	575	628	901	1211	1330	1374	1478	1695	1811	1903
646	727	814	909	985	1209	1239	1300	1388	1461	1604	420	576	723	902	1221	1332	1375	1479	1696	1820	1904
647	728	815	914	990	1210	1240	1301	1389	1462	1605	428	577	724	903	1224	1333	1376	1480	1699	1821	1905
681	729	819	915	991	1212	1241	1302	1390	1463	1616	430	578	725	923	1225	1334	1377	1481	1701	1822	1906
682	730	820	917	996	1213	1243	1303	1391	1477	1660	433	579	726	924	1249	1348	1380	1482	1709	1824	1907
683	738	821	918	999	1214	1244	1304	1392	1483	1661	435	580	730	938	1250	1349	1381	1544	1725	1825	1908
684	739	822	929	1002	1215	1245	1305	1393	1484	1760	458	581	731	939	1251	1350	1399	1570	1726	1826	1909
685	740	823	934	1007	1216	1246	1306	1394	1485	1761	493	582	732	940	1252	1351	1400	1573	1727	1827	1910
686	741	824	935	1012	1217	1247	1307	1399	1486	1779	494	585	733	948	1253	1352	1401	1580	1728	1828	1911
687	742	825	936	1013	1218	1248	1308	1401	1505	1780	495	586	734	949	1254	1353	1402	1618	1729	1829	1912
688	743	826	941	1024	1219	1249	1309	1420	1506	1787	496	587	735	950	1255	1354	1403	1619	1730	1830	1913
689	744	827	942	1025	1220	1250	1310	1421	1507	1791	497	588	736	975	1290	1355	1404	1628	1737	1831	1914
690	745	828	944	1035	1221	1253	1311	1422	1508	1794	498	589	737	982	1291	1356	1405	1629	1738	1832	1915
691	746	829	945	1036	1222	1256	1312	1423	1509	1803	499	590	783	984	1313	1358	1406	1650	1739	1833	1916
692	747	830	946	1051	1223	1257	1314	1424	1535	1813	500	591	784	1004	1316	1359	1407	1651	1742	1834	1917
693	748	831	947	1052	1224	1258	1315	1425	1536	1814	501	593	814	1017	1317	1360	1408	1652	1743	1835	1918
694	751	832	957	1053	1226	1259	1316	1426	1537	1815	502	594	850	1018	1318	1361	1409	1653	1744	1836	1919
695	752	833	959	1054	1227	1268	1318	1427	1538	1816	503	595	853	1022	1319	1362	1410	1664	1749	1837	1920
696	753	834	960	1055	1228	1270	1319	1428	1545	1821	504	596	865	1023	1320	1363	1411	1665	1751	1840	1921
697	754	835	961	1056	1229	1290	1331	1429	1546	2318	505	597	888	1123	1321	1364	1436	1679	1752	1841	1922
698	755	836	962	1057	1230	1291	1368	1430	1547	2319	511	602	889	1124	1322	1365	1437	1680	1754	1842	1923
1924	1972	1997	2022	2066	1942	669	792	854	887	1128	1322	1580	1703	1770	1940	666	802	1150	1454	1634	1756
1925	1973	1998	2023	2067	568	670	793	855	891	1129	1323	1581	1706	1771	1942	667	803	1151	1455	1635	1767
1926	1974	1999	2024	2068	570	671	794	856	916	1131	1350	1584	1707	1773	1946	669	805	1161	1469	1636	1768
1927	1975	2000	2025	2069	571	674	795	857	932	1132	1351	1585	1708	1774	1948	670	859	1162	1470	1637	1775
1928	1976	2001	2026	2073	572	675	796	858	933	1133	1353	1586	1709	1796	1949	671	879	1163	1471	1640	1788
1929	1977	2002	2027	2074	573	676	797	859	951	1134	1357	1594	1710	1797	1954	672	886	1169	1472	1641	1789
1942	1978	2003	2028	2075	574	677	798	860	953	1160	1359	1598	1711	1804	2041	765	887	1170	1473	1642	1790
1944	1979	2004	2029	2080	575	679	804	861	954	1164											

1956	1983	2008	2033	2093	584	775	808	865	974	1168	1556	1624	1717	1827	2070	772	1016	1181	1523	1657	1844
1957	1984	2009	2034	2094	585	779	809	866	976	1169	1557	1625	1736	1836	2081	773	1117	1182	1524	1658	1846
1958	1985	2010	2035	2095	586	780	810	867	977	1170	1562	1630	1740	1838	2082	774	1118	1184	1591	1659	1847
1959	1986	2011	2036	2096	587	781	811	868	981	1174	1563	1632	1741	1839	2083	775	1119	1185	1595	1662	1848
1960	1987	2012	2037	2097	656	782	812	869	986	1175	1564	1654	1745	1843	2084	776	1120	1186	1596	1663	1849
1963	1988	2013	2038	2099	657	783	837	870	987	1176	1565	1655	1746	1845	2085	778	1121	1187	1597	1697	1850
1964	1989	2014	2039	2100	658	784	838	871	1000	1179	1566	1656	1747	1856	2087	779	1128	1188	1620	1698	1855
1965	1990	2015	2040	2101	659	785	839	872	1015	1182	1567	1658	1750	1900	2104	781	1131	1189	1621	1700	1861
1966	1991	2016	2052	2102	660	786	840	876	1122	1183	1568	1666	1753	1911	2105	782	1132	1196	1622	1712	1862
1967	1992	2017	2053	2103	662	787	841	877	1123	1184	1569	1678	1756	1929	2106	796	1133	1197	1623	1718	1875
1968	1993	2018	2055	2108	663	788	849	878	1124	1185	1576	1679	1757	1930	2109	798	1137	1200	1625	1719	1877
1969	1994	2019	2057	2318	664	789	850	879	1125	1204	1577	1681	1765	1931	2110	799	1138	1201	1626	1720	1878
1970	1995	2020	2062	2319	665	790	851	884	1126	1205	1578	1687	1766	1932	661	800	1140	1202	1632	1721	1881
1971	1996	2021	2063	2320	668	791	852	885	1127	1206	1579	1688	1769	1939	665	801	1149	1203	1633	1722	1884
1929	1935	1940	1950	1955	2050	2064	2089	151	168	424	490	520	650	1020	1272	1084	1932	1937	1947	1952	2045
1930	1936	1946	1951	2044	2051	2071	2098	152	173	485	491	629	653	1260	1275	1085	1933	1938	1949	1953	2049
488	519	632	1019	1263	1287	1170	2058	2088	150	487	517	631	654	1262	1286	170	2056	2072	144	153	174
																				167	414

**100 CEAS que tienen limitaciones en tex. (Y) HIS; drenaje excesivo (ME)**

2111	2126	2119	2179	2134	2144	2166	2182	2183	2151	2121	2113	2158	2188	2139	2161	2173	2198	2197	2156	2190	2120
2112	2127	2131	2180	2135	2145	2167	2186	2184	2152	2122	2114	2163	2129	2140	2162	2174	2199	2147	2170	2150	2112
2115	2128	2132	2185	2136	2146	2168	2191	2194	2153	2123	2116	2175	2130	2141	2163	2178	2155	2148	2171	2181	2139
2116	550	2133	2186	2137	2159	2169	2192	2195	2154	2124	2117	2176	2131	2142	2164	2179	2157	2149	2189	2181	2187
										2160	2172	2193	2196	2155	2125	2118	2177	2132	2143	2165	2138

Las estadísticas de CEAS para los cultivos de: arroz, banano, limón, cacao, café y tomate se exponen en (Anexos: A. B. L. C. F. H).

Anteriormente se menciono que se añadió información de ubicación geográfica y radiación solar a las CEAS, con la finalidad de precisar en la obtención de valores Radiación solar (Rs) para cada agrupación de CEAS obtenida por estadística. Según (**Miranda E.E, 2002**) por medio de las operaciones “dissolve feature based on an attribute” en SIG, los valores de cada CEA agrupado son promediados con referencia a su ubicación geográfica. Operación de singular importancia para precisar valores de Rs, que en (**Villalpando J, 1988**) menciona que la distribución de la Rs esta en función la ubicación geográfica. En el caso de los valores de temperatura media (Tm), temperatura diurna (Td), duración de periodo de crecimiento (DPC) y superficie son promediados de la misma manera pero poco interesa se tiene sobre su ubicación geográfica. Los resultados tabulados se muestra en la (Tabla 32).

**Tabla 32.** Valor promedios, superficie y ubicación geográfica de CEAS agrupados cultivo de maíz

Nº	CEA	Tm (°C)	Td (°C)	DPC (Días)	Rs	Sup. (Ha.)	Latitud N	Longitud W
1	91	21	21	303	444	2811.85	15° 55' 00"	67° 09' 00"
2	35	26	24	298	423	1324.85	15° 55' 00"	67° 09' 00"
3	156	22	22	292	453	8087.85	15° 55' 00"	67° 09' 00"
4	163	24	23	294	440	3143.85	15° 55' 00"	67° 09' 00"
5	1778	22	22	302	441	72805.85	15° 55' 00"	67° 09' 00"
6	100	23	22	300	436	536.55	15° 55' 00"	67° 09' 00"
2323						88710.8		

Fuente: Elaboración propia

### 5.14.3. Calculo de biomasa neta y rendimiento potencial del maíz

Los valores de la (Tabla 32), nos permiten calcular la biomasa neta y rendimiento potencial del maíz para las 6 agrupaciones de CEAS. El modelo propuesto por (Kassam, 1977) y (FAO, 1994) es aplicado a las 91 CEAS que no tienen limitaciones para el cultivo de maíz, y el procedimiento es idéntico para la agrupación de CEAS: 35, 156, 163, 1778 y 100, los resultados se exponen en la (Tabla 33).

Datos del cultivo:

- Cultivo: Maíz
- Grupo de adaptación: IV
- Ciclo de cultivo: 153 días
- Índice de área foliar (IAF): 5.0
- Índice de cosecha.: 0.40
- C30: 0.0108

#### **CEA 91**

#### **b) Calculo de la velocidad de producción de materia seca bruta**

- 1) Velocidad de la fotosíntesis (pm) a temperatura diurna de  $21\text{ }^{\circ}\text{C} = 56.70\text{ Kg/ha./hora}$  (ver anexo Figura 3A y 1B).
- 2) Diferencia (en %) entre pm1-pm2 para el maíz a  $\underline{Ac > 0.4 = 166\%}$
- 3) Radiación fotosintéticamente activa promedio anual  $\underline{Ac = 341\text{ Cal/cm}^2/\text{día.}}$
- 4) Velocidad media producción biomasa días despejados (bc) =  $\underline{405\text{ Kg/ha./día.}}$
- 5) Velocidad media producción biomasa días nublados (bo) =  $\underline{242\text{ Kg/ha./día.}}$
- 6) Fracción del día en que el cielo esta cubierto (F)
 
$$F = (Ac - 0.5RS)/0.8\text{ }Ac$$

$$F = (341 - 0.5 \times 444)/(0.8 \times 341)$$

$$\underline{F = 0.43}$$
- 7) Velocidad de acumulación de materia seca diaria bruta a mp =  $20\text{ Kg/ha.}$ 

$$Msb = F \times bo + (1 - F) \times bc$$

$$Msb = 0.43 \times 241 + (1 - 0.43) \times 405$$

$$\underline{Msb = 336.05\text{ Kg/ha./día}}$$
- 8) producción de materia seca bruta ajustada (Msaj) a  $63.02\text{ Kg/ha./hora}$ 

$$Msaj = Msb + \{ (Y/5 \times 100^{-1}) \times F \times bo + (Y/2 \times 100^{-1}) \times (1 - F) \times bc \}$$

$$Msaj = 336.05 + \{ (166/5 \times 100^{-1}) \times 0.43 \times 242 + (166/2 \times 100^{-1}) \times (1 - 0.43) \times 408 \}$$

$$\underline{Msaj = 563.62\text{ Kg/ha./día}}$$
- 9) Corrección por índice de área foliar (IAF). El modelo de la FAO (1976), considera un IAF = 5 para obtener la máxima producción de biomasa. Si el IAF es menor, deberá hacerse una corrección multiplicando la Msaj por el factor correspondiente (ver Figura 3A del Anexo)
 

Para IAF = 0.5;  $\underline{Msaj = 563.62\text{ Kg/ha./día}}$

#### **c) Calculo de materia seca total neta (Msn)**

$$Msn = 0.36 \times Msaj / (1/N + 0.25 \times ct)$$



Donde:

N = Ciclo del cultivo = 153 días

Ct = C30 (0.044 + 0.00019 T + 0.0010 T<sup>2</sup>)

Donde:

Ct = Factor de corrección por respiración

T = temperatura media durante el ciclo de crecimiento

C30 = constante: leguminosas = 0.0283 y no leguminosas = 0.0108

Ct = 0.0108 (0.044 + 0.00019 x 21 + 0.0010 x 21<sup>2</sup>)

Ct = 0.0056

Msn = 0.36 x 563.62 / (1/153 + 0.25 x 0.0056)

Msn = 25683.54 Kg/ha..

Rendimiento potencial = Msn x I.C.

I.C. = Rendimiento económico (gamo)/ rendimiento total

Rendimiento potencial = 25683.54 x 0.4

Rendimiento potencial = 10273.42 Kg/ha.

#### 5.14.4. Clases de aptitud de la tierra para cultivo de maíz

La clasificación de la tierra según su aptitud para el cultivo de maíz, obedecen a (FAO, 1994) que consiste en un arreglo sistemático, con valores de rendimientos potenciales (RP) obtenidos para el maíz y cada conjunto de CEAS con diferentes limitaciones, sobre los cuales según (FAO, 1997) se influyen las normas de clasificación de aptitud de tierras y los niveles de insumos utilizados en la producción. Los resultados obtenidos se muestran en las (Tabla 33) y (Tabla 34) respectivamente. Según (Miranda E.E, 2002) por medio de las operaciones “dissolve feature based on an attribute” en SIG se obtuvo el mapa de aptitudes de la tierra para el cultivo de maíz (Mapa 13).

**Tabla 33.** Clases de aptitud de la tierra para el cultivo de maíz

CEA	RPc. (qq/ha.)	Norm. FAO*	RPn. (qq/ha.)	Cod	Clase De Aptitud	Rend. (%)	Sup. (ha.)
91	10.27		10.27	S1	Muy Apto	80-100	3037.00
35	10.28	25 (%)	8.22	S2	Apto	60-80	1568.00
156	9.24	50 (%)	6.16	S3	Moderadamente apto	40-60	6962.10
163	7.19	75 (%)	4.11	S4	Marginalmente Apto	20-40	3369.00
1778	2.05		2.05	Vms	Muy Marginalmente Apto	5-20	73013.00
100	0.51		0.51	N	No Apto	0-5	761.7
2323							88710.80

Fuente: Elaboración propia; (\*) las clases S2, S3 y S4 de parámetros de suelo en función del cultivo

**Tabla 34.** Rendimientos potenciales de maíz bajo tres niveles de insumo

Cod.	Normas FAO*	Insumos		
		100%	62.50%	25%
	RPn. (qq/ha.)	Altos (qq/ha.)	Interm.(qq/ha.)	bajos (qq/ha.)
S1	10.27	10.27	6.42	2.57
S2	8.22	8.22	5.14	2.06
S3	6.16	6.16	3.85	1.54
S4	4.11	4.11	2.57	1.03
Vms	2.05	2.05	1.28	0.51
N	0.51	0.51	0.32	0.13

**Fuente:** Elaboración propia; (\*) Rendimiento potencial con bajos insumos = 25 % y rendimiento potencial con insumos intermedios = 62.5 % del rendimiento potencial con altos insumos

Los resultados obtenidos sobre la aptitud de tierras para los cultivos de: arroz, banano, cacao, café, cítricos y hortalizas, se muestra en la siguiente tabla y mapas de aptitudes para cada cultivo (Tabla 35; Mapas 14,15, 16, 17, 18 y 19).

**Tabla 35.** Aptitud de Tierras por cultivo y rendimientos agronómicos por niveles de insumo

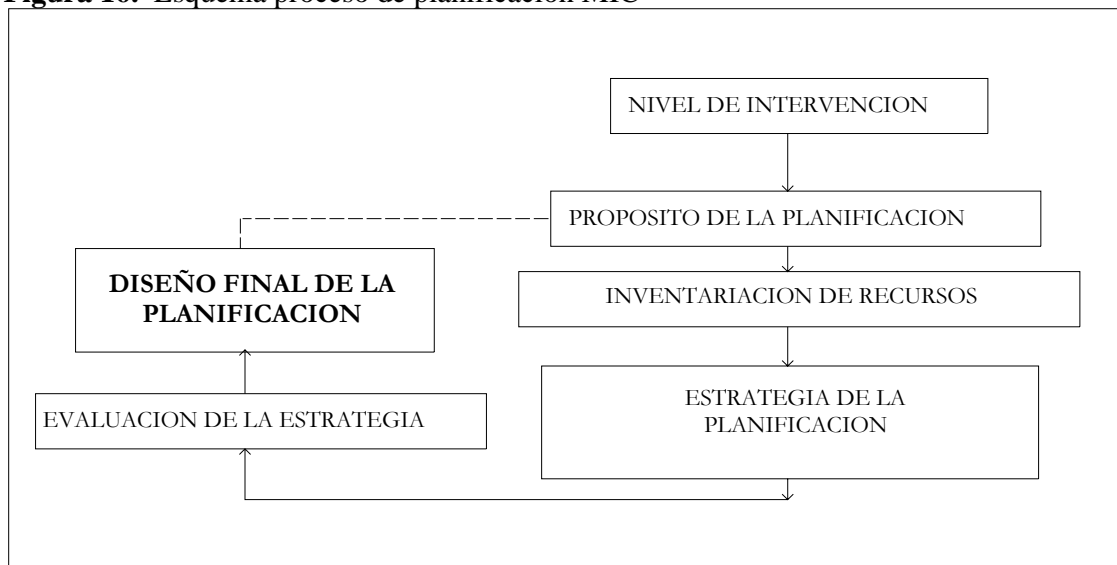
Id	Cod-Cultv	Cod-Apt	Aptitudes	Max-Rnd	Ins-Interm	Poco-Ins	Sup. (ha.)
<b>CULTIVO DE ARROZ</b>			<b>(qq/ha.)</b>				
1	AAS1	S1	Muy Apto	10.01	6.25	2.50	382.50
2	AAS2	S2	Apto	8.01	5.00	2.00	2004.00
3	AAS3	S3	Moderadamente Apta	6.00	3.75	0.94	7638.00
4	AAVms	Vms	Marginalmente Apto	2.00	1.25	0.50	7321.00
5	AAS4	S4	Muy Marginalmente Apto	4.00	2.50	0.63	201.40
6	AAN	N	No Apto	0.50	0.31	0.13	71660.00
<b>CULTIVO DE BANANO</b>			<b>(qq/ha.)</b>				
1	BBS1	S1	Muy Apto	5.95	3.72	1.49	6757.00
2	BBS2	S2	Apto	4.76	2.98	1.19	1351.00
3	BBS3	S3	Moderadamente Apto	3.57	2.23	0.89	13910.00
4	BBS4	S4	Marginalmente Apto	2.39	1.49	59.00	54950.00
5	BBVms	Vms	Muy Marginalmente Apto	1.19	0.74	0.29	11090.00
6	BBN	N	No Apto	0.29	0.15	0.07	715.80
<b>CULTIVO DE CACAO</b>			<b>(qq/ha.)</b>				
1	CCS1	S1	Muy Apto	9.77	6.10	2.44	6080.00
2	CCS2	S2	Apto	7.81	4.90	1.95	13910.00
3	CCS4	S4	Muy marginalmente Apto	3.91	2.44	0.98	1353.00
4	CCS3	S3	Marginalmente Apto	5.87	3.67	1.45	56250.00
5	CCVms	Vms	Muy Marginalmente apto	1.95	1.19	0.12	10420.00
6	CCN	N	No Apto	0.45	0.30	0.12	761.70
<b>CULTIVO DE CAFÉ</b>			<b>(qq/ha.)</b>				
1	FFS1	S1	Muy Apto	8.80	5.50	2.20	3369.00
2	FFS2	S2	Apto	7.04	4.40	1.76	35360.00
3	FFS3	S3	Moderadamente Apto	5.28	3.30	1.32	34050.00
4	FFS4	S4	Marginalmente Apto	3.52	2.20	0.88	13690.00
5	FFVms	Vms	Muy Marginalmente Apto	1.76	1.10	0.44	1568.00
6	FFN	N	No Apto	0.44	28.00	0.11	761.70
<b>CULTIVO DE CITRICOS</b>			<b>(qq/ha.)</b>				
1	CTS1	S1	Muy Apto	13.03	8.14	3.26	11350.00
2	CTS2	S2	Apto	10.42	6.51	2.61	38729.00
3	CTS3	S3	Moderadamente Apto	7.80	4.88	1.95	22677.20
4	CTS4	S4	Marginalmente Apto	5.21	3.25	1.30	1353.00
5	CTVms	Vms	Muy Marginalmente Apto	2.60	1.63	0.65	13908.00
6	CTN	N	No apto	0.07	0.04	0.02	761.70
<b>CULTIVO DE MAIZ</b>			<b>(qq/ha.)</b>				
1	ZZS1	S1	Muy Apto	10.27	6.42	2.57	3037.00
2	ZZS2	S2	Apto	8.22	5.14	2.06	1568.00
3	ZZS3	S3	Moderadamente apto	6.16	3.85	1.54	8313.00
4	ZZS4	S4	Marginalmente Apto	4.11	2.57	1.03	3369.00
5	ZZVms	Vms	Muy Marginalmente Apto	2.05	1.28	0.51	71710.00
6	ZZN	N	No apto	0.51	0.32	0.13	761.70
<b>CULTIVO DE HORTALIZAS</b>			<b>(qq/ha.)</b>				
1	HRS1	S1	Muy Apto	3.06	1.91	0.77	28310.00
2	HRS2	S2	Apto	2.44	1.53	0.61	1351.00
3	HRS4	S4	Marginalmente Apto	1.21	0.76	0.30	7698.00
4	HRS3	S3	Moderadamente Apto	1.84	1.15	0.46	11350.00
5	HRVms	Vms	Muy Marginalmente Apto	0.61	0.38	0.15	39300.00
6	HRN	N	No Apto	0.53	0.33	0.08	761.70

**Fuente:** Elaboración propia según FAO. 1997

### 5.15. Planificación de uso de tierras

La Planificación de Uso de Tierras en límites de la subcuenca hidrográfica, tiene como basa esquemático la *Planificación de Manejo Integrado de Cuencas (MIC)*, propuesto por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2003), desglosándose en seis pasos (Figura 16).

**Figura 16.** Esquema proceso de planificación MIC



Fuente: PNUMA (2003)

Los seis pasos son desarrollados de la siguiente manera:

**5.15.1. Niveles de intervencion.** Se han definido dos niveles de intervencion, con criterios conjuncionados del (PLAMACH-BOL, 1997) y de la (OIERN-NRENA, 2003) a estudio semidetallado (escala 1:250 000) son: los límites políticos administrativos de las Provincias a nivel de subcuenca y el territorio Municipal a nivel de microcuencas.

**5.15.2. Propósito de la planificación.** La Planificación de uso de tierras, tiene el propósito de ordenar los espacios agrícolas en la subcuenca “sector” con tierras de acuerdo a su aptitud, comprometidas con los límites interprovinciales e intermunicipales (OEA, 2002) y (PLAMACH-BOL, 1997).

**5.15.3. Inventario de recursos.** Los recursos de tierras agrícolas productivas, fueron inventariados según su aptitud para siete cultivos selectos según su importancia económica y seguridad alimentaría, a través de la ZAE (FAO, 1997), estos son: maíz, café, arroz, banano, cítricos, hortalizas (tomate, locoto, zapallo) y cacao. Los resultados obtenidos han permitido identificar los espacios agrícolas incluyendo sus ubicaciones geográficas, superficie y los rendimientos agronómicos (FAO, 1994). A nivel subcuenca y microcuenca los espacios agrícolas definidos son (Tablas 36):

- Las subcuenca “sector” posee tierras mayormente muy aptas para el *cultivo de café y cítricos (limón)*. El cultivo de café ocupa una superficie de 72779.0 ha, con rendimientos de 8.80 qq/ha, 7.04 qq/ha y 5.28 qq/ha con insumos altos, medios y bajos respectivamente; y el cultivo de limón ocupa 15931.80 ha con rendimientos de 13.03 qq/ha 10.42 qq/ha y 7.80 qq/ha con insumos altos, medios y bajos respectivamente. Indicándonos que la subcuenca “sector” es productora principal de café y cítricos, limón principalmente.
- Las tierras muy aptas para cultivar maíz, se encuentran ubicadas en las microcuencas: Río Irpachurqui (q), Arroyo Agua Clara (o) y Arroyo Nogalani (r), convirtiéndolas en mayores productores de maíz del sector.
- Las tierras muy aptas para el cultivo de café, se encuentran ubicadas en las microcuencas: Arroyo Chispani (h), Arroyo Lerco (j) y Río San Fernando (ll), convirtiéndolas en mayores productores de café del sector.
- Las tierras muy aptas para cultivar de arroz, se encuentran ubicadas en las microcuencas: Río San Fernando (ll), convirtiéndolas en mayores productores de arroz del sector.
- Las tierras muy aptas para cultivar de banano, se encuentran ubicadas en las microcuencas: Arroyo Lerco (j), Arroyo San Fernando (k). Río San Lorenzo Chico (l), Río San Fernando (ll), Arroyo Tigre (m), Río San Lorenzo (n), Río Eva Eva (p) y Arroyo Nogalani (r), convirtiéndolas en mayores productores de banano del sector.
- Las tierras muy aptas para cultivar de cítricos (limón), se encuentran ubicadas en las microcuencas: Río San Lorenzo (n), Río Irpachurqui (q), Arroyo Agua Clara (o) y Arroyo Nogalani (r), convirtiéndolas en mayores productores de cítricos del sector.
- Las tierras muy aptas para cultivos hortícola (tomate), se encuentran ubicadas en las microcuencas: Arroyo Mal Paso Grande (f), Arroyo Chispanito (g), Arroyo Chispani (h), Río San Fernando Chico (i), Arroyo Lerco (j), Arroyo San Fernando (k), Río San Lorenzo Chico (l), Río San Fernando (ll), Arroyo Tigre (m), Río San Lorenzo (n), y Río Irpachurqui (q), convirtiéndolas en mayores productores de hortalizas del sector.
- Las tierras muy aptas para cultivar cacao se encuentran ubicadas en las microcuencas: Arroyo Mal Paso Grande (f), Arroyo Chispanito (g), Arroyo Chispani (h), Río San Fernando Chico (i), Arroyo Lerco (j), Río San Lorenzo Chico (l) y Río San Lorenzo (n), convirtiéndolas en mayores productores de cacao del sector.

**Tabla 36.** Espacios agrícolas a nivel de microcuencas.

<b>Id</b>	<b>Cod-Cultv</b>	<b>Cod-Apt</b>	<b>Aptitudes</b>	<b>Max-Rnd</b>	<b>Ins-Interm</b>	<b>Poco-Ins</b>	<b>Cod. Microcuencas Espacios agrícolas</b>
<b>CULTIVO DE ARROZ</b>			<b>(qq/ha.)</b>				
1	AAS1	S1	Muy Apto	10.01	6.25	2.50	ll
2	AAS2	S2	Apto	8.01	5.00	2.00	a
3	AAS3	S3	Moderadamente Apta	6.00	3.75	0.94	f. h. j. ll
4	AAVms	Vms	Marginalmente Apto	2.00	1.25	0.50	h. f. j. ll
5	AAS4	S4	Muy Marginalmente Apto	4.00	2.50	0.63	-
6	AAN	N	No Apto	0.50	0.31	0.13	c. e. g. i. h. l. m. n. ñ. o. p. q. r
<b>CULTIVO DE BANANO</b>			<b>(qq/ha.)</b>				
1	BBS1	S1	Muy Apto	5.95	3.72	1.49	j. k. l. ll. m. n. p. r
2	BBS2	S2	Apto	4.76	2.98	1.19	a
3	BBS3	S3	Moderadamente Apto	3.57	2.23	0.89	a. b. c. d. e
4	BBS4	S4	Marginalmente Apto	2.39	1.49	59.00	f. g. h. i. ll. n. p. r
5	BBVms	Vms	Muy Marginalmente Apto	1.19	0.74	0.29	o
6	BBN	N	No Apto	0.29	0.15	0.07	-
<b>CULTIVO DE CACAO</b>			<b>(qq/ha.)</b>				
1	CCS1	S1	Muy Apto	9.77	6.10	2.44	f. g. h. I. j. l. n
2	CCS2	S2	Apto	7.81	4.90	1.95	a. b. c. d. e
3	CCS4	S4	Muy marginalmente Apto	3.91	2.44	0.98	a
4	CCS3	S3	Marginalmente Apto	5.87	3.67	1.45	f. g. h. i. j. k. l. ll. n. o. q
5	CCVms	Vms	Muy Marginalmente apto	1.95	1.19	0.12	m. ñ. p. r
6	CCN	N	No Apto	0.45	0.30	0.12	-
<b>CULTIVO DE CAFÉ</b>			<b>(qq/ha.)</b>				
1	FFS1	S1	Muy Apto	8.80	5.50	2.20	h. j. ll
2	FFS2	S2	Apto	7.04	4.40	1.76	e. f. h. g. j. k. ll. i. m. ñ. o. p. q. r
3	FFS3	S3	Moderadamente Apto	5.28	3.30	1.32	E. f. h. g. j. k. ll. i. n. o. q. p. n
4	FFS4	S4	Marginalmente Apto	3.52	2.20	0.88	b. d. e. c
5	FFVms	Vms	Muy Marginalmente Apto	1.76	1.10	0.44	a
6	FFN	N	No Apto	0.44	28.00	0.11	-
<b>CULTIVO DE CITRICOS</b>			<b>(qq/ha.)</b>				
1	CTS1	S1	Muy Apto	13.03	8.14	3.26	n. o. q. r
2	CTS2	S2	Apto	10.42	6.51	2.61	f. g. h. I. j. k. l. ll. m. n. ñ. p. q. r
3	CTS3	S3	Moderadamente Apto	7.80	4.88	1.95	f. g. h. I. j. k. l. ll. m. ñ. p. q. r
4	CTS4	S4	Marginalmente Apto	5.21	3.25	1.30	a
5	CTVms	Vms	Muy Marginalmente Apto	2.60	1.63	0.65	a. b. c. d. e
6	CTN	N	No apto	0.07	0.04	0.02	-
<b>CULTIVO DE MAIZ</b>			<b>(qq/ha.)</b>				
1	ZZS1	S1	Muy Apto	10.27	6.42	2.57	q. o. r
2	ZZS2	S2	Apto	8.22	5.14	2.06	a
3	ZZS3	S3	Moderadamente apto	6.16	3.85	1.54	ñ. o. q
4	ZZS4	S4	Marginalmente Apto	4.11	2.57	1.03	h. j. ll
5	ZZVms	Vms	Muy Marginalmente Apto	2.05	1.28	0.51	b. c. d. e. f. g. i. e. m. ñ. p
6	ZZN	N	No apto	0.51	0.32	0.13	k
<b>CULTIVO DE HORTALIZAS</b>			<b>(qq/ha.)</b>				
1	HRS1	S1	Muy Apto	3.06	1.91	0.77	f. g. h. i. j. k. l. ll. m. n. q
2	HRS2	S2	Apto	2.44	1.53	0.61	a
3	HRS4	S4	Marginalmente Apto	1.21	0.76	0.30	n. p. q. r
4	HRS3	S3	Moderadamente Apto	1.84	1.15	0.46	n. p. r
5	HRVms	Vms	Muy Marginalmente Apto	0.61	0.38	0.15	a. b. c. d. e. i. p
6	HRN	N	No Apto	0.53	0.33	0.08	-

**Fuente:** Elaboración propia

**5.15.4. Estrategia de la planificación.** La estrategia de la Planificación radica en la integración de la Zonificación Agroecológica (ZAE), con Sistemas de Información Geográfica (SIG) e Interpretación Imagen Satelitales (ISAT), los resultados obtenidos a través de la integración, nos han permitido generar información útil y cartografía (SGI, 1998) y (Ordóñez, 1995).

Utilizando los Sistemas de Infamación Geográfica (SIG), fueron definidos los aspectos geopolíticos y territoriales, de los niveles de intervencion de la planificación con las siguientes características:

1. **La jurisdicción político administrativo de la provincia, nivel de la subcuenca “sector”.** Están conformadas por las provincias de: Caranavi, Sud Yungas y Nor Yungas, compartiendo la superficie de la subcuenca “sector” en 4569.95 Ha 42893.9 ha. y 124.95 ha. respectivamente.
2. **El territorio de la subcuencas hidrográfica.** Presenta tres divisiones de acuerdo a sus aspectos físicos y climáticos, según **(OIERN- NRENA, 2003)** estas divisiones se efectúan con la finalidad de manejar los recursos hídricos y suelos. La división distingue una parte alta, media y baja, dependiendo de sus características de relieve, altura y aspectos climáticos. Las tres divisiones mantienen una relación por las siguientes razones practicas, si se deforesta la parte alta, el acopio de agua de precipitación va disminuir con consiguiente secamiento de los suelos de la parte media; si se utiliza agroquímicos y plaguicidas en forma irracional en la parte media, trae como consecuencia la contaminación de las aguas, que deben aprovecharse aguas abajo; Las obras físico mecánicos en la parte baja son muy importantes para estabilizar el cause del Río principal, para mantener el área de drenaje en buen funcionamiento (Mapa 20). Las características de las tres divisiones para la subcuenca hidrográfica “sector” son las siguientes (Tabla 37).

**Tabla 37.** División De La Subcuenca De Acuerdo A Sus Aspectos Físicos y Climáticos

División	Geomorfológica	Colb. Veg.	PP. (mm)	Temp. (°C)	Topo. (%)	Alt. (msnm)	Sup. (ha.)
Parte alta	Serranía alta con cimas elongadas y angulares	Bosque denso siempre verde umbrofilo montano arraigado y Herbáceo graminosa baja de estación montano arraigado	1680 a 1700	19 a 20	85 a 100	1600 a 2000	37603.6
Parte media	Serranías medias y Colinas medias bajas con cimas angulares. redondeadas	Bosque ralo barbecho semideciduo montano arraigado	1580 a 1600	20 a 22	55 a 85	1200 a 1600	36813.6
Parte baja	Serranía bajas con cimas redondeadas y terrazas fluviales	Antrópico cultivos barbechos arraigado	1480 a 1500	22 a 23	35 a 55	800 a 1200	1099.6
<b>TOTAL:</b>							<b>88710.8</b>

**Fuente:** Elaboración propia basada en **(OIERN- NRENA, 2003)**

3. **El territorio municipal, nivel de microcuencas.** Comprende los municipios y comunidades de: Caranavi que ocupa una superficie de 45691.95 ha con sus comunidades de Puerto Rico. Nueva Llusta. Pto. Boopi. Ramal Bolívar y Chuma; La Asunta que ocupa una superficie de 38411.95 ha con sus comunidades de San Juan de Cotapata. San Pablo. Pto. San Pablo. Agua Clara. Sta. Teresita. Los Olivos y Pichari; Palos Blancos que ocupa una superficie de 4481.95 ha con sus comunidades de Playa Ancha. y Pto. Carmen; y Coripata que ocupa una superficie de 124.95 ha no conforma ninguna comunidad. La subcuenca “sector” tiene una superficie de 88710.8 ha, con 1696 familias asentadas en 22 microcuencas.

4. **El territorio de la microcuenca hidrográfica.** Presenta conformaciones de “*zonas productoras*” con las siguientes microcuencas, solo con tierras de aptitud S1, S2 y S3 (Tablas 36).
- Zona productora de maíz, conformada por las microcuencas: Río Irpachurqui (q), Arroyo Agua Clara (o) y Arroyo Nogalani (r).
  - Zona productora de café, conformada por las microcuencas: Arroyo Chispani (h), Arroyo Lerco (j) y Río San Fernando (ll).
  - Zona productora de arroz, conformada por las microcuencas: Río San Fernando (ll), convirtiéndolas en mayores productores de arroz del sector.
  - Zona productora de banano, conformada por las microcuencas: Arroyo Lerco (j), Arroyo San Fernando (k), Río San Lorenzo Chico (l), Río San Fernando (ll), Arroyo Tigre (m), Río San Lorenzo (n), Río Eva Eva (p) y Arroyo Nogalani (r).
  - Las tierras muy aptas para cultivar de cítricos (limón), conformada por las microcuencas: Río San Lorenzo (n), Río Irpachurqui (q), Arroyo Agua Clara (o) y Arroyo Nogalani (r), convirtiéndolas en mayores productores de cítricos del sector.
  - Zona productora de hortalizas (tomate), conformada por las microcuencas: Arroyo Mal Paso Grande (f), Arroyo Chispanito (g), Arroyo Chispani (h), Río San Fernando Chico (i), Arroyo Lerco (j), Arroyo San Fernando (k), Río San Lorenzo Chico (l), Río San Fernando (ll), Arroyo Tigre (m), Río San Lorenzo (n), y Río Irpachurqui (q).
  - Zona productora de cacao, conformada por las microcuencas: Arroyo Mal Paso Grande (f), Arroyo Chispanito (g), Arroyo Chispani (h), Río San Fernando Chico (i), Arroyo Lerco (j), Río San Lorenzo Chico (l) y Río San Lorenzo (n).

#### 5.15.5. Evaluación de la estrategia

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), han generado información útil y cartografía, para los dos niveles de intervención o escenarios de la planificación de uso de tierras, llegando a los siguientes resultados:

- Las jurisdicciones político administrativas de la Provincia esta representada por las provincias de Caranavi, Sud Yungas y Nor Yungas.
- Los límites políticos administrativos en general no concuerdan con los límites naturales de la subcuenca “sector”, al contrario las dividen, situación que generarían desarmonización en uso de tierras, por otra parte la intervención separada de uso de tierras de los municipios para la

agricultura, pueden provocar un desequilibrio y determinar un empobrecimiento general en la subcuenca, por que no siempre coinciden en objetivos de uso de tierras, en este caso se deberá hacerse esfuerzos para impedir esta situación, por medio de un ***acuerdo político mancomunado*** a nivel de autoridades provinciales, para efectivizar el uso de tierras e integrar procesos de planificación microregionales (microcuencas).

Las apreciaciones expuestas anteriormente, están demostrando que la Subcuenca Hidrográfica (nivel Provincial), es mas valido como ***unidad de concertación y de representaciones*** para usar la tierra. Para que las provincias efectivamente usen la tierras en sus municipios sin romper el sistema ecológico, Por vulnerabilidad de tierras sometidas a acciones antropicas, se ha identificado tres divisiones en la subcuenca “sector” que son: alta, media y baja, según sus factores físicos y climatología (**OIERN-NRENA, 2003**), para que las actividades productivas tengan establecidas los limites permisibles para usar la tierra adecuadamente, sin consiguiente alteración del medioambiente, y constituya la base territorial demarcada con limites conocidos y concertados a nivel provincial para generar la política de manejo y conservación de tierras agrícolas y de agua a nivel de provincia (subcuenca).

En cambio con referencia a las microcuenca hidrográficas (nivel Municipal), se muestran como ***unidades de uso de tierras desde el punto de vista técnico y social***. por las siguientes razones practicas:

- El conocimiento de los vecinos entre si, lo que facilita la planificación, disposición y construcción de cualquier obra física que se extiende de una propiedad a otra.
- Cuando un grupo de agricultores maneja una porción importante de una microcuenca, obteniendo mejoramientos conjuntamente, la población que vive corriente abajo percibe los efectos de mejoramientos significativos en la hidrología de la superficie.
- Cuando una porción significativa de la cuenca se ha beneficiado con el manejo mejorado se puede utilizar dicha área como una valiosa demostración visual para las personas de afuera.

#### **5.15.6. Diseño final de la planificación.** Tiene dos niveles o escenarios:

- a) La Subcuenca “sector” se constituye en la ***unidad de concertación y de representaciones a nivel provincial***, para conformar ***una mancomunidad provincial*** de: Caranavi, Sud Yungas y Nor Yungas, constituyan una autoridad de subcuenca “sector” Río Boopi, para que en el marco de la concertación y equidad, orienten a usar la tierra según su aptitud y agua para la producción agrícola. Sobre la base de la división de la subcuenca, según sus aspectos físicos y climáticos



(OIERN-NRENA, 2003), la autoridad debe concertar normativas técnica de uso de tierras agrícolas y agua (manejo, conservación, recuperación), con los siguientes criterios:

- **Parte alta de la subcuenca sector.** La normativa debe ser sujeta a severas limitaciones o peligros en su uso de tierras con pendientes muy escapados (>55 %), erosionables, superficiales. Deben mantenerse la cobertura boscosa con exclusión total del ganado, prevención contra incendios. Por otro lado deben ser tierras utilizadas para vida silvestre, recreación o para protección de las cabecera de la subcuenca, en una superficie de 37603.6 ha. de la subcuenca “sector”, que equivale al 42 % de la superficie total.
  - **Parte media de la subcuenca sector.** La normativa debe ser sujeta a limitaciones severas en la opciones de en su uso de tierras con pendientes escapados (25 a 55 %), estos deben estar bajo un sistema de manejo agroforestal. Incluyendo practicas de rotaciones de cultivos, la conservación de suelos con frecuencia deben ser a través de obras fisicomecamicos para evitar la erosión hídrica, en una superficie de 36813.6 ha. de la subcuenca “sector”, que equivale al 41 % de la superficie total.
  - **Parte baja de la subcuenca sector.** La normativa debe promover cultivos agrícolas itinerantes en rotación, incluyan prácticas de manejo y conservación de suelos con mas frecuencia. El grado de incremento de los peligros a las inundaciones por desbordamiento del Río principal, que provocan perdidas en los cultivos y asentamientos humanos deben ser consideradas seriamente, en una superficie de 1099.6 ha. de la subcuenca “sector”, que equivale al 17 % de la superficie total.
- b) La microcuenca hidrográfica comprenden las *unidades de uso de tierras desde el punto de vista técnico y social organizativa*. Las tierras con aptitud S1, S2 y S3 (muy apto, apto y moderadamente apto), de las microcuencas se usan para conformar “Zonas Productoras”, con siete cultivos selectos que son: maíz, café, arroz, banano, cítricos, hortalizas (tomate, locoto, zapallo) y cacao, incluyendo bajos, intermedios y altos insumos agrícolas para su producción. La “Zonas Productoras” por su importancia económica y seguridad alimentaría, son la base organizativa para la elaboración de Proyectos de manejo y conservación de suelos, medio ambiente, industrialización, producción agrícola, capacitación tecnológica etc.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

Se ha considerado a la cuenca hidrográfica como la unidad para la planificación de uso de tierras, coincidiendo con los criterios técnicos de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (**PNUMA**), La Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales de la república del Perú (**OIERN-NRENA**) y el Plan Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas de Bolivia (**PLANACHBOL**), coincidiendo que la “cuenca es la unidad que mejor se ajusta a los propósitos de la planificación territorial, por formar sistemas hidrológicos y ecológicos coherentes”. Bajo el marco conceptual la Zonificación Agroecología (ZAE), se ajusta a la realidad de la subcuenca “sector” por las siguientes razones:

- En la evaluación de la tierra se considera los factores de: suelos, precipitación, temperatura, radiación solar, cobertura vegetal, geomorfología y socioeconómicos.
- Se caracteriza a la tierra por medio de unidades pequeñas (CEAS), que tienen características similares relacionadas con la aptitud de tierras, la producción potencial y el impacto ambiental.
- La información y datos recabados para la ZAE en la subcuenca “sector” en visita de campo, e interpretación de la imágenes satelitales en gabinete, demuestran ser coherentes el suelo, el clima y la cobertura vegetal en resultados finales obtenidos.

Los criterios asumidos para la delimitación de la subcuenca, es debido a las pocas instituciones dedicadas a las este trabajo en nuestro medio. Por esta causa se conjuncionaron los criterios de la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales de la república del Perú (**OIERN- NRENA**) con el Plan Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas de Bolivia (**PLANACBOL**). Un primer criterio que se tomo fue la clasificación de la cuenca por su *grado de concentración de la red de drenaje*, tiene cinco clases: Gran Cuenca. Cuenca. Subcuenca. Microcuenca y Quebrada. Para escala de trabajo se divide en: mayores y menores. La divisiones menores fueron tema de estudio para definir la escala de trabajo, que corresponde a semidetallado (1:250.000) a niveles de Subcuenca y Microcuenca; y un segundo criterio corresponde a un análisis *geopolítico y parte-agua*, donde la jurisdicción administrativa de la subcuenca es la provincia y del municipio la microcuenca, para ajustar los límites de la subcuenca y microcuencas se asumieron el criterios de *parte-aguas*. La idea de conjuncionar ambos criterios tiene dos propósitos una fue explicada anteriormente y la otra obedece a la información socioeconómica que requiere la ZAE para ser evaluada. Los límites de la subcuenca Río Boopi según *parte-aguas*, demostró ser un “sector” de la subcuenca Río La Paz-Boopi con una superficie de 88710.80 ha. con 22 microcuencas; con jurisdicción provinciales de: Caranavi. Sud Yungas y Nor Yungas; y municipios de: Caranavi. Palos Blancos. La asunta y Coripata; con 15 comunidades y 1696 familias asentadas.

El presente trabajo de investigación se orientó al estudio sistemático de la Zonificación Agroecología (ZAE) propuesta por la **FAO**. en 1997, en síntesis la metodología consiste esencialmente en: inventariación de la geomorfología, suelos, zonas de precipitación, zonas térmicas, zonas de distribución de la radiación solar, zonas de duración de periodo de crecimiento y tipo de utilización de tierras. Los resultados de la inventariación de factores, permiten inventariar los recursos de tierra por medio de la evaluación de células agroecológicas (CEAS) unidades pequeñas que llevan datos de los factores. Los recursos de tierra de acuerdo a su aptitud son determinado por medio de un adecuamiento entre tierra-cultivos y el calculo del rendimiento potencial (tasa de acumulación de biomasa) y un arreglo sistemático normativo propuesto por **FAO**. en 1994.

La idea de integrar la ZAE-SIG-ISAT, es como consecuencia de la manipulan de gran cantidad de información y datos geográficos referenciados; y la obtención de resultados de alta precisión para la planificación de uso de tierras, por lo que se dio mayor énfasis en los pormenores de la de utilización de las herramientas informáticas a si como del su funcionamiento. Llegando a la siguientes conclusiones:

- Las imágenes Landsat (TM) es el medio practico para adquirir información geográfica aprovechable, por su formato digital, alta resolución espectral y por ser económicos.
- Para estudios de escala semidetallada es suficiente una imagen Landsat (TM-7), con resolución espacial de 30 x 30 de píxel para generar cartografía a escala 1:250 000.
- Las unidades geomorfológicas interpretados con combinación de bandas (4R.5G.2B) en la imagen satelital, dan testimonio de la buena sensibilidad a la rugosidad de los suelos (en color sepia), en tanto los caminos, asentamientos humanos y las masas de agua son muy visibles. El blanco pálido y blanco azulado sustancialmente son suelos inundados y erosionados respectivamente.
- Las unidades cartográficas de suelos se interpretaron con la combinación de bandas (4R.5G.7B) en la imagen satelital, dan testimonio de suelos con agricultura en color azul pálido; sin agricultura en coloración café oscuro; suelos sujeto a inundación en color plomo pálido; afloramientos rocosos en color anaranjado oscuro y amarillo pálido; son muy perceptibles la erosión hídrica en cárcavas en color azulado y quemas de bosques color plomo.
- Para inventariar la cobertura vegetal se combinó las bandas (3R-2G-1B) de la imagen satelital, que da pruebas de la buena sensibilidad a la cobertura vegetal (en color rojizo), en tanto que los bosques densos y bien conformados se ven en color rojo oscuro; los barbechos en color rojo claro; caminos en color rosado; cultivos color plomo rojizos y las masas de agua son muy visibles en color negro cuando son profundos y color plomo cuando hay presencia de sedimentos finos en

suspensión, coloración rojo amarillento deposito de sedimentos gruesos en las orillas; y el rojo azulado son pastos.

- Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) por su versatilidad en los procedimientos lógicos que efectúa, ha permitido analizar cuantitativamente cada espacio geográfico mapeado, con respecto a su límites, superficie, clima, suelos, geomorfología, intervención antropica, poblaciones, cultivos, caminos, ríos y arroyos.
- Los procedimientos de “union two themes” (suma de capas con información geográfica), las operaciones “dissolve feature based on an attribute” (unión de capas con información geográfica) y la opción “Query..” y “SQL” del lenguaje estandarizado con un SIG, han demostrado ser las operaciones mas aplicadas para obtener los mapas temáticos y por defecto su correspondiente base de datos para la ZAE.
- Se obtuvieron zonas climatológicas, basada en la interpolación sobre la base de polígonos de Thiessen, en un SIG esencialmente fue unir puntos con valores iguales, similar a la determinación de las curvas topográficas, pero en este caso los valores son climáticos.

La imagen satelital Landsat (TM-7) interpretada, distingue que la subcuenca “sector” esta comprendida por las provincias fisiográficas de la Cordillera Oriental y el Subandino Norte, separadas ambas por sus características geomorfológicas, suelos, cobertura vegetal y los grados de intervención antropica.

La geomorfología en la cordillera oriental presentan serranía alta, medias, bajas; con cimas angulares, elongadas y amplias; colinas medias bajas; y terrazas fluviales antiguas y nuevas, con moderada, media y alta disección; divisoria de aguas muy bien visibles; pendientes abruptas (50 a mas de 100 %); con una altitud de 800 a 2000 msnm. Geológicamente formada por rocas del Ordovícico. Silúrico. Devónico y cuaternaria; principalmente constituidas por areniscas, lutitas y arcillas, sujeta a procesos de remoción en masas y erosión fluvial y sedimentos finos. El drenaje es subparalelas a dendrítico; y en el Subandino Norte presentan serranías y colinas altas, medias y bajas con cimas amplias y redondeadas angulares; disección moderada; divisoria de aguas discernibles; pendientes moderados a abruptas (35 a mas de 100 %), con cicatrices de deslizamientos y derrumbes, control estructural con plegamiento paralelo; con una altitud de 900 a 1200 msnm. Geológicamente formada por rocas sedimentarias paleozoicas, mesozoicas y terciarias, constituida por areniscas, margas, calizas y arcillas, erosión laminar y en cárcavas moderadas, drenaje detrítico a subparalela.

La cobertura vegetal en la Cordillera Oriental es heterogenia, con especies de árboles y arbustos siempre verdes, en algunas zonas semidecídúos, también presentan arbustos y herbáceos gramíneas bajas.

Las especies nativas con mayor presencia son: *Brumellia boliviana* (cedrillo), *Almus acuminata* (Aliso) y *Gunnera magellanica* (Kirusilla), *Juglans boliviana* (Nogal). *Cederla lilloi* (Cedro) y *Ceroxylon pytirophyllum* (Palmera de altura). La importancia de la cobertura vegetal en sus formas arbóreas, arbustivas y herbáceas graminoides, es la protección del suelo. interceptadora de agua de lluvia y mantener el caudal del Río Boopi.

Los suelos la Cordillera Oriental, son superficiales a poco profundos, con texturas medianas a finas y presencia de fragmentos rocosos, ligeramente ácidos y moderadamente fértiles, que corresponden a los subórdenes Orthents, Tropepts, Ochrepts y Fibrits; y en el Subandino Norte son poco profundos a profundos, con textura medias a finas y presencia de fragmentos rocosos; Ácidos a muy ácidos y baja fertilidad, que corresponden a los subórdenes: Orthents, Tropepts, Fluvent y Usdoll. Las limitaciones que presentan los suelos en general son: las fuertes pendientes que incrementan los riesgos de erosión y deslizamiento y la baja capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, presencia de fragmentos rocosos y material parental a poca profundidad.

Los grados de intervención antropica, (cobertura y uso actual de la tierra), reflejados en los Tipos de Utilización de Tierras (TUT) presentan Reservas Forestales de Inmovilización de la “Cuenca del Río Boopi” y Zona Forestal de Reserva Fiscal de las “Serranía de Bella Vista”, con superficie de 54247.00 ha. comprende el 61.15 % de la subcuenca. Los TUT en bosque montano intervenido por la tala selectiva de madera sin programas de repoblamiento de las especies extraídas. Los métodos de tala y la fuerza empleada es artesanal, tiene una superficie de 14523.8 ha. comprende el 16.4 % de la subcuenca; y los TUT con agricultura esta basado en la mano de obra únicamente. El capital utilizado es muy reducido, el conocimiento técnico es moderado y bajo, las prácticas culturales dependen del conocimiento tradicional. La agricultura es migratoria de subsistencia. Tiene una superficie de 19915.60 ha. comprende un 22.45 % del territorio de la subcuenca. La descripción de los TUTS para la ZAE tiene la finalidad de reforzar los conocimientos de la situación socioeconómico de la subcuenca.

Se han localizado las estaciones meteorológicas del área de influencia de la subcuenca, para evaluar las zonas de precipitación, térmicas y duración periodo de crecimiento, las estaciones son: Arcopongo. La Asunta, Caranavi, Sapecho y Covendo, con datos históricos climatológicos de 15 años, y sobre ellas se aplico el método de poligonización de Thiessen, se generaron isolineas y polígonos (zonas) con análisis básicas en SIG.

Se ha determinado 12 zonas de precipitaciones, que van desde 1480 a 1690 mm promedio anual. Las zonas de precipitación describen en la ZAE, para saber el régimen de disponibilidad de agua para el

crecimiento de los cultivos durante el periodo de crecimiento. Definidos generalmente en base a los rangos de promedio anual.

Se ha determinado 13 zonas térmicas, que van desde 19 a 25 °C promedio anual. Las zonas térmicas se describen en la ZAE, para definir el régimen de temperaturas disponibles para el crecimiento de los cultivos durante el periodo de crecimiento. Definidos generalmente en base a los rangos de promedio anual.

Se ha determinado 16 zonas de duración de periodo de crecimiento (DPC), que va desde 265 a 340 días. Los DPC para la ZAE son los parámetros importantes en la evaluación de recursos agroclimáticos para una región, determinado por la disponibilidad de agua y temperatura favorables para el desarrollo y producción de cultivos.

La inventariación de recursos tierra fueron sobre la base de las células agroecológicas (CEAS), definidas como combinaciones única de: geomorfología, suelo, cobertura vegetal, zonas térmicas, zonas de precipitación y Periodo de Duración de Crecimiento. Se considera en la ZAE a las CEAS como la unidad básica de referencia para el análisis biofísico y climático de la tierra. Se obtuvieron las CEAS considerando la integración de la ZAE con los SIG. las capas de geomorfología, suelo, cobertura vegetal, zonas térmicas, zonas de precipitación y Periodo de Duración de Crecimiento, fueron unidos (sumados) en SIG mediante la opción “geoprocessing wizard...” y “union two themes”. Se determino que la subcuenca Hidrográfica Sector-Río Boopi posee 2323 CEAS. El inventario de recursos de tierras es esencialmente una superposición de información de suelo y clima.

La aptitud de tierras se determino en dos pasos sucesivos: La comparación de los factores que incluye la tierras con los requerimientos de adaptabilidad de los cultivos (llamado adecuamiento) y el calculo del rendimiento agronómico potenciales (llamado tasa de acumulación de biomasa neta).

- El adecuamiento consiste en coincidir valore de agroclimáticos y agroedáficos de la tierra y valores de adaptabilidad de cultivos, ante las limitaciones que tiene la tierra para mantener al cultivo en términos físicos y climáticos.

El adecuamiento en SIG se realiza sobre la consultas a la base de datos de las Células Agroecológicas (CEAS) a través de la opción “Query..” y “SQL” del lenguaje estandarizado de los SIG, tomando en cuenta los rangos de adaptabilidad del cultivo seleccionado. Los resultados se obtuvieron en tablas o “report” con valores alfanuméricos de cada CEA involucrada y su respectivo mapa temático.

- El cálculo de la tasa de acumulación de biomasa neta o rendimiento potencial agronómico, depende de la radiación solar, la especie vegetal y la ubicación geográfica, la finalidad es determinar el rendimiento potencial de los cultivos en (qq/ha) en condiciones naturales, y sobre los resultados influir tres situaciones de uso de insumos altos, medianos y bajos para la producción agrícola. Los datos necesarios para su cálculo para el rendimiento potencial son: Grupo de adaptación, ciclo de cultivo, índice de área foliar (IAF), índice de cosecha (IC), ruta fotosintética; velocidad de la fotosíntesis a temperatura diurna (pm), radiación fotosintéticamente activa (Ac), radiación solar (RS), velocidad media producción biomasa días despejados (bc), velocidad media producción biomasa días nublados (bo), fracción del día en que el cielo está cubierto (F). En el trabajo de investigación se ha tenido que calcular la radiación solar (RS) por medio de los grados de nubosidad, por que las estaciones meteorológicas del área de influencia carecían de esta información. Para distribución de la radiación solar en la subcuenca, se optó por los criterios expuestos en **Villalpando J. 1998** semejante a los polígonos de Thiessen. En los SIG puede constatar que la RS en la subcuenca es de 400 a 470 cal/cm<sup>2</sup>/día. La RS y la ubicación geográfica fueron sumados como factores a las CEAS, para facilitar la clasificación de aptitud de tierra y el cálculo de rendimiento potencial agronómico.

Se clasificó a la tierra de acuerdo a su aptitud, para 7 cultivos seleccionados, ordenados por su importancia económica y seguridad alimentaria son: maíz, café, arroz, banano, cítricos, hortalizas (tomate, locoto, zapallo) y cacao. Para el **cultivo de maíz** las tierras *moderadamente a muy aptas (S1 a S3)* presentan rendimientos con insumos altos 6.6 a 10.27 (qq/ha); 3.85 a 6.42 (qq/ha) con insumos intermedios; y de 1.54 a 2.57 (qq/ha) con pocos insumos, ocupan una superficie de 12918 ha. el 14.5 % de la superficie total de la subcuenca. y de *no a marginalmente apto (N a S4)* presentan rendimientos con utilización de tres niveles de utilización de insumos son < a 1.54 (qq/ha), ocupan una superficie de 75792.8 ha. el 85.5 % de la superficie total de la subcuenca; Para el **cultivo de café** las tierras *moderadamente a muy aptas (S1 a S3)*, presentan rendimientos con insumos altos 5.2 a 8.8 (qq/ha); 3.3 a 5.5 (qq/ha) con insumos intermedios; y de 1.3 a 2.2 (qq/ha) con pocos insumos, ocupan una superficie de 72779 ha. el 82 % de la superficie total de la subcuenca. y de *no a marginalmente apto (N a S4)* presentan rendimientos con utilización de tres niveles de utilización de insumos son < a 2.2 (qq/ha), ocupan una superficie de 15931.8 ha. el 18 % de la superficie total de la subcuenca; Para el **cultivo de arroz** las tierras *moderadamente a muy aptas (S1 a S3)*, presentan rendimientos con insumos altos 6.0 a 10.01 (qq/ha); 3.75 a 6.25 (qq/ha) con insumos intermedios; y de 0.94 a 2.5 (qq/ha) con pocos insumos, ocupan una superficie de 10024.5 ha. el 11.3 % de la superficie total de la subcuenca y de *no a marginalmente apto (N a S4)* presentan rendimientos con utilización de tres niveles de utilización de insumos son < a 0.94

(qq/ha), ocupan una superficie de 78686.3 ha. el 88.7 % de la superficie total de la subcuenca; Para el **cultivo de banano** las tierras *moderadamente a muy aptas (S1 a S3)*, presentan rendimientos con insumos altos 3.57 a 5.95 (qq/ha); 2.23 a 3.72 (qq/ha) con insumos intermedios; y de 0.89 a 1.49 (qq/ha) con pocos insumos, ocupan una superficie de 22018 ha. el 25 % de la superficie total de la subcuenca y de *no a marginalmente apto (N a S4)* presentan rendimientos con utilización de tres niveles de utilización de insumos son < a 0.89 (qq/ha), ocupan una superficie de 66692.8 ha. el 75 % de la superficie total de la subcuenca; Para el **cultivo de limón** las tierras *moderadamente a muy aptas (S1 a S3)*, presentan rendimientos con insumos altos 7.8 a 13.03 (qq/ha); 4.88 a 8.14 (qq/ha) con insumos intermedios; y de 1.95 a 3.26 (qq/ha) con pocos insumos, ocupan una superficie de 72756.2 ha. el 82 % de la superficie total de la subcuenca y de *no a marginalmente apto (N a S4)* presentan rendimientos con utilización de tres niveles de utilización de insumos son < a 1.95 (qq/ha), ocupan una superficie de 15954.6 ha. el 18 % de la superficie total de la subcuenca; Para el **cultivo de tomate** las tierras *moderadamente a muy aptas (S1 a S3)*, presentan rendimientos con insumos altos 1.21 a 3.06 (qq/ha); 0.76 a 1.91 (qq/ha) con insumos intermedios; y de 0.3 a 0.77 (qq/ha) con pocos insumos, ocupan una superficie de 37359 ha. el 42 % de la superficie total de la subcuenca y de *no a marginalmente apto (N a S4)* presentan rendimientos con utilización de tres niveles de utilización de insumos son < a 0.3 (qq/ha), ocupan una superficie de 51351.8 ha. el 58 % de la superficie total de la subcuenca; Para el **cultivo de cacao** las tierras *moderadamente a muy aptas (S1 a S3)*, presentan rendimientos con insumos altos 3.91 a 9.77 (qq/ha); 2.44 a 6.1 (qq/ha) con insumos intermedios; y de 0.98 a 2.44 (qq/ha) con pocos insumos, ocupan una superficie de 21343 ha. el 24 % de la superficie total de la subcuenca y de *no a marginalmente apto (N a S4)* presentan rendimientos con utilización de tres niveles de utilización de insumos son < a 0.9 (qq/ha), ocupan una superficie de 67367.8 ha. el 76 % de la superficie total de la subcuenca. La subcuenca es mayor productora en café y cítricos, según la aptitud de la tierra para estos cultivos.

A estudio de escala semidetallado (escala 1:250 000), la subcuenca “sector” Río Boopi presenta dos niveles de intervención o escenarios para la planificación de uso de tierras, estos son la subcuenca y microcuenca:

**La subcuenca.** Relacionada con el territorio provincial se convierte en la *unidad de concertación y de representaciones a nivel provincial*, para conformar una mancomunidad provincial con autoridad sobre la subcuenca, para establecer la política de uso de tierras por su aptitud para la producción agrícola comercial y de seguridad alimentaria; y la división de la subcuenca según sus aspectos físicos y climáticos, constituya base para la elaboración de la normativa técnica para la utilización de la tierra y agua para el nivel microregional (microcuenca). La subcuenca es la visión integral como sistema, como unidad de análisis



para la planificación, y sobre todo para evaluar efectos o impactos globales, lugar donde se aplica las decisiones tomadas para manejar el uso de tierras y de ella depende la subsistencia de las familias.

**La microcuenca.** Relacionada con el territorio municipal se convierte en la *unidades de uso de tierras desde el punto de vista técnico y social organizativa*, en términos prácticos es donde las familias asentadas utilizan la tierra para la producción agrícola; allí se empieza a valorar los efectos negativos y positivos de la utilizar la tierra. La microcuenca es la visión local como unidad productiva, donde se utiliza la tierra. Para que realmente se utilice la tierra sin romper el sistema hidrológicos y ecológicos coherentes de la microcuenca, cada familia deben conocer las aptitudes de tierras que tiene para la producción comercial y seguridad alimentaría, y demarcarse en la responsabilidad y la sostenibilidad.

### 6.1. Recomendaciones

Se ha tenido dificultades en la investigación sobre la disponibilidad de datos sobre los parámetros de: índice de área foliar (IAF) importantes en la evaluación del crecimiento de las plantas. Los IAF para maíz (5.0), café (3.0), arroz (0.5), banano (9.0), limón (3.0), tomate (3.0) y cacao (3.2) no parecen coincidir con la realidad. Por esta razón se recomienda ajustar los IAF mediante el modelo matemático consiste en considerar el peso (g.) de las hojas para lograr de manera satisfactoria la constante de la ecuación (K), en el modelo  $A = KLB$ ; donde L = longitud de la hoja en cm, B = el punto más ancho de la hoja en toda su longitud en cm. A = área en  $\text{cm}^2$ .

De la misma forma se ha tenido dificultades, sobre la disponibilidad de datos de índice de cosecha. (IC), que es la relación que existe entre el rendimiento de la parte cosechable o rendimiento económico (RE) y la producción de biomasa total del cultivo o rendimiento biológico (RB), el modelo matemático es  $IC = RE/RB$ . El IC, es un indicador de la porción de materia seca producida que es particionada hacia los órganos cosechables (Altube H. Rivata. 1999). Los IC para el maíz (0.4), café (0.49), arroz (0.35), banano (45.0), limón (21.0), tomate (8.1) y cacao (0.7) parecen no coincidir con la realidad.

Los agravos de dificultad de la accesibilidad a las unidades cartográficas, han impedido de gran manera la tona de datos in situ, por esta razón los promedios de taxonomía y de laboratorio, fueron insuficientes para ajustar a la realidad de campo, a pesar de esta falencia se debe considerar en el presente trabajo, los logros obtenidos por la integración de la ZAE-SIG-ISAT y datos georreferenciados recabados de fuentes secundario reducidos, pero suficientes para aclarar las diferentes situaciones de la realidad de campo.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

1. **Altube H. Rivata. 1999.** Método Determinación de los índices de cosecha.. Brasil 166-170 pp.
2. **Aparicio, V. 2000.** Producción integrada en los cultivos hortícola. Santiago. Chile: 12-40 pp.
3. **Business Image Grup y Spot Imagen. 2003.** Guía Objetiva De Imagen Satelitales. Australia. 15 pp.
4. **Chuvieco. E.; Salas. J. 1996.** Mapping the spatial distribution of forest danger using SIG International Journal of Geographical Information Systems. v.10. n.3. 333-345 pp.
5. **Deutsches Zentrum für Luft (DZEL) 2003.** “Aplicación De La Teledetección Y De Los Sistemas De Información Geográfica En La Gestión De Recursos Naturales”. Alemania. 23-46pp.
6. **Dadzie, B. K. y Orchard J. E. 1997.** Evaluación rutinaria postcosecha. de híbridos de bananos y plátanos, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 113- 125 pp.
7. **FAO. 1994.** Directivas: Zonificación Agroecológicas. Roma. 15-25 pp.
8. **FAO. 1990.** “Guidelines For Soil Description”. Roma.
9. **FAO. 1997.** Zonificación Agroecológicas. Boletín de Suelos N° 73. Roma. 1-17 pp.
10. **Faiguenbaum, H. 1990.** Crecimiento y desarrollo de las plantas de maíz. Santiago, Chile 51-75 pp.
11. **Schwab. G. 1990.** “Ingeniería De Conservación De Suelos Y Agua” México. 37-45 pp.
12. **Hernández, M. 1988.** Manual de caficultura Guatemala. Guatemala. 247 pp.
13. **INE. 2001.** Censo Nacional Población Y Vivienda 2001.
14. **INE. 1982.** Mapa de Municipios Departamento de La Paz.
15. **INRA. 2003.** Mapa de Areas Protegidas y Parques Nacionales.
16. **Kassam A.H. 1977.** Net biomass production and yield of crops. Present and Potential Land Use by Agro-ecological Zones Project. AGLS. Rome. FAO. 23-25 pp.
17. **MDSP. 1997.** Plan nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas (PLANACHBOL /FAO/TCP-BOL/6611) La Paz. 1-23 pp.
18. **MDSP. 1999.** Zonificación Agroecológica y Propuesta Técnica del Plan de Uso del Suelo de la Región Amazónica del Departamento de La Paz (BID AMAZONIA/OTRA SGL/CUMAT) La Paz. 13-55 pp.
19. **Miranda E.E. 2002.** Posibles aportes de los Sistemas de Información Geográfica al diseño de sistemas de producción. In: INTERNATIONAL MEETING OF RIMISP. 5. Santiago. Chile: 13pp.
20. **Montenegro, Heitor 1971.** Curso intensivo avanzado de citricultura. El Salvador, 55pp.
21. **OIERN-NRENA. 2003.** Delimitación Y Codificación De Cuencas Hidrográficas Del Perú. Lima. 13-27 pp.
22. **OEA. 2002.** Acuerdo de Asistencia Técnica entre el Gobierno de la República Argentina y la Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos para la Ejecución de un Estudio de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Bermejo y Programación para el Desarrollo. OEA. 18-70 pp.

23. **Ordóñez 1995.** Aplicación de un Sistema de Información Geográfica en la planificación del uso de tierras del Municipio de Alvarado. Bogotá. 15-20 pp.
24. **PROGRAMA ERST. 1982.** Recursos Naturales del Departamento de La Paz. La Paz. 45-113 pp.
25. **PNUMA. 2003.** Calidad Ambiental y Desarrollo de Cuencas Hidrográficas: un Modelo para Planificación y Análisis Integrados. PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) 35 -70 pp.
26. **Sánchez J (1994).** Establecimiento y manejo de cacao con sombra. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 82 pp.
27. **Servicio Geodésico Interamericano (SGI). 1998.** Clasificación Terrestre. Bogota. 45-57 pp.
28. **Villalpando. J. 1988.** “Evaluación De Recursos Climáticos En Bolivia”. La Paz. 15-32 pp.
29. **UNESCO. 1977.** “Clasificación Internacional Y Cartografía De La Vegetación”. Paris. 12-31 pp.
30. **USDA-SMSS. 1982.** Department of Agriculture. Soil Management Support Services. Keys to soil taxonomy. Washington. 1990.
31. **Universidad de Filipinas, Escuela de Agricultura. 1975.** Cultivo del arroz; manual de producción. México, manual de producción. Primera edición. Editorial Limusa, México, DF., México. 426pp.

#### **IMAGEN SATELITAL**

IMAGEN SATELITAL LANDSAT TM. 7 Bandas. Agosto 2003.

#### **CARTOGRAFÍA**

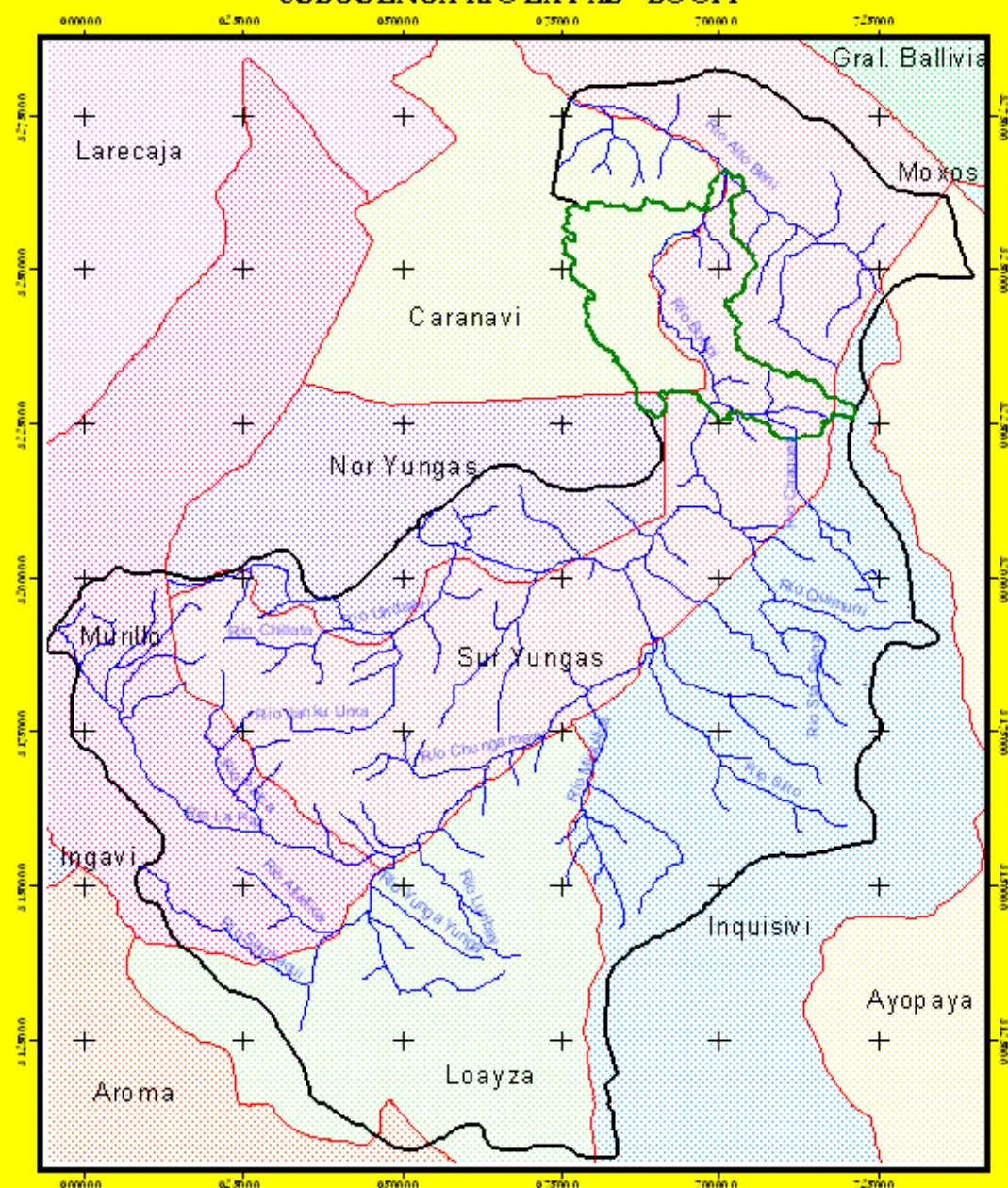
Escala 1:100 000 de la Agencia Americana hojas: 3438; 3395; 3539 y 3439 publicado el año 1996

#### **DATOS CLIMÁTICOS Y COORDENADAS DE UBICACIÓN GEOGRAFICA**

Adquiridos de SNAMHI, estaciones: Arcopongo, Sapecho 1943-81; La Asunta, datos históricos 1973-90; Caranavi, datos históricos 1990-1999; Sapecho, Sapecho 1972-1982; y Covendo datos históricos 1975;77-85

# **ANEXO**

# SUBCUENCA RIO LA PAZ - BOOPI



## LEYENDA A:

Provincial

SECTOR RED:

SECTOR 1 SUBCUENCA RIO LA PAZ

SECTOR 2 SUBCUENCA RIO BOOPI

Rios\_polyline.shp

0 10 km.

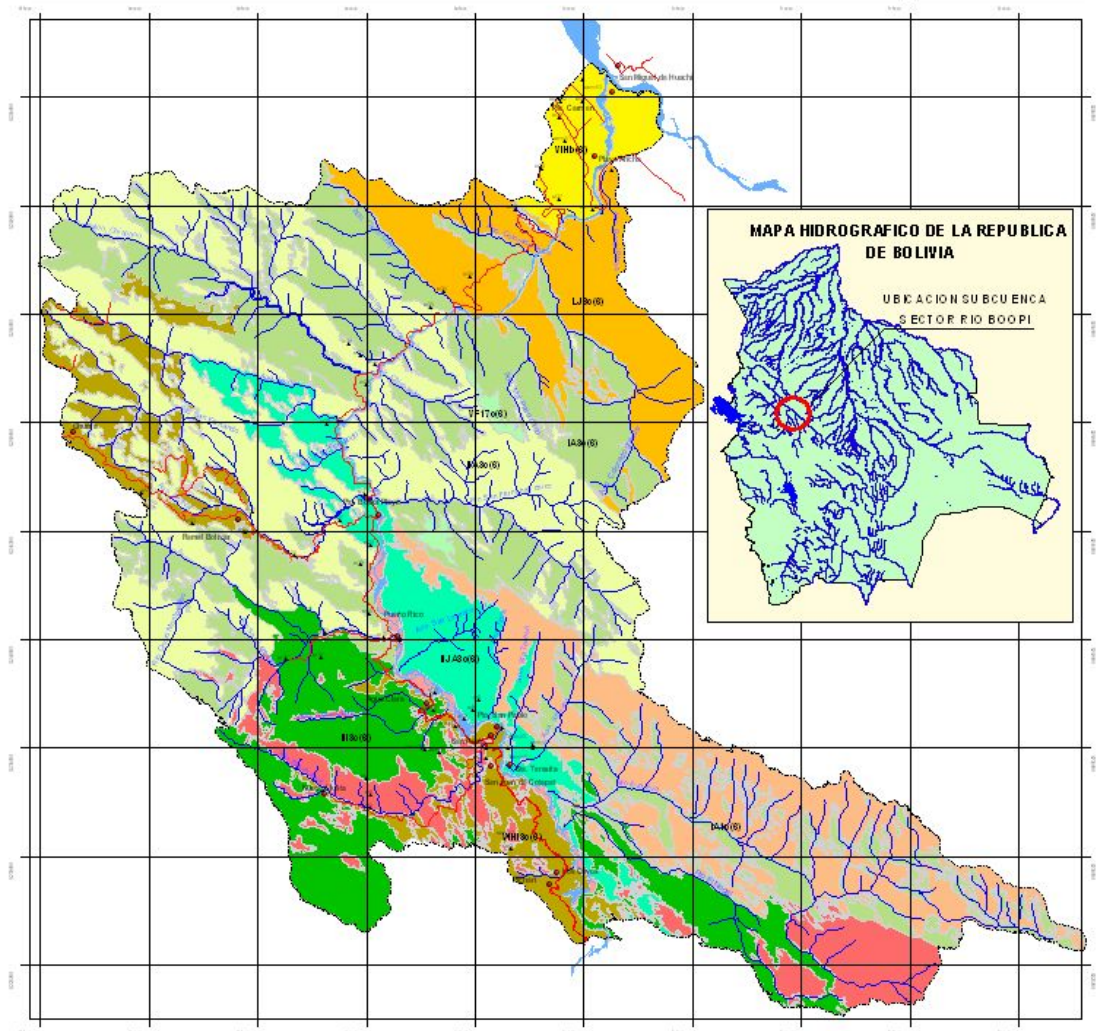
Escala 1:1.000.000





**MAPA DE COBERTURA VEGETAL  
SUBCUENCA HIDROGRAFICA SECTOR RIO BOOPI**

**MAPA N° 4**



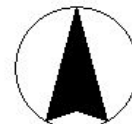
**LEYENDA:**

- Antrópico cultivos barbechos anegado
- Antrópico cultivos submontano anegado
- Bosque denso secundario semideciduo montano anegado
- Bosque denso siempre verde montano anegado
- Bosque denso siempre verde semideciduo montano anegado
- Bosque nido barbecho semideciduo montano anegado
- Bosque nido secundario siempre verde semideciduo montano anegado
- Bosque nido siempre verde semideciduo montano anegado
- Herbáceo gramíneas bajo de estacion montano anegado

**TOPOLOGIA:**

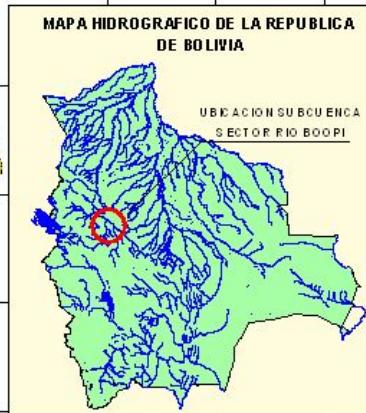
- Centros Poblados
- Puerto
- Ptos. de observación
- Vial
- Rios y arroyos

3 0 3 6 Km.  
Escala 1:250000









PROYECCION: UTM  
ESFERA DE: INTERNACIONAL 1983  
DATUM: SATIS (BOLIVIA)  
ZONA: 19

**MAPA N° 5**

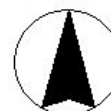


## UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS:

- |   |   |
|---|---|
|  | Cimas y medias y bajas, con cimas angulares y redondeadas |
|  | Piedemonte  |
|  | Serranía alta, con cimas amplias                          |
|  | Serranía medias, con cimas angulares                      |
|  | Serranía altas, cimas amplias                             |
|  | Serranía bajas, cimas amplias                             |
|  | Serranía medias y bajas, con cimas angulares              |
|  | Terrazas aluviales amplias                                |
|  | Terrazas aluviales antiguas y nuevas                      |

SIMBOLOGIA:

-  Centros Poblados  
 Puerto  
 Vial  
 Rios y arroyos

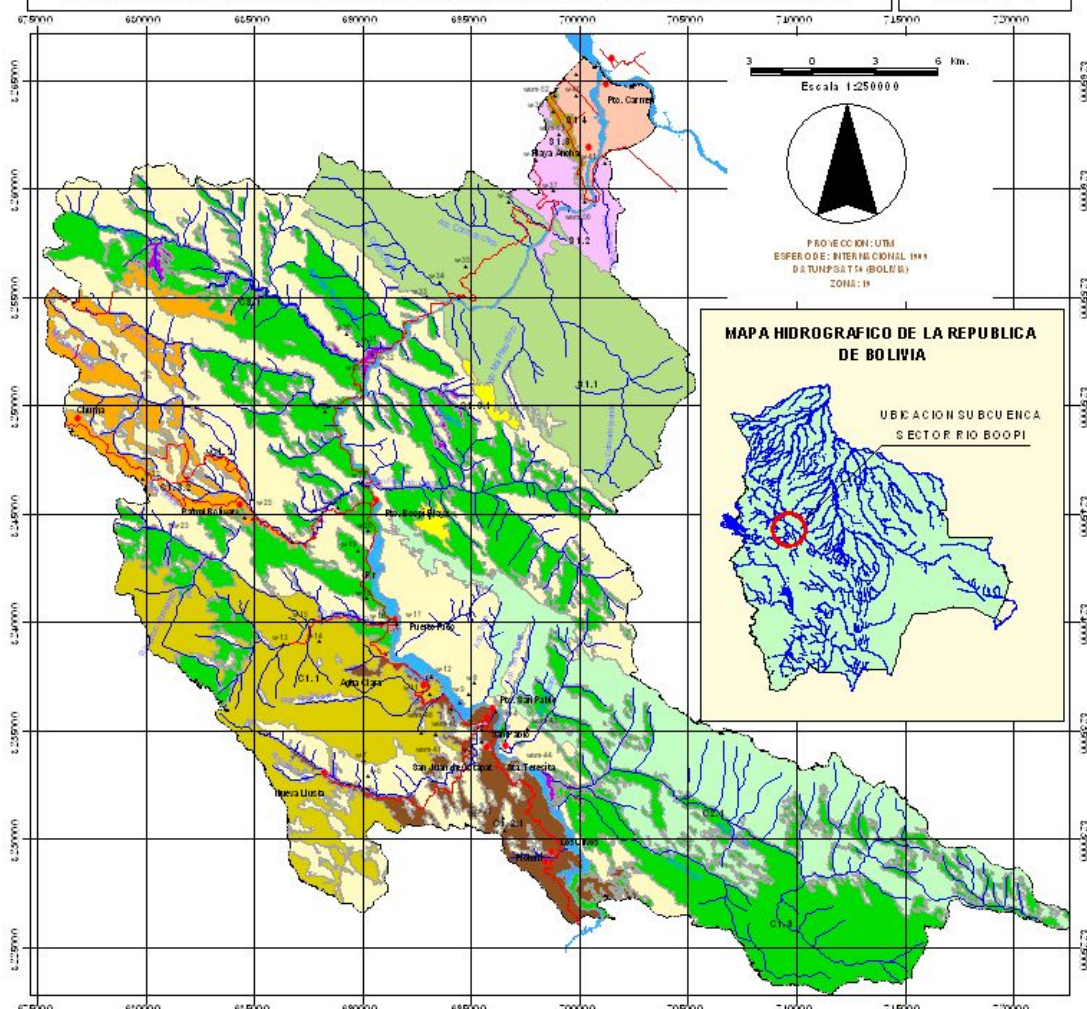


PROYECCION: UTM  
ESFERA DE: INTERNACIONAL 1983  
DATUM: DATUM 56 (BOLIVIA)  
ZONA: 19

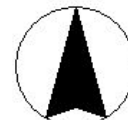


# MAPA DE UNIDADES DE SUELOS SUBCUENCA HIDROGRAFICA SECTOR RIO BOOPI

MAPA N° 6



Escala 1:250000



PROYECCION: UTM  
ESFERA DE: INTERNACIONAL 1983  
DATUM: POSTA (BOLESA)  
ZONA: 18

## MAPA HIDROGRAFICO DE LA REPUBLICA DE BOLIVIA

UBICACION SUBCUENCA  
SECTOR RIO BOOPI



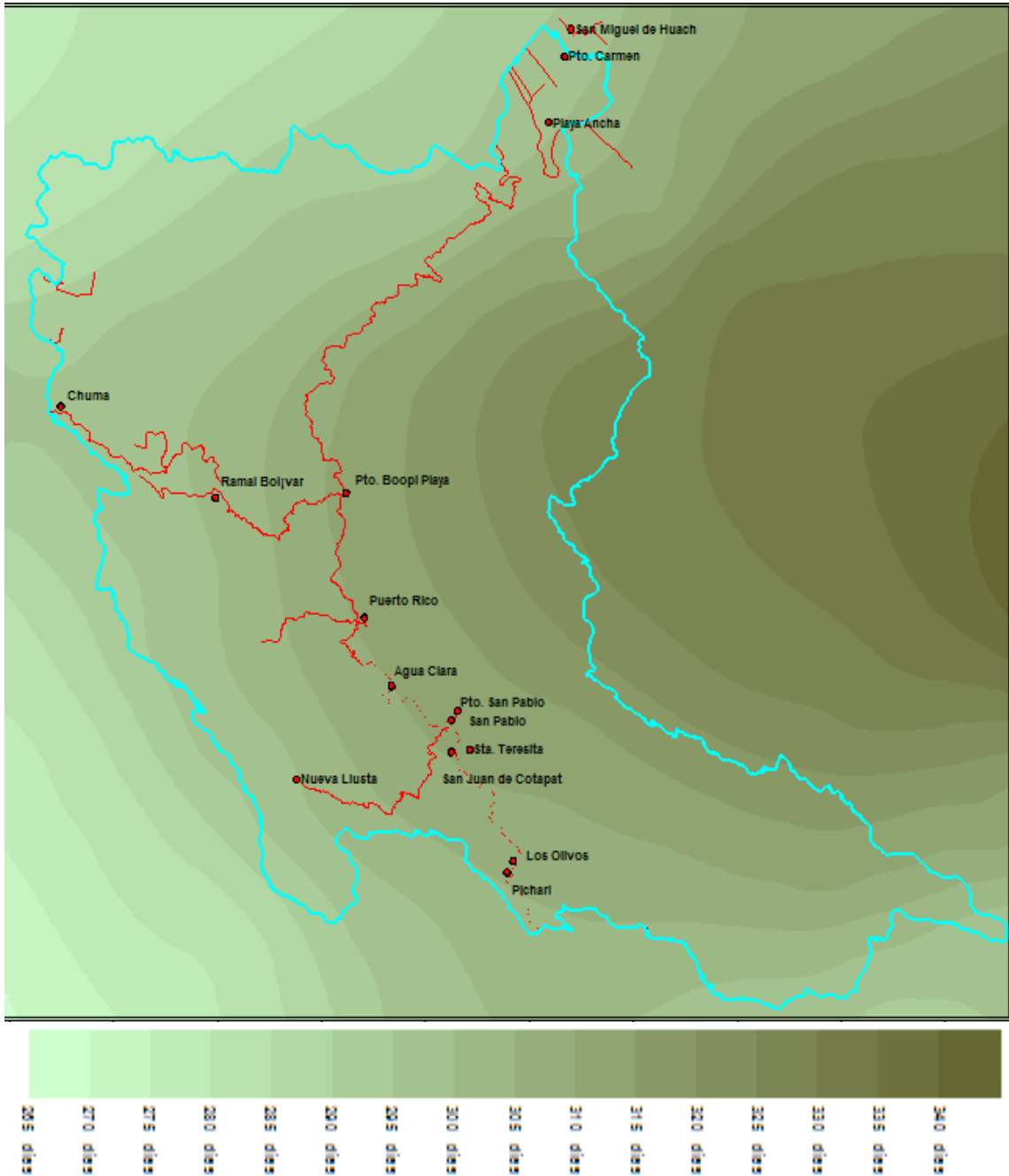
### LEYENDA:

- Colinas medias y bajas, moderadamente disectadas a disectadas, con bosque húmedo
- Llanura de pie de monte, con bosque secundario
- Serranía alta con climas amplios, con bosque húmedo
- Serranía bajas, con climas angulares, con intervención antropica
- Serranías altas, con climas amplios, con bosque húmedo
- Serranías bajas, con climas angulares, con bosque húmedo
- Serranías medias y bajas, con climas angulares, con bosque secundario
- Serranías medias, con climas amplios, con bosque húmedo
- Serranías medias, con climas amplios, con pastizal
- Serranías medias, con climas amplios, con intervención antropica
- Terrazas aluviales amplias, con bosque secundario y agricultura
- Terrazas aluviales en rios y arroyos

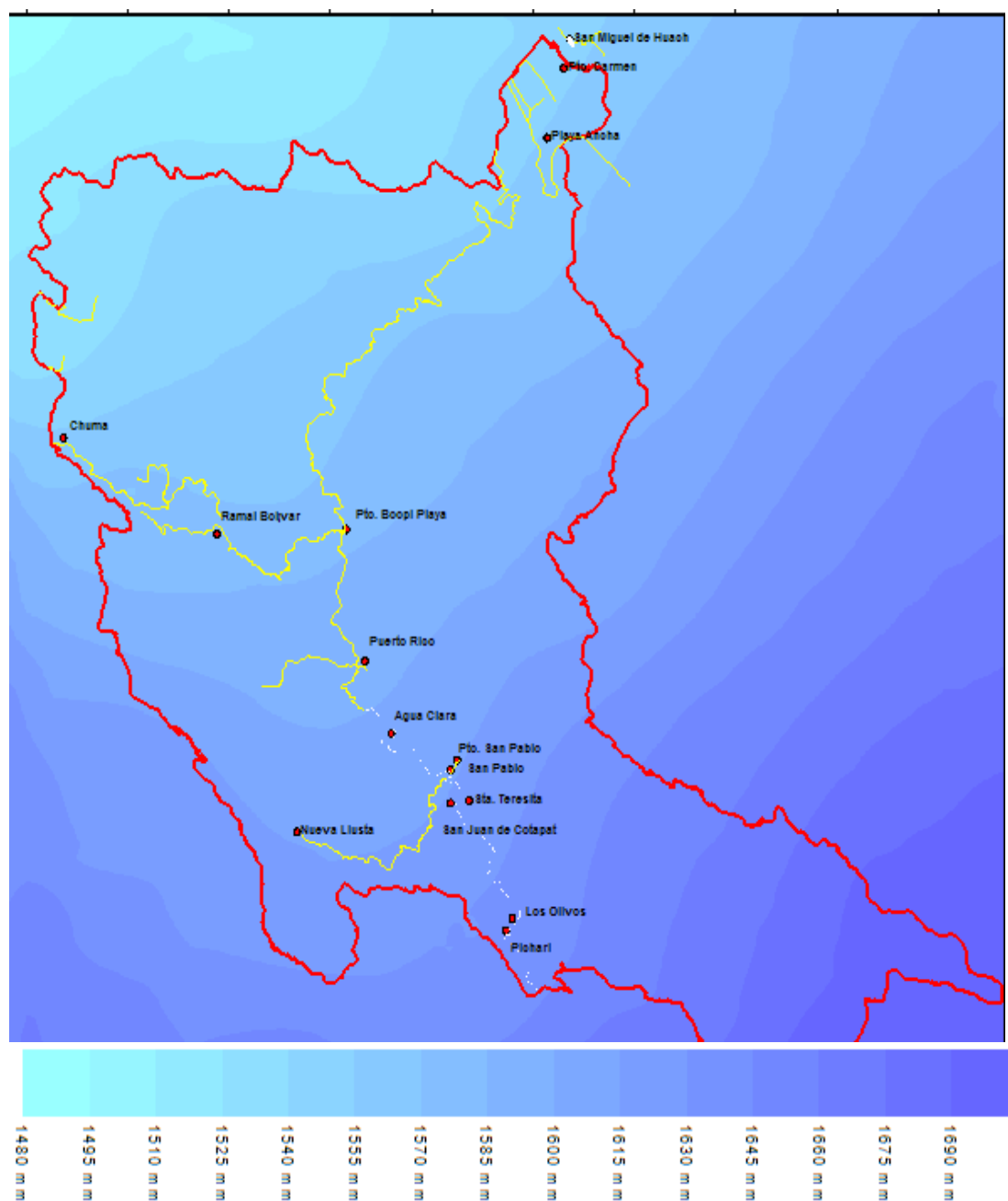
### SIMBOLOGIA:

- Centros Poblados
- Puerto
- Vial
- Rios y arroyos

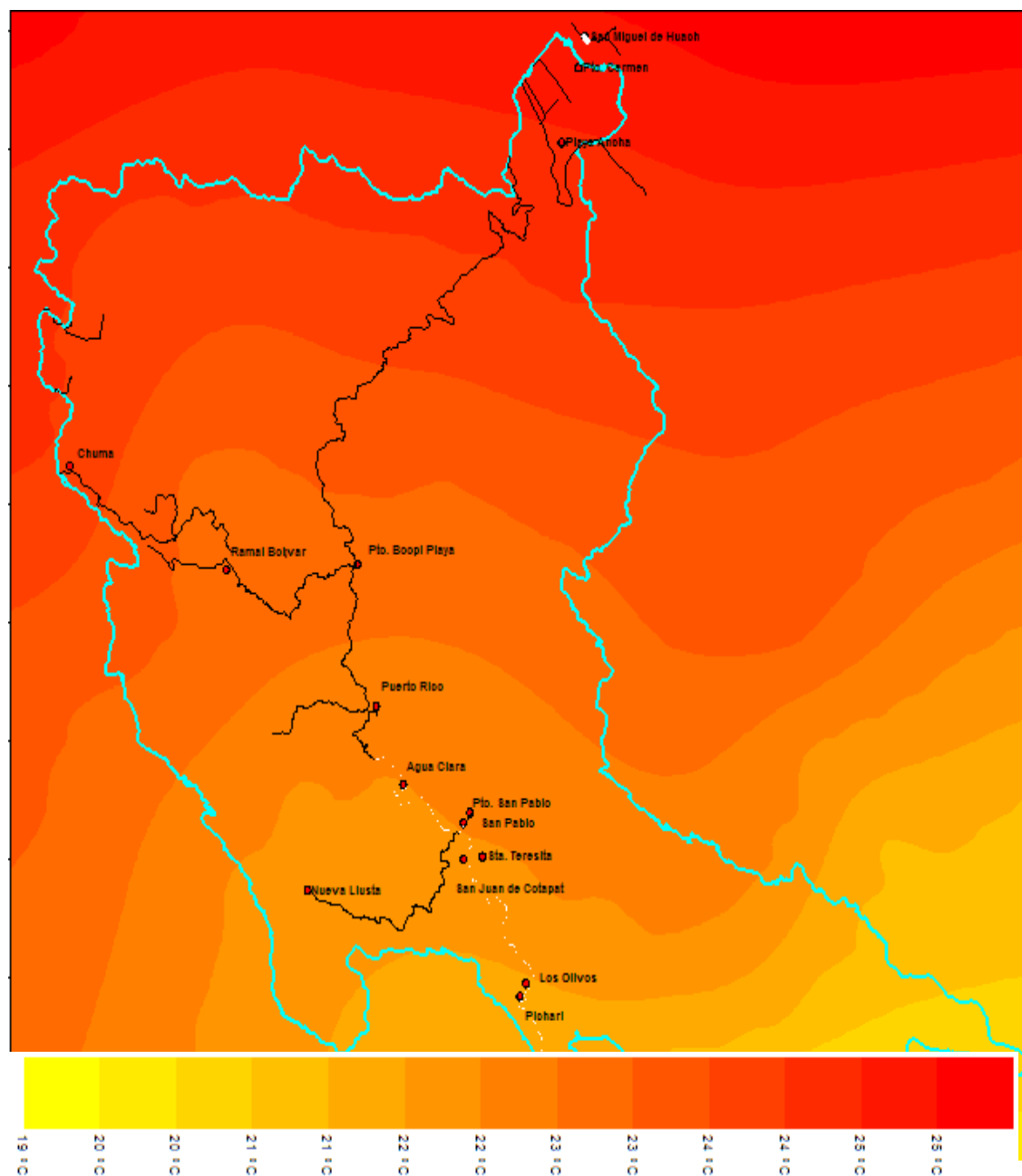
**Mapa 8** Duración Del Periodo De Crecimiento



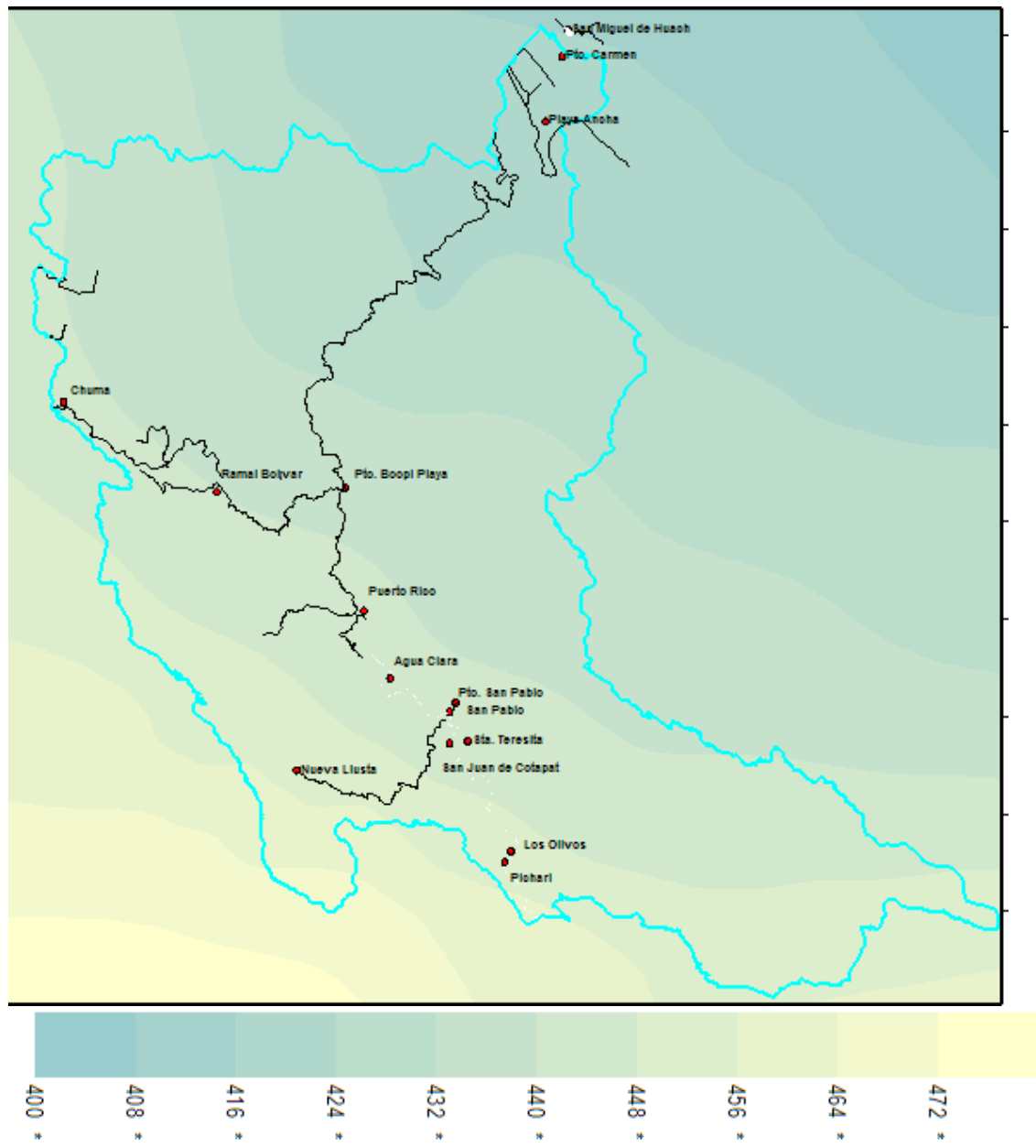
**Mapa 10** De Zonas de precipitación



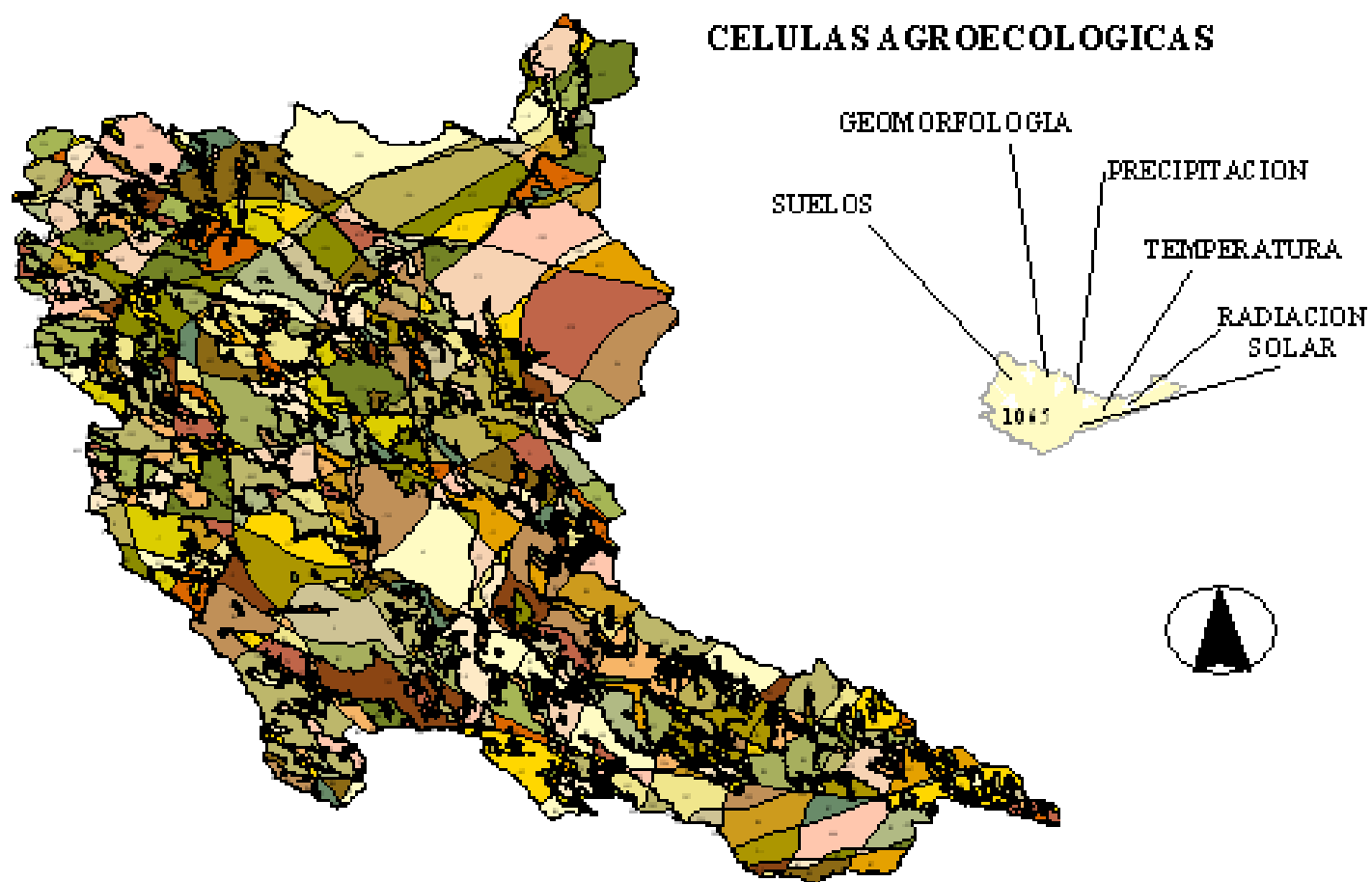
**Mapa 10** De Zonas Térmicas



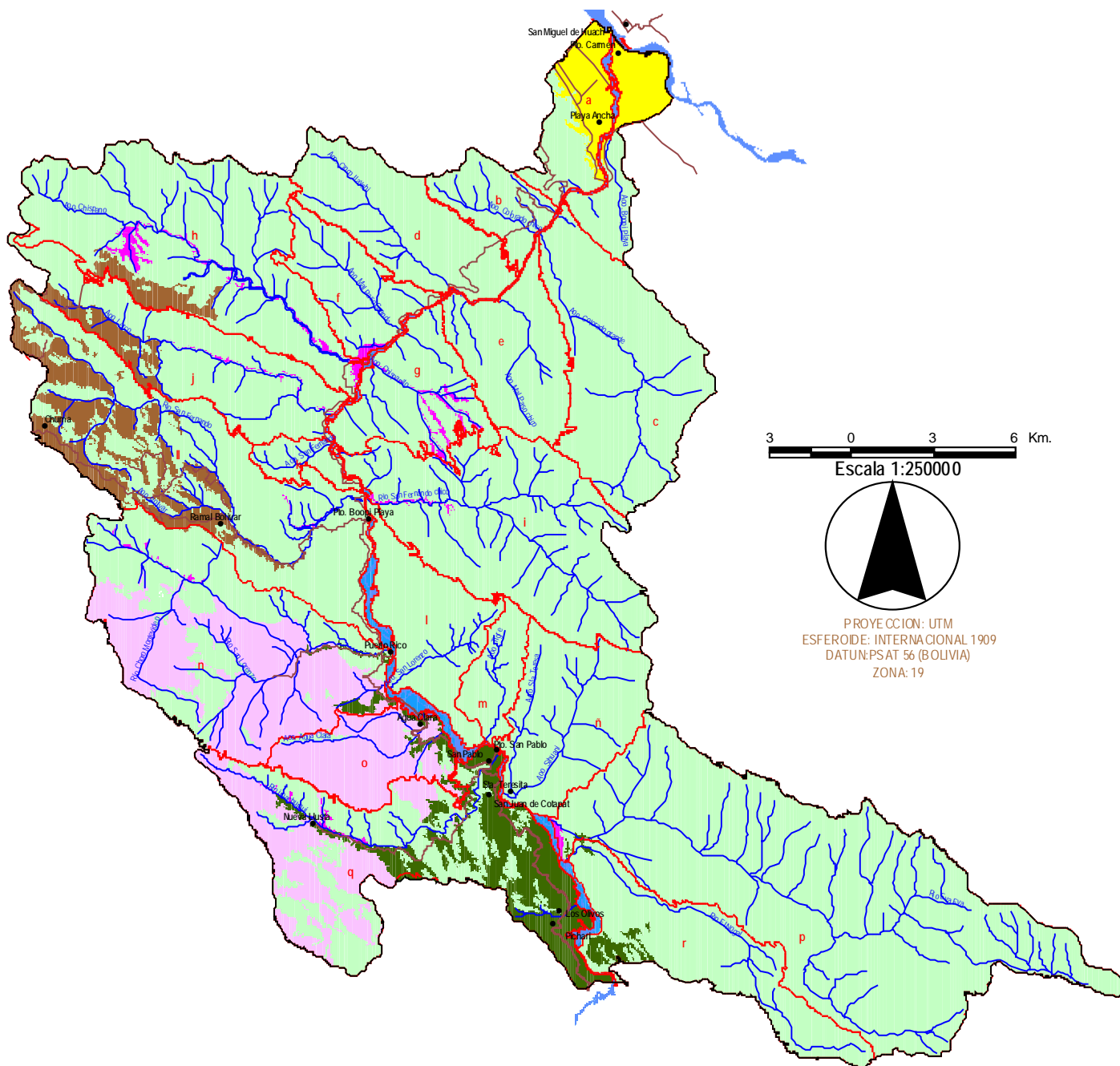
**Mapa 11** De Distribución De La Radiación Solar



**Mapa 12** Células Agroecológicas (CEA)



# MAIZ



## LEYENDA:

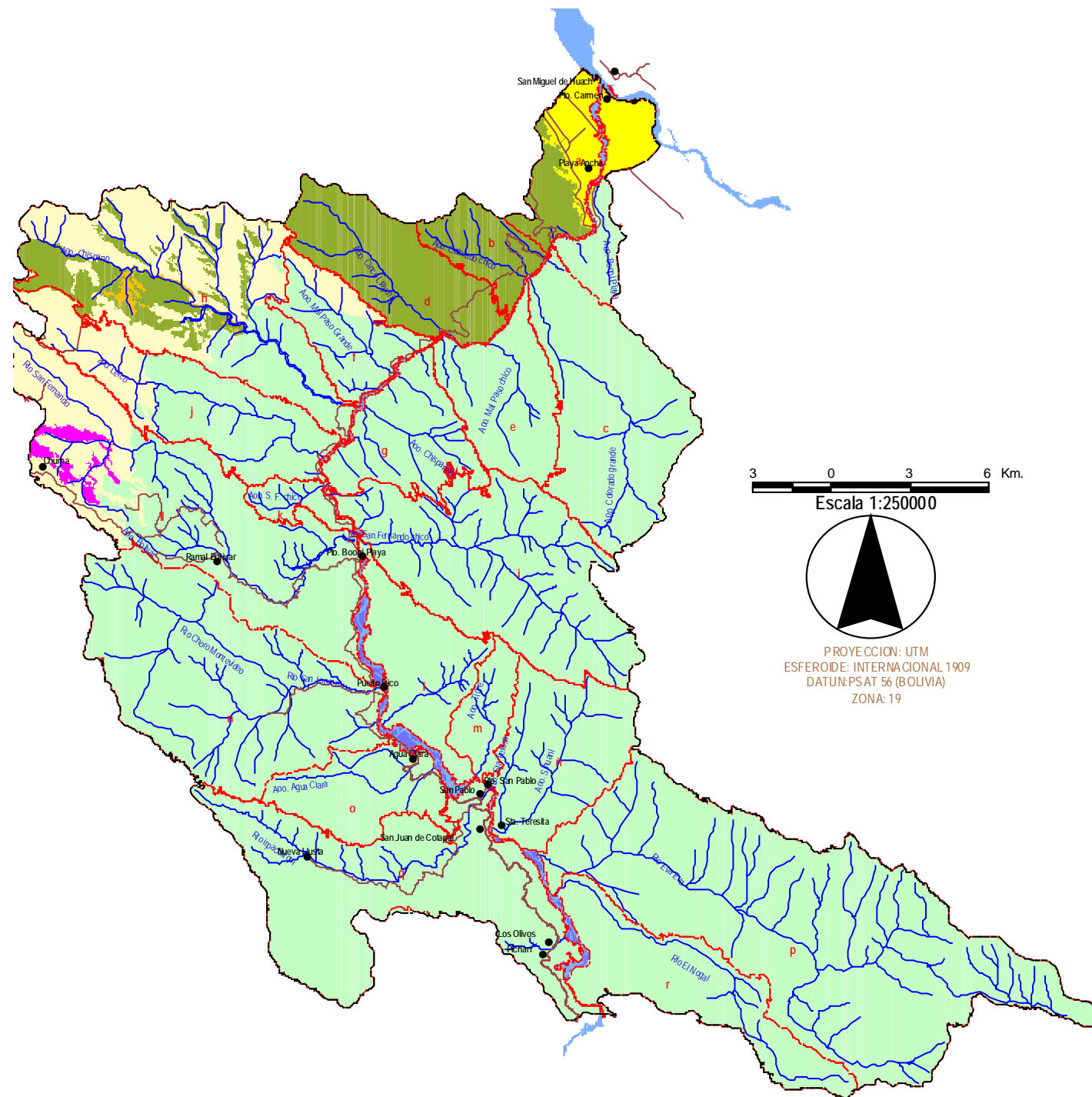
### APTITUD:

<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:darkgreen; border:1px solid black;"></span> Muy Apto	(80-100 %)
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:yellow; border:1px solid black;"></span> Apto	(60 - 80 %)
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:lightpink; border:1px solid black;"></span> Moderadamente Apto	(40 - 60 %)
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:brown; border:1px solid black;"></span> Marginalmente Apto	(20 - 40 %)
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:lightgreen; border:1px solid black;"></span> Muy Marginalmente Apto	(1 - 20 %)
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:magenta; border:1px solid black;"></span> No Apto	(0 - 1 %)

### CONVENCIONALES:

<span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:black; border-radius:50%;"></span>	Comunidades
<span style="display:inline-block; width:15px; border-bottom:2px dashed red;"></span>	Límite de Subcuenca
<span style="display:inline-block; width:15px; border-bottom:2px dashed black;"></span>	Límite de Microcuencas
<span style="display:inline-block; width:15px; border-bottom:2px solid brown;"></span>	Camino principal
<span style="display:inline-block; width:15px; border-bottom:2px solid red;"></span>	Camino vecinales
<span style="display:inline-block; width:15px; border-bottom:2px solid blue;"></span>	Ríos y arroyos

## ARROZ



**LEYENDA:**

APTITUDE:

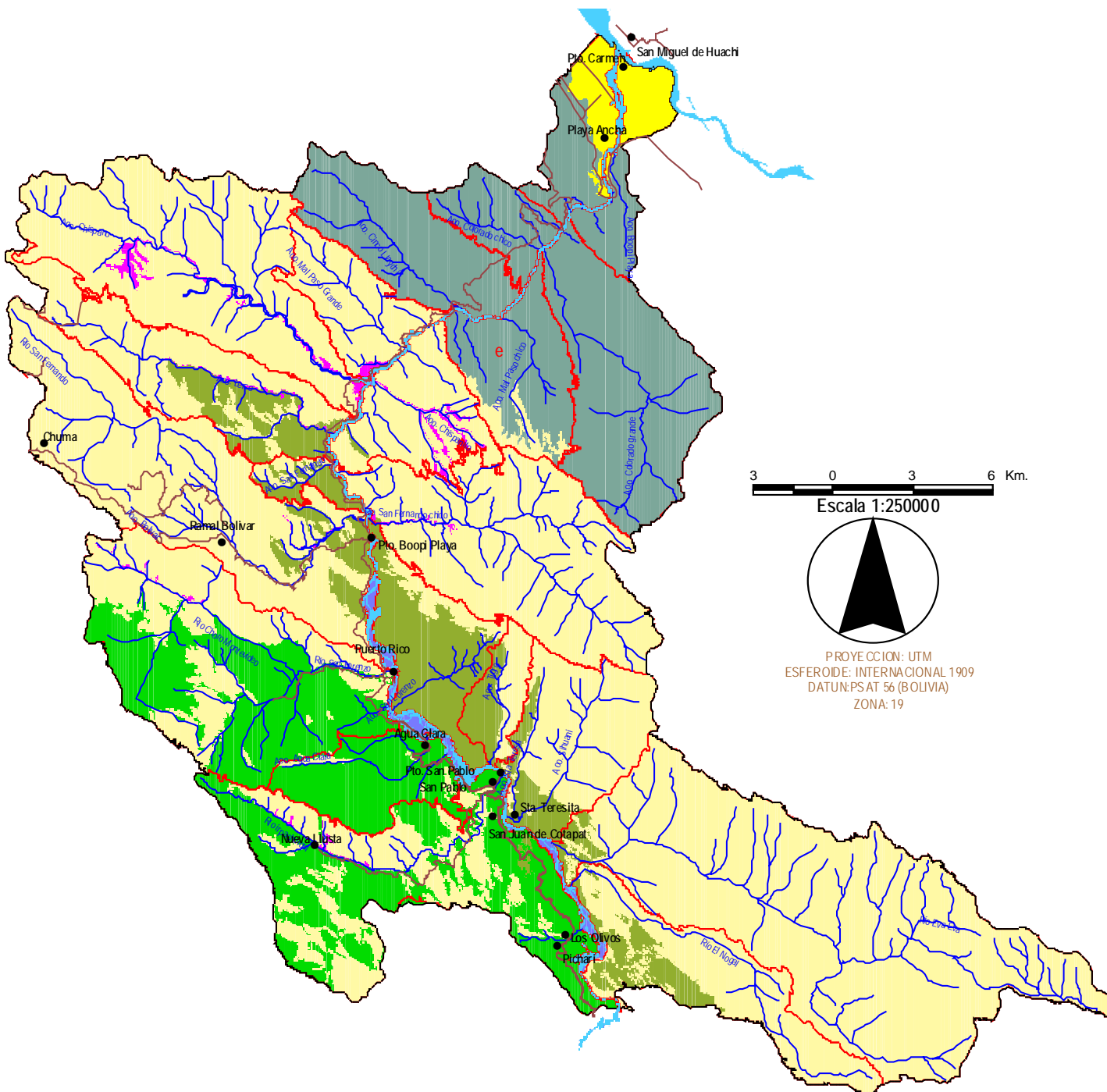
Muy Apto	(80 - 100 % )
Apto	(60 - 80 % )
Moderadamente Apta	(40 - 60 % )
Marginalmente Apto	(20 - 40 % )
Muy Marginalmente Apto	(1 - 20 % )
No Apto	( 0 - 1 % )

CONVENCIONALES:

● Comunidades  
 - Límite de Subcuenca  
 - Límite de Microcuencas  
 - Camino principal  
 - Camino vecinales  
 - Ríos y arroyos



# BANANO



LEYENDA:

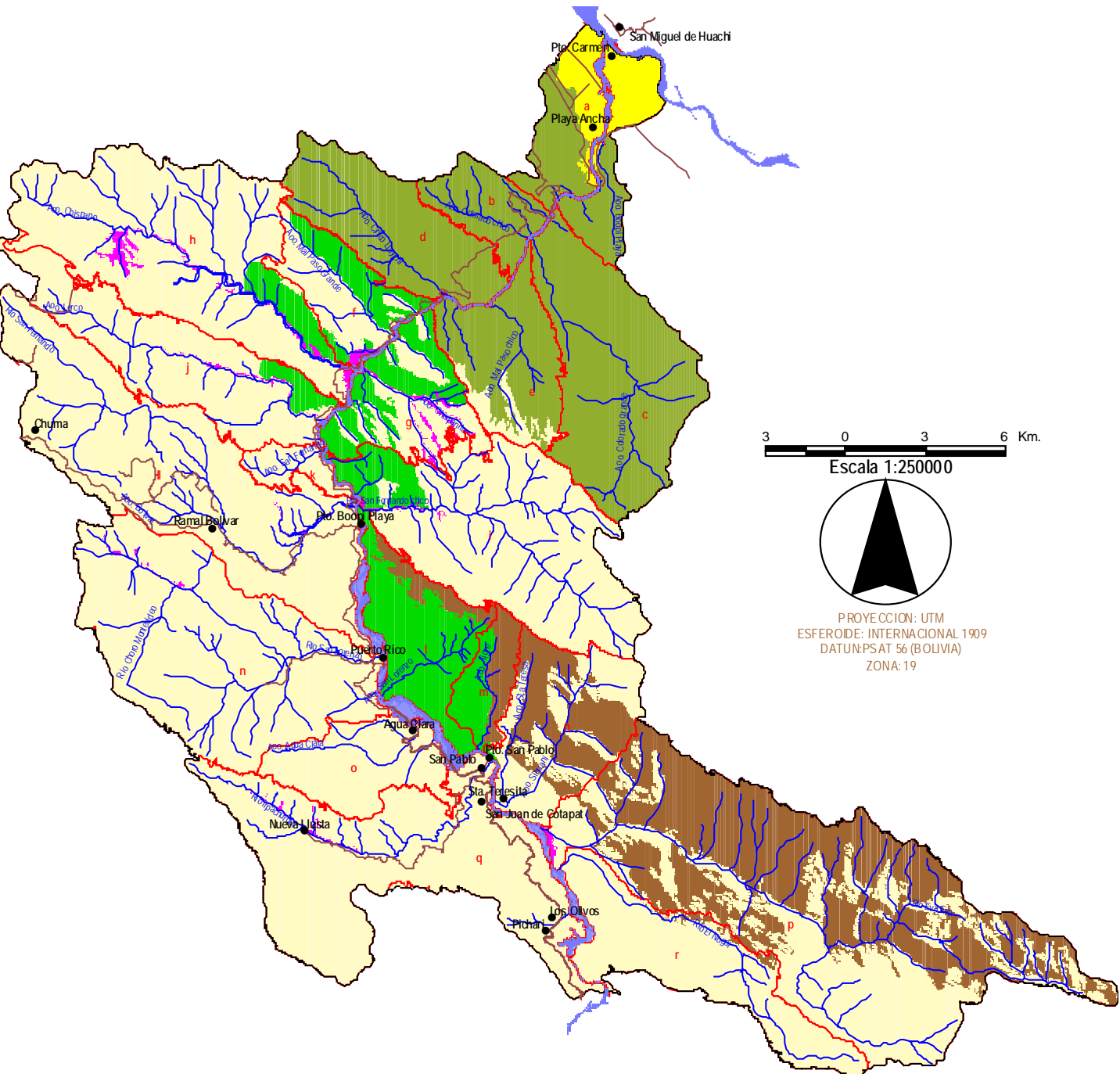
APTITUDE:

Muy Apto	(80 - 100 % )
Apto	(60 - 80 % )
Moderadamente Apto	(40 - 60 % )
Marginalmente Apto	(20 - 40 % )
Muy Marginalmente Apto	(1 - 20 % )
No Apto	(0 - 1 % )

CONVENCIONALES:

Comunidades  
 Límite de Subcuenca  
 Límite de Microcuencas  
 Camino principal  
 Camino vecinales  
 Ríos y arroyos

# CACAO



3 0 3 6 Km.

Escala 1:250000



PROYECCION: UTM  
ESFEROIDE: INTERNACIONAL 1909  
DATUM: PSAT 56 (BOLIVIA)  
ZONA: 19

## LEYENDA:

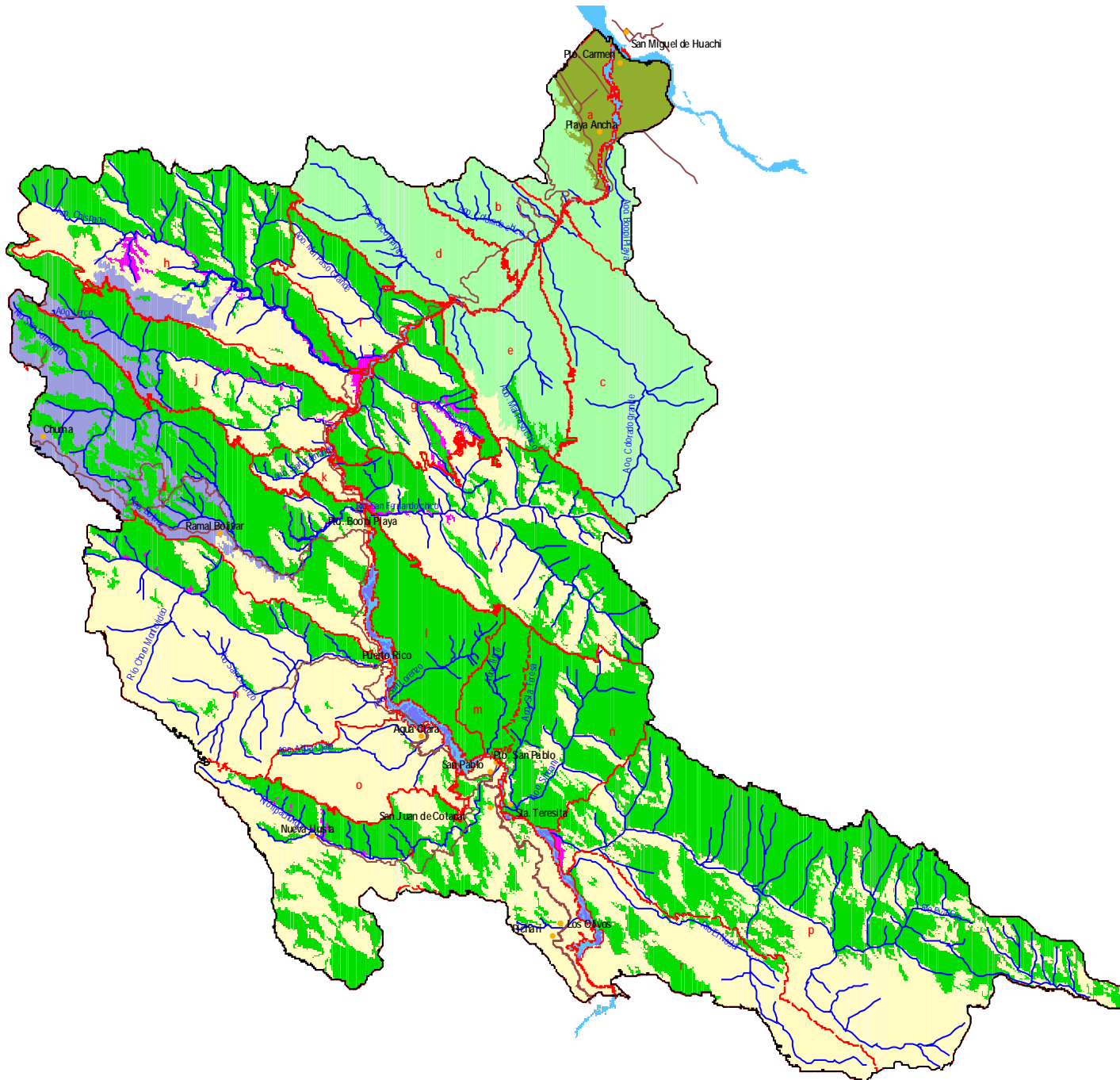
### APTITUD:

<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:green; border:1px solid black;"></span> Muy Apto	(80-100 %)
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:olive; border:1px solid black;"></span> Apto	(60 - 80 %)
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:yellow; border:1px solid black;"></span> Moderadamente Apto	(40 - 60 %)
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:lightyellow; border:1px solid black;"></span> Marginalmente Apto	(20 - 40 %)
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:brown; border:1px solid black;"></span> Muy Marginalmente Apto	(1 - 20 %)
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:pink; border:1px solid black;"></span> No Apto	(0 - 1 %)

### CONVENCIONALES:

<span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:black; border:1px solid black;"></span>	Comunidades
<span style="display:inline-block; width:10px; border-bottom:2px solid black; border-left:2px solid black; border-right:2px solid black;"></span>	Límite de Subcuenca
<span style="display:inline-block; width:10px; border-bottom:2px solid red; border-left:2px solid red; border-right:2px solid red;"></span>	Límite de Microcuencas
<span style="display:inline-block; width:10px; border-bottom:2px solid brown; border-left:2px solid brown; border-right:2px solid brown;"></span>	Camino principal
<span style="display:inline-block; width:10px; border-bottom:2px solid brown; border-left:2px solid brown; border-right:2px solid brown;"></span>	Camino vecinales
<span style="display:inline-block; width:10px; border-bottom:2px solid blue; border-left:2px solid blue; border-right:2px solid blue;"></span>	Ríos y arroyos

# CAFE



## LEYENDA:

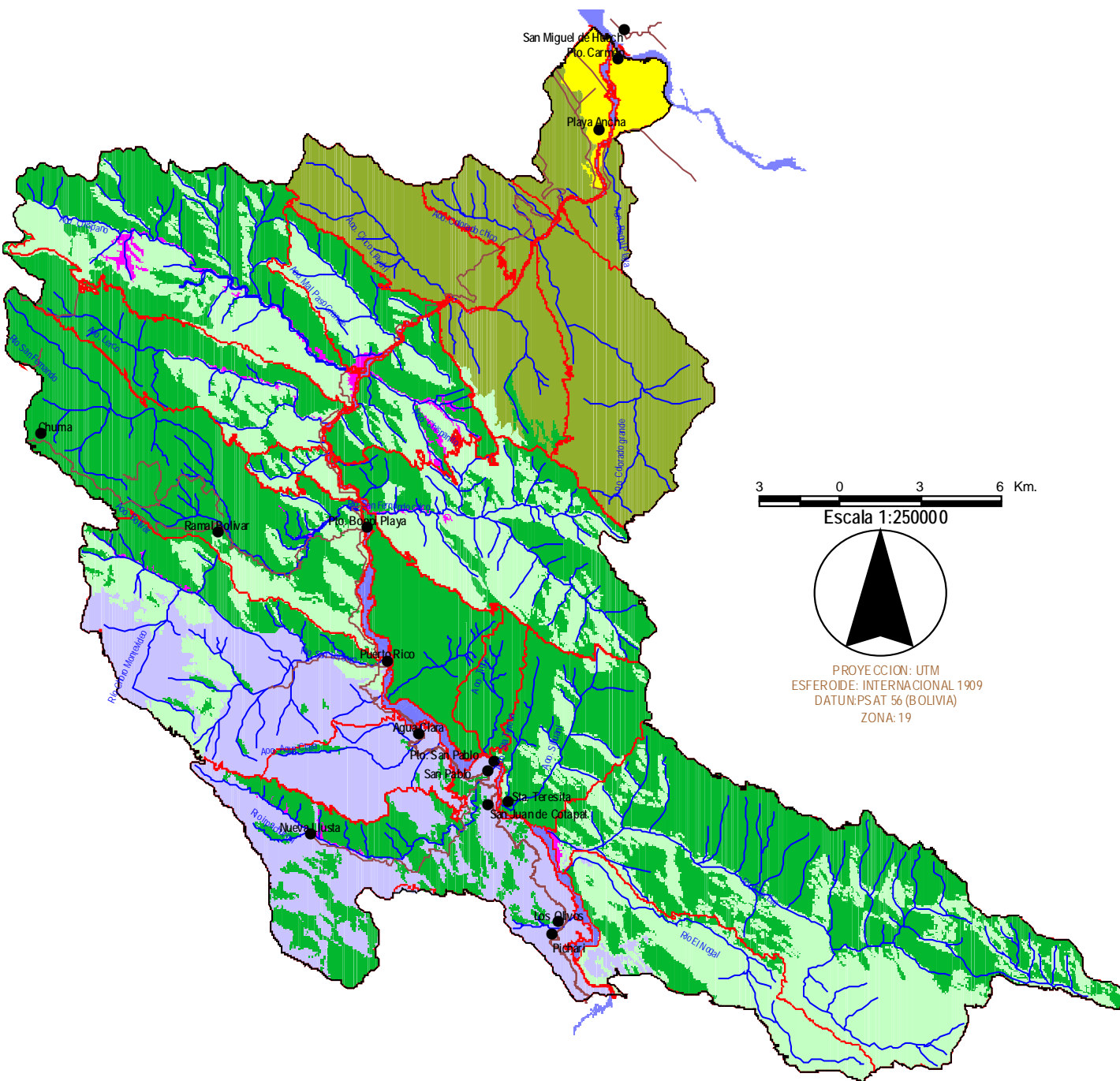
### APTITUD:

	Muy Apto	(80 - 100 %)
	Apto	(60 - 80 %)
	Moderadamente Apto	(40 - 60 %)
	Marginalmente Apto	(20 - 40 %)
	Muy Marginalmente Apto	(1 - 20 %)
	No Apto	(0 - 1 %)

### CONVENCIONALES:

	Comunidades
	Límite de Subcuenca
	Límite de Microcuencas
	Camino principal
	Camino vecinales
	Ríos y arroyos

# CITRICOS









LEYENDA:

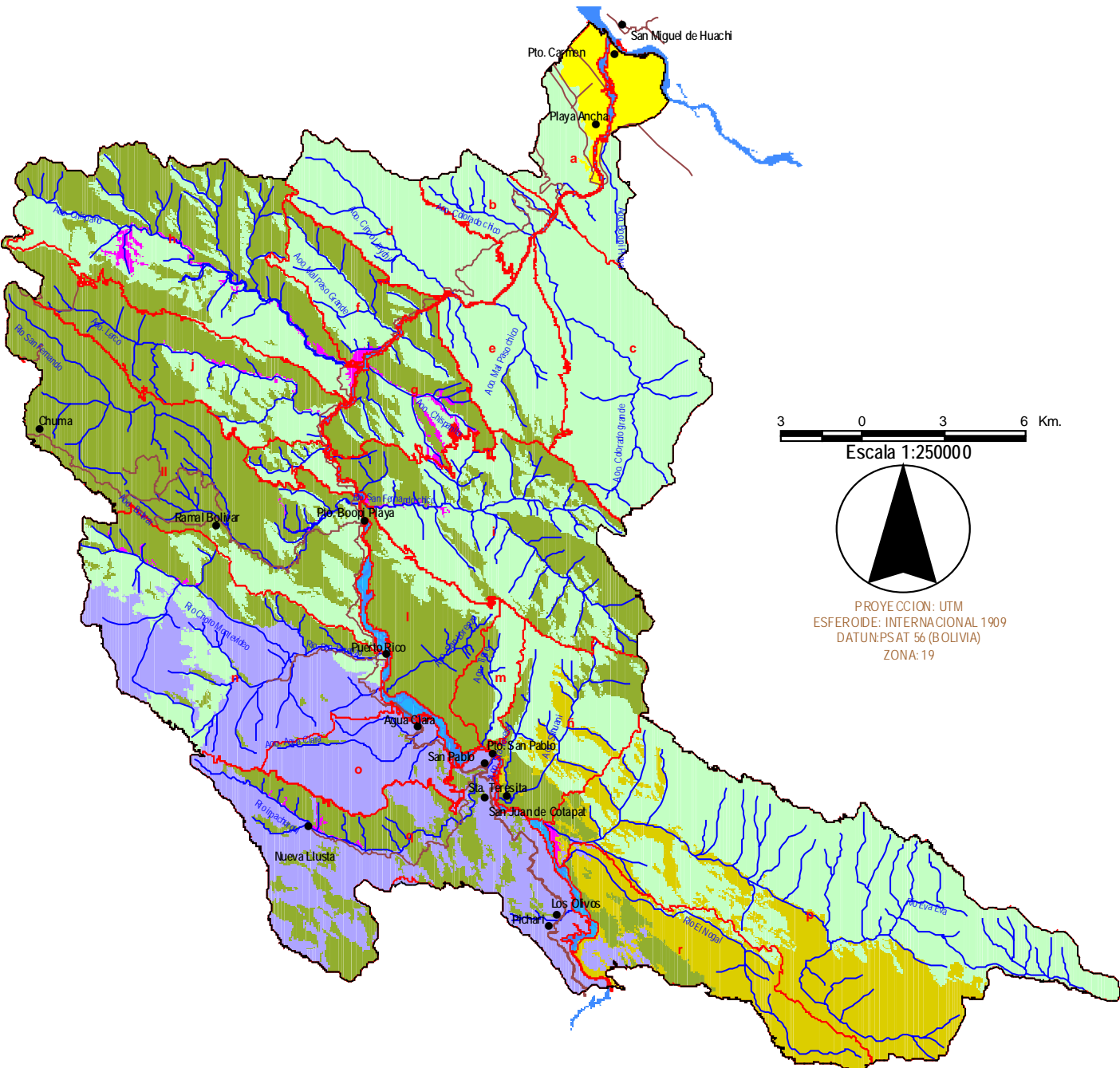
APTITUDE:

Muy Apto	(80 - 100 % )
Apto	(60 - 80 % )
Moderadamente Apta	(40 - 60 % )
Marginalmente Apto	(20 - 40 % )
Muy Marginalmente Apto	(1 - 20 % )
No Apto	( 0 - 1 % )

CONVENCIONALES:

 Comunidades  
 Límite de Subcuenca  
 Límite de Microcuencas  
 Camino principal  
 Camino vecinales  
 Ríos y arroyos

# HORTALIZAS



## LEYENDA:

### APTITUD:

<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #006400; border: 1px solid black;"></span> Muy Apto	(80 - 100 %)
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #FFD700; border: 1px solid black;"></span> Apto	(60 - 80 %)
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #90EE90; border: 1px solid black;"></span> Moderadamente Apto	(40 - 60 %)
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #FFDAB9; border: 1px solid black;"></span> Marginalmente Apto	(20 - 40 %)
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #ADD8E6; border: 1px solid black;"></span> Muy Marginalmente Apto	(1 - 20 %)
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #FF69B4; border: 1px solid black;"></span> No Apto	(0 - 1 %)

### CONVENCIONALES:

<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: black; border: 1px solid black;"></span>	Comunidades
<span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 1px dashed black;"></span>	Límite de Subcuenca
<span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 1px solid red;"></span>	Límite de Microcuencas
<span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 1px solid brown;"></span>	Camino principal
<span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 1px solid brown;"></span>	Camino vecinales
<span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 1px solid blue;"></span>	Ríos y arroyos



## FOTOGRAFÍAS



**Foto 1.** Panorámica del Río Boopi, mostrando la cobertura vegetal y grados de intervención antrópica.



**Foto 2.** Panorámica del Río Boopi, mostrando pequeñas cachuelas



**Foto 3.** Panorámica del Río Boopi, mostrando remansos profundos



**Foto 4.** Barbechos nuevos a orillas del Río Boopi



**Foto 5.** Aprovechamiento de maderables en forma artesanal sobre el Río Boopi.



**Foto 6.** Entrevista a autoridades locales Municipales localidad de La Asunta.





**Foto 7.** Entrevista a líderes locales.



**Foto 8.** Entrevista a agricultores asentados en la subcuenca sector Río Boopi.





**Foto 9.** Entrevista a familias de la comunidad de Puerto Rico.



**Foto 10.** Vista de la comercialización agrícola, en la localidad de San Juan de Cota Pata.