

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



**TESIS DE GRADO**

**CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA DE LA CUENCA  
DE TODOS SANTOS DEL DEPARTAMENTO DE ORURO  
EN FUNCIÓN DEL RIEGO EMPLEANDO TELEDETECCIÓN Y SIG**

**LUZ MERY LOPEZ RAFAEL**

La Paz - Bolivia

2008

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

CARACTERIZACIÓN BIOFISICA DE LA CUENCA DE TODOS SANTOS  
DEL DEPARTAMENTO DE ORURO EN FUNCIÓN DEL RIEGO EMPLEANDO  
TELEDETECCIÓN Y SIG

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

**LUZ MERY LOPEZ RAFAEL**

**TUTOR:**

Ing. Gladys Tesoro Michel Pinaya

**ASESOR:**

Ing. M.Sc. Paulino Ruiz Huanca

**TRIBUNAL EXAMINADOR:**

Ing. M. Sc. Jorge Pascuali Cabrera

Ing. Roberto Miranda Casas

Lic. Esp. Jorge Mostajo Peñaranda

**APROBADA**

Presidente Tribunal Examinador

La Paz  
2008



## *Dedicatoria*

*A Dios todopoderoso, por todas sus bendiciones y su infinita misericordia.*

*A mis padres Donato y Trinidad, quienes con su buen ejemplo, amor y comprensión, me guiaron por un camino recto y de valores.*

*A mis hermanos Claudio y Marco, por su amor y comprensión.*

## *Agradecimientos*

*Numerosas personas e instituciones han colaborado y/o acompañado el desarrollo del presente trabajo. Quiero agradecer en forma muy especial a la Universidad Mayor de San Andrés (U.M.S.A), por mi formación profesional.*

*Este trabajo de investigación no habría podido ser hecho realidad, sin la importante colaboración de todo el equipo de trabajo del Ex - Programa de apoyo a la Descentralización del Subsector Riego (PSAC) y de la Unidad Departamental de Riego y Suelo (UDRS) del Departamento de Oruro, por ello mi mas sincero agradecimiento al Lic. José Ramírez, Ing. Augusto Medinaceli, Ing. Sergio Salazar y especialmente al Ing. Juvenal Díaz.*

*Al Ing. Jorge Bellot, Ex - Coordinador de la Dirección de Sistemas de Información Geográfica del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERGEOMIN), por la valiosa colaboración brindada.*

*Agradezco infinitamente a mi Tutor Ing. Tesoro Michel Pinaya y Asesor Paulino Ruiz Huanca, por la valiosa orientación y dirección prestada en la presente investigación.*

*Al tribunal revisor:*

*Ing. M. Sc. Jorge Pascuali Cabrera, por sus valiosas aportaciones, recomendaciones y su tiempo dispuesto para la culminación del presente trabajo.*

*Ing. Roberto Miranda, por la buena predisposición, orientación y observaciones realizadas.  
Lic. Jorge Mostajo Peñaranda, por la corrección y sugerencias acertadas además de su colaboración al proporcionarme material de consulta.*

*Mi más sincero agradecimiento a Norha Humerez, Paula Acebey, Nelson Choque, y Omar Velasco, por el apoyo y amor fraternal brindado hasta el momento.*

*Agradezco también a mis amigos Groberth A., Alfredo C., Celia M., Poletskā M., Juan R., y Fabiola A., por brindarme su amistad desinteresadamente.*

*A los compañeros de trabajo Ing. Walter J., Aquiles A., Juana B., Fernando S., Roberto M. y Rene Ch., por la amistad y el apoyo desinteresado brindado a lo largo de estos cuatro últimos años.*

*A mis tíos Margarita, Valentina, Román, Remi, a mis primos Carmen, Sergio, Jenny, Elío y Angel, por el apoyo que con su cariño y comprensión me alentaron a seguir adelante.*

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>CONTENIDO</b> .....	<i>i</i>
<b>INDICE GENERAL</b> .....	<i>ii</i>
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	<i>iii</i>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<i>iii</i>
<b>INDICE DE CARTOGRAFIA TEMATICA</b> .....	<i>iv</i>
<b>INDICE DE FOTOGRAFIAS</b> .....	<i>iv</i>
<b>INDICE DE ANEXOS</b> .....	<i>iv</i>
<b>RESUMEN</b> .....	<i>v</i>
<b>SUMMARY</b> .....	<i>vi</i>
<b>1 INTRODUCCION</b> .....	<b>1</b>
1.1 Justificación.....	2
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>4</b>
2.1 Objetivo General.....	4
2.2 Objetivos Específicos.....	4
<b>3 REVISION BIBLIOGRAFICA</b> .....	<b>5</b>
3.1 Metodología para la caracterización biofísica de cuencas en función al riego.....	5
3.2 Cuenca Hidrográfica.....	5
3.2.1 Componentes biofísicos de una cuenca hidrográfica.....	5
3.2.1.1 Pendientes.....	6
3.2.1.2 Cobertura y uso actual de la tierra.....	6
3.2.1.3 Clasificación de suelos por su aptitud para riego.....	6
3.3 Balance hídrico de cuencas.....	7
3.3.1 Estimación de la disponibilidad de agua (Método Racional).....	7
3.3.1.1 Coeficiente de Escorrentía.....	8
3.3.1.2 Estimación del déficit de humedad de una cuenca.....	9
3.4 Implementación de un Sistema de Información Geográfica (SIG).....	10
3.4.1 Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	11
3.5 Modelo Digital de Elevación (MDE).....	11
3.6 Teledetección.....	11
3.6.1 Espectro Electromagnético (EE).....	12
3.6.2 Características de la Imagen Landsat 7 ETM+.....	12
3.6.3 Procesamiento de Imágenes de Satélite.....	13
3.6.3.1 Correcciones atmosféricas y radiométricas.....	13
3.6.3.2 Correcciones Geométricas.....	14
3.6.3.3 Índice de Humedad del Suelo (ISH).....	15
3.6.3.4 Índice de Vegetación Normalizado (NDVI).....	15
3.6.3.5 Clasificación no supervisada.....	15
3.6.3.6 Trabajo de Campo.....	16
3.6.3.7 Clasificación supervisada.....	16
3.7 Sistema de Posicionamiento Global (GPS).....	16
3.8 Mapas Temáticos.....	17
3.8.1 Escala y nivel de detalle.....	17
<b>4 LOCALIZACION</b> .....	<b>18</b>
4.1 Ubicación Geográfica.....	18
<b>5 MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>21</b>
5.1 Materiales.....	21
5.1.1 Materiales y Equipos de Laboratorio.....	21
5.1.2 Materiales y Equipos de Campo.....	21
5.1.3 Materiales y Equipo de Gabinete.....	21
5.2 Descripción Metodológica.....	21
5.2.1 Fase de planificación.....	22
5.2.2.1 Etapa de recopilación.....	23

5.2.2.2.	Etapa de sistematización .....	23
5.2.2.3.	Etapa de priorización. ....	23
5.2.2	Fase de desarrollo de instrumentos técnicos básicos. ....	24
5.2.2.1.	Etapa de construcción de cartografía básica digital. ....	24
5.2.2.2.	Etapa de construcción de cartografía temática.....	38
5.3	Variables de respuesta. ....	38
5.3.1	Variables de respuesta en el estudio del medio Biofísico. ....	38
5.3.2	Variables de respuesta de la caracterización de la situación existente del riego.....	39
5.3.3	Variables de respuesta del balance hídrico a nivel cuenca.....	39
5.3.4	Variables de respuesta en la implementación de un sistema de información geográfica.....	39
<b>6</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>40</b>
6.1	Caracterización del componente biofísico de la cuenca de estudio.....	40
6.1.1	Fisiográfica, Orografía y topografía.....	40
6.1.2	Suelos. ....	46
6.1.2.1.	Clasificación de suelos a nivel de reconocimiento.....	46
6.1.2.2.	Aptitud de los suelos con fines de riego .....	48
6.1.2.3.	Cobertura y uso actual de la tierra.....	50
6.1.3	Geología.....	57
6.1.3.1.	Formaciones geológicas .....	57
6.1.4	Recursos hídricos.....	59
6.1.4.1.	Cuencas Superficiales .....	59
6.1.4.2.	Cuerpos de agua.....	61
6.1.4.3.	Calidad del agua .....	62
6.2	Caracterización de la situación existente respecto al riego.....	62
6.2.1	Descripción de los sistemas de riego y microriego existentes. ....	63
6.2.1.1	Ubicación geográfica.....	63
6.2.1.2	Comunidades y familias beneficiarias.....	63
6.2.1.3	Descripción de la infraestructura de riego existente.....	63
6.2.1.4	Nivel tecnológico de riego y principales cultivos.....	64
6.2.1.5	Cobertura de los sistemas de riego y calidad de agua.....	64
6.2.2	Localización de demandas de riego, microriego y posibles sitios de embalse. ....	64
6.2.2.1	Ubicación geográfica de las demandas de riego, microriego y posibles sitios de embalse.....	66
6.2.3	Evaluación medio ambiental en función del riego.....	66
6.2.3.1.	Clima. ....	66
6.2.3.2.	Balance hídrico climático. ....	66
6.2.3.3.	Riesgos ambientales potenciales.....	68
6.2.3.4.	Contaminación del suelo, agua y aire.....	70
6.3	Balance hídrico a nivel cuenca. ....	70
6.3.1	Estimación de oferta hídrica (Método Racional). ....	70
6.3.2	Estimación de la demanda hídrica (Déficit hídrico).....	76
6.3.3	Implementación de un Sistema de Información Geográfica (SIG). ....	82
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>86</b>
7.1	Conclusiones.....	86
7.2	Recomendaciones. ....	89
<b>8</b>	<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>90</b>

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b>	Matriz para determinar automáticamente coeficientes de escurrimiento.....	9
<b>Cuadro 2.</b>	Características de la Imagen Satelital Landsat 7 ETM + .....	13
<b>Cuadro 3.</b>	Programación recomendada para el uso de aparatos de GPS en Bolivia.....	17
<b>Cuadro 4.</b>	Información recopilada .....	23
<b>Cuadro 5.</b>	Priorización de cartografía temática .....	24
<b>Cuadro 6.</b>	Clasificación del grado de pendiente según la FAO.....	29
<b>Cuadro 7.</b>	Clasificación de suelos del Servicio de Conservación de Suelos .....	34
<b>Cuadro 8.</b>	Asignación de números primos a las variables. ....	35
<b>Cuadro 9.</b>	Unidades fisiográficas de la Cuenca Todos Santos.....	40
<b>Cuadro 10.</b>	Cerros que rodean al Río Todos Santos. ....	43
<b>Cuadro 11.</b>	Clasificación de pendientes según la norma de la FAO.....	43
<b>Cuadro 12.</b>	Clasificación de suelos a nivel de reconocimiento. ....	46
<b>Cuadro 13.</b>	Clasificación de Suelos en la Cuenca del Río Todo Santos .....	50
<b>Cuadro 14.</b>	Uso Actual del Suelo de la Cuenca del Río Todo Santos .....	50
<b>Cuadro 15.</b>	Unidades geológicas de la Cuenca de Todos Santos.....	57
<b>Cuadro 16.</b>	Cuenca del Río Todos Santos.....	59
<b>Cuadro 17.</b>	Sistemas de riego provenientes de aguas subterráneas .....	61
<b>Cuadro 18.</b>	Calidad de las Aguas Superficiales Río Todos Santos y Afluentes. ....	62
<b>Cuadro 19.</b>	Descripción de los sistemas de riego existentes.....	65
<b>Cuadro 20.</b>	Ubicación Geográfica de Demandas .....	66
<b>Cuadro 21.</b>	Precipitación media mensual de la Cuenca de Todos Santos .....	70
<b>Cuadro 22.</b>	Precipitación al 75% de probabilidad. ....	72
<b>Cuadro 23.</b>	Determinación de los Coeficientes de Escorrentía de la Cuenca de Todos Santos.....	72
<b>Cuadro 24.</b>	Base de datos del mapa raster de Coeficientes de Escurrimiento.....	73
<b>Cuadro 25.</b>	Aportaciones mensuales Cuenca Todos Santos.....	75
<b>Cuadro 26.</b>	Caudales medios totales. ....	76
<b>Cuadro 27.</b>	Evapotranspiración (mm/día).( Método de Hargreaves) .....	76
<b>Cuadro 28.</b>	Determinación de la precipitación efectiva. ....	77
<b>Cuadro 29.</b>	Déficit hídrico promedio por mes de la Cuenca del Río Todos Santos.....	78

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	<i>Espectro electromagnético (Chuvienco, 1996).</i> .....	12
<b>Figura 2.</b>	<i>Fujograma del procesamiento de Imágenes de Satélite. (Michel 2003)</i> .....	14
<b>Figura 3.</b>	<i>Ubicación de la Cuenca del Río Todos Santos</i> .....	19
<b>Figura 4.</b>	<i>Flujo metodológico para la caracterización biofísica de una cuenca en función al</i> . ....	22
<b>Figura 5.</b>	<i>Remuestreo de la Imagen de 30m de resolución espacia (1), a 15m (2).</i> .....	26
<b>Figura 6.</b>	<i>Diferencia entre la imagen con las correcciones atmosféricas, radio métricas</i> .....	26
<b>Figura 7.</b>	<i>Clasificación Supervisada.</i> .....	28
<b>Figura 8.</b>	<i>Aplicación de la opción pendiente (2) a la red de triángulos irregulares (1).</i> .....	29
<b>Figura 9.</b>	<i>Elaboración del mapa de aptitud de suelos con fines de riego</i> .....	30
<b>Figura 10.</b>	<i>Generación automática de coeficientes de escurrimiento.</i> .....	34
<b>Figura 11.</b>	<i>Elaboración del mapa de coeficientes de escurrimiento</i> .....	35
<b>Figura 12.</b>	<i>Balance hídrico climático</i> .....	66
<b>Figura 13.</b>	<i>Frecuencia de ocurrencia de heladas en ( %).(Estudios básicos 2001)</i> .....	68
<b>Figura 14.</b>	<i>Frecuencia de Ocurrencia de Sequías ( %). (Estudios básicos 2001).</i> .....	69
<b>Figura 15.</b>	<i>Aportaciones mensuales área de la Cuenca Todos Santos.</i> .....	75
<b>Figura 16 y 17</b>	<i>Precipitación efectiva, producto de</i> .....	78
<b>Figura 18.</b>	<i>Déficit de Humedad Cuenca del Río Todos Santos</i> .....	79
<b>Figura 19.</b>	<i>Déficit hídrico mensual Cuenca del Río Todos Santos</i> .....	80
<b>Figura 20.</b>	<i>Balance hídrico de la Cuenca del Río Todos Santos, empleando</i> .....	80
<b>Figura 21.</b>	<i>Balance hídrico de la Cuenca del Río Todos Santos, empleando datos de</i> .....	81
<b>Figura 22.</b>	<i>Base de datos del mapa matricial de pendientes.</i> .....	82
<b>Figura 23.</b>	<i>Proyectos Arc view, con extensión APR.</i> .....	82
<b>Figura 24.</b>	<i>Secuencia de pasos y procesos para la Implementación del Sistema de</i> .....	83
<b>Figura 25.</b>	<i>Secuencia de pasos y procesos para la Implementación del Sistema de Información.</i> .....	84

## INDICE DE CARTOGRAFIA TEMATICA

<b>MAPA Nº 1</b>	Mapa de la Red Vial.....	20
<b>MAPA Nº 2.</b>	Mapa Fisiográfico.....	41
<b>MAPA Nº 3.</b>	Espacio Imagen. ....	44
<b>MAPA Nº 4.</b>	Mapa de pendiente. ....	45
<b>MAPA Nº 5.</b>	Mapa de suelos.....	47
<b>MAPA Nº 6.</b>	Mapa de aptitud de suelos con fines de riego.....	49
<b>MAPA Nº 7.</b>	Mapa de cobertura y uso actual de tierras.....	51
<b>MAPA Nº 8</b>	Mapa Geológico.....	58
<b>MAPA Nº 9</b>	Mapa Hidrográfico.....	60
<b>MAPA Nº 10.</b>	Mapa de Nuevos sitios de Embalse.....	67
<b>MAPA Nº 11.</b>	Mapa de Isoyetas y polígonos de Thiessen. ....	71
<b>MAPA Nº 12.</b>	Mapa de Coeficientes de Escurrimiento.....	74

## INDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografías Nº 1y 2.</b>	<i>Trabajo de Campo. Equipo técnico de la UDRS de Oruro junto a comunarios. ....</i>	27
<b>Fotografía Nº 3 y 4.</b>	<i>Laguna colindante a la Represa hidroeléctrica del Municipio de Todos Santos, ..</i>	52
<b>Fotografías Nº 5y 6.</b>	<i>Ríos Pizan y Todos Santos respectivamente. ....</i>	53
<b>Fotografía Nº 7.</b>	<i>Población de Todos Santos.....</i>	53
<b>Fotografías Nº 8 y 9.</b>	<i>Dispersa de arbustos en sustrato arenoso matas y cojines (Lampaya medicinalis). ..</i>	54
<b>Fotografías Nº 10 y 11.</b>	<i>Dispersa de arbustos siempre verde (Baccharis incarum - Ñacatolar).....</i>	54
<b>Fotografía Nº 12y 13.</b>	<i>Herbáceo graminoide césped vivaz no saturado. Municipio de Sabaya.....</i>	55
<b>Fotografía Nº 14 y 15.</b>	<i>Herbácea graminoide de césped vivas o perenne turboso saturado .....</i>	55
<b>Fotografía Nº 16.</b>	<i>Matorral ralo o denso siempre verde en sustrato rocoso, xeromorfo .....</i>	56
<b>Fotografía Nº 17.</b>	<i>Superficie descubierta erial inestable depósitos arenosos .....</i>	56
<b>Fotografía Nº 18.</b>	<i>Sistema de riego de la comunidad de Todos Santos.....</i>	63

## INDICE DE ANEXOS

### Anexo I: Tablas.

<b>Tabla 1.</b>	Red meteorológica en la cuenca y alrededores. ....	96
<b>Tabla 2.</b>	Precitaciones media mensual Cuenca del Río Todo Santos .....	96
<b>Tabla 3.</b>	Evaporación. (mm/día) – Estación de Todo Santos (mm/mes).....	96
<b>Tabla 4.</b>	Temperaturas Medias, Mínimas y Máximas.....	96
<b>Tabla 5.</b>	Ubicación de estaciones de aforo.....	97
<b>Tabla 6.</b>	Registro de caudales mensuales (aforados método flotador) m <sup>3</sup> /s Río Todo Santos.....	97
<b>Tabla 7.</b>	Caudales puntuales Cuenca Todos Santos 21/10/04 .....	97
<b>Tabla 8.</b>	Interpolación de Radiación Extraterrestre Ra Expresada en Equivalente .....	97
<b>Tabla 9.</b>	Determinación de la precipitación media mensual (Método de Polígonos de Thiessen).....	98
<b>Tabla 10.</b>	Balance hídrico de la Cuenca del Río Todos Santos .....	100

### Anexo II: Métodos

<b>Método 1.</b>	Clases Mayores de Cobertura.....	107
<b>Método 2.</b>	Ordenamiento Jerárquico de los Criterios Seleccionados para la Clasificación.....	108
<b>Método 3.</b>	Parámetros para la Clasificación de Suelos por su Aptitud para el Riego.....	110
<b>Método 4.</b>	Tabla para la obtención del Número de Curva par a condiciones medias de humedad. ....	112
<b>Método 5.</b>	Clasificación de suelos, según el grupo hidrológico de suelos del SCS.....	113

## **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación se realizó en el Ex – Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios (MACA), a través del Programa de apoyo a la Descentralización del Subsector Riego (PSAC) conjuntamente la Unidad Departamental de Riego y Suelo (UDRS), estos elaboraron una metodología de identificación y validación de proyectos de riego con enfoque cuenca, con este fin se desarrolló la caracterización biofísica en función al riego de la Cuenca del Río Todos Santos del Departamento de Oruro, por tanto se determinó sus características biofísicas, la situación existente del riego y el balance hídrico, implementando simultáneamente un Sistema de Información Geográfico, es así que se recopiló, sistematizó información secundaria y se elaboró información primaria, mediante la digitalización, procesamiento de una imagen de satélite, superposición y sobreposición de mapas matriciales, de esta manera se determinó que el 47 % de los suelos no son aptos para riego, el 46.19% se encuentra cubierta por arbustos siempre verdes xeromorficos, microfilos (tolares), el 81.21% representa para el sector agropecuario, áreas de pastoreo, además se localizaron 3 proyectos de riego, 21 sistemas de microriego y 23 sistemas de riego existentes, también se encontró que el 38.72% de la superficie de la cuenca tiene un coeficiente de escurrimiento de 0.2, el volumen promedio de escurrimiento de la precipitación media mensual y al 75% de ocurrencia es de 1026,10 y 362,57m<sup>3</sup>/mes/km<sup>2</sup> respectivamente, el promedio del déficit hídrico de la Cuenca de Todos Santos, con valores de precipitación media mensual y al 75% de ocurrencia es de 69.55 y 85.24 mm/mes respectivamente, se implementó un sistema de información biofísico, con base en un programa especializado, que coadyuvará a la identificación y validación de proyectos de riego y planificación de acciones con enfoque cuenca.

## **SUMMARY**

The present investigation work carried out in the Ex Ministry of Rural and Agricultural Matters (MACA), through the support Program to the Decentralization of the Subsector Watering (PSAC) jointly the Departmental Unit of Watering and Floor (UDRS), they elaborated an identification methodology and validation of watering projects with focus basin, with this end it development the biophysical characterization in function to the watering of the River Basin All Santos of the Department of Oruro, therefore it determines their biophysical characteristics, the existent situation of the watering and the balance hídrico, implementing a Geographical System of information simultaneously, so it was gathered, systematized secondary information and elaborated primary information, by means of the digitization, prosecution of a satellite image, superposition and overlapping of matrix maps, this way it determines that 47% of the floors is not capable for watering, 46.19% is covered for bushes always green xeromorphics, microfilos (tolares), 81.21 % represents for the agricultural sector, shepherding areas, 3 watering projects were also located, 21 micro watering systems and 23 watering systems exist, it was also found that 38.72% of the surface of the basin has a coefficient of glide of 0.2, the volume average of glide of the monthly half precipitation and to 75 occurrence% it is respectively of 1026,10 and 362,57m<sup>3</sup>/ month /km<sup>2</sup>, the average of the deficit hídrico of the Cuenca of All Santos, with securities of monthly half precipitation and to 75 occurrence% it is respectively of 69.55 and 85.24 mm/ month, you implements a biophysical system of information, with base in a specialized program that will cooperate to the identification and validation of watering projects and planning of stocks with focus basin.

## 1 INTRODUCCION

Tradicionalmente el Departamento de Oruro se caracteriza por su potencial minero, asignando al sector agrícola la obtención de productos básicos, orientados al autoconsumo. Uno de los principales problemas del sector agropecuario, es la baja productividad, que se manifiesta en los escasos rendimientos de cultivos, ganado y fuerza de trabajo, esta situación es causada por la pérdida de la capacidad productiva del suelo, acceso problemático a esta, inadecuados servicios a la producción, ineficiente articulación de la cadena producción-consumo, insuficiente desarrollo de servicios financieros rurales, desarticulada gestión pública sectorial, poca capacidad de inversión en el riego y carencia de mejoras de la tierra e investigación tecnológica (MACA – PRONAR 2004).

Por ello y con el propósito de desarrollar infraestructura de apoyo a la producción en el país, el Ex-Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios (MACA), elaboró la Estrategia Nacional de Desarrollo Agropecuario y Rural (ENDAR), el mismo prioriza al riego, con el objeto de contribuir al incremento del ingreso de los productores agropecuarios, a la seguridad alimentaria y a la reducción de la pobreza rural en un marco de equidad social y cultural.

Ante esta realidad, el Ex – MACA ve como necesidad adoptar un instrumento operativo, que coadyuve a la toma de decisiones, para la asignación de recursos económicos a proyectos que contribuyan al desarrollo de una agricultura sostenible, con el fin de optimizar el uso de los recursos naturales y mejorar el nivel de vida de sus habitantes.

En este sentido, a través del Programa de apoyo a la Descentralización del Subsector Riego (PSAC) y las Prefecturas de los diferentes Departamentos de Bolivia, el Ex - MACA ha previsto en el POA/2004, **realizar una metodología de identificación y validación de proyectos de riego con enfoque de cuenca**, para su canalización y financiamiento en próximas gestiones. Para este fin, se desarrolló la caracterización biofísica con enfoque de cuenca, de siete unidades hidrográficas, situadas en los departamentos que cubre el PSAC, entre las cuencas seleccionadas para la validación de proyectos de riego y microriego, esta la cuenca del Río Todos Santos del Departamento de Oruro.

Al respecto, el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) conjuntamente a la Percepción Remota (PR), posibilitan implementar Sistemas de Información Territoriales, a través de la generación, almacenamiento, análisis de información primaria (tipo de suelos, pendientes, cobertura y uso actual de tierras, etc) y generación de información derivada (aptitud de suelos con fines de riego, etc), con el objeto de conformar una visión integrada del estado de los recursos naturales de la cuenca, de manera que coadyuven a la elección de proyectos de riego, que contribuyan al desarrollo sostenible de la región.

### **1.1 Justificación.**

Los municipios que conforman la Cuenca de Todos Santos, poseen clima difícil, su población es dispersa, pequeña y con baja productividad. El 70 % se dedica a la producción agropecuaria, el 97,9 % es de condición pobre, teniendo un bajo Índice de desarrollo humano (0,68), según el informe del PNUD (2003).

Percibiendo esta realidad, es preciso fomentar, el incremento del ingreso de los productores agropecuarios, la seguridad alimentaria y la reducción de la pobreza rural. Es así que la población de la Cuenca del Río Todos Santos, demanda proyectos de riego y microriego, con el fin de incrementar el área bajo riego, mantener y rehabilitar bofedales<sup>1</sup>, y así asegurar la producción agrícola y pecuaria, puesto que estos son los rubros más importantes de la población.

Ante este panorama, es imperioso contar con un instrumento operativo que permita sustentar la conclusión sobre la elegibilidad y factibilidad de un proyecto de riego con enfoque de cuenca, de manera que coadyuve a la toma de decisiones para la asignación de recursos económicos.

Al respecto una de las limitantes, es la falta de una herramienta que permita el manejo de bastante información de tipo espacial y no espacial, de manera integrada a nivel de cuenca, esto es un Sistema de Información Geográfico (SIG), que permita elaborar, almacenar, analizar información primaria y generar información derivada, con el fin de contribuir a la identificación y validación de proyectos de riego, acordes con el desarrollo sostenible de la región.

---

<sup>1</sup> Habitats naturales húmedos con agua permanente, con vegetación siempre verde

Otra de las limitantes, es la falta de información cartográfica, en formato digital, que describa las características biofísicas de la Cuenca de Todos Santos, la situación existente respecto al riego y además cumpla con las exigencias de un Sistema de Información Geográfico (ubicación geográfica, base de datos, etc.).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

- Caracterizar los componentes biofísicos de la Cuenca Todos Santos del Departamento de Oruro en función del riego empleando teledetección y sistemas de información geográfica.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Determinar las características biofísicas de la Cuenca Todos Santos.
- Caracterizar la situación existente respecto al riego.
- Determinar el balance hídrico con enfoque de cuenca.
- Implementar un sistema de información geográfico, que coadyuvé a la identificación y validación de proyectos de riego así como en la planificación de acciones con enfoque de cuenca.

### **3 REVISION BIBLIOGRAFICA**

#### **3.1 Metodología para la caracterización biofísica de cuencas en función al riego.**

Para el MACA-PSAC (2004), la caracterización biofísica en función del riego con enfoque de cuenca, es un criterio empleado en la “*Guía para la Identificación y Validación de Proyectos de Riego y Microriego con Enfoque de Cuenca*”, dicha metodología sugiere la descripción de los componentes del medio biofísico de una cuenca, que tengan algún grado de relación con el ámbito del riego, empleando los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y teledetección.

Acerca de la metodología para la caracterización del medio biofísico de cuencas empleando SIG, Castillo (2001), define a la Zonificación Agro-Ecológica (ZAE) como una metodología para computadoras desarrollada por FAO, empleada para estratificar el territorio. La naturaleza del análisis de la ZAE, implica la combinación de capas de información espacial para definir zonas agro-ecológicas, que son unidades cartográficas definidas en términos de clima, fisiografía y suelos, y/o cubierta de tierra, que tiene un rango específico de limitaciones y potencialidades para el uso de tierras.

#### **3.2 Cuenca Hidrográfica**

Vásquez et al. (2000), definen a la cuenca hidrográfica como el área natural o unidad de territorio, delimitada por una divisoria topográfica, que capta la precipitación y drena el agua de escorrentía hasta un colector común, denominado río principal.

Se la define también como un sistema dinámico con componentes físicos (agua, aire, suelo, clima, minerales, etc), biológicos (flora, fauna) y antropogénicos (socioeconómicos, culturales, institucionales), Interrelacionados y en equilibrio (Dardón y Morales, 2002).

##### **3.2.1 Componentes biofísicos de una cuenca hidrográfica**

Valdez (2003), señala que los componentes biofísicos son representados por los recursos naturales existentes en la cuenca, entre ellos podemos mencionar: La ubicación, superficie, relieve, formación de los recursos naturales, clima, agua, suelos, erosión, sedimentación y otras.

Faustino (2004), al respecto señala que el subsistema biofísico de una cuenca hidrográfica, esta integrado por el suelo, subsuelo, geología, recursos hídricos, vegetación y el clima (temperatura, humedad, evaporación, etc.).

#### **3.2.1.1. Pendientes.**

La pendiente es una forma de medir el grado de inclinación del terreno. A mayor inclinación mayor valor de pendiente, se mide calculando la tangente de la superficie, dividiendo el cambio vertical en altitud, entre la distancia horizontal. Generalmente la pendiente se expresa en planimetría como un porcentaje (%) de pendiente, que equivale al valor de la tangente (pendiente) multiplicado por 100 (Bosque, 2001).

Se pueden determinar pendientes y elevaciones, a partir de un Modelo Digital de Terreno (MTD), expresada en porcentaje (%) o puede ser igualmente calculada en grados. El cambio de elevación (pendiente), en el caso de un MDT, el trayecto mínimo lo constituye un píxel (Mehl y Mies, 1997).

#### **3.2.1.2. Cobertura y uso actual de la tierra.**

Para Agreda (2002), los mapas de cobertura y uso actual de la tierra, muestran unidades de cobertura superficial cualquiera sea su origen, por tanto no se trata de vegetación, ya que los mapas de vegetación utilizan sistemas de clasificación muy diferentes a los aplicados a las unidades de los mapas de cobertura y uso actual de tierras, cuya base de organización es geográfica y se fundamenta en unidades de cobertura relativamente homogénea.

También se considera que el uso actual de la tierra, es el empleo que se está haciendo de un terreno en un momento dado y que es el reflejo de la actividad humana o ausencia de la misma sobre el área en cuestión (Ricaldez, *s.f.*).

#### **3.2.1.3. Clasificación de suelos por su aptitud para riego**

La clasificación de suelos con fines de riego, se realiza en base a la interpretación de las características y propiedades físico-químicas de los suelos, de acuerdo a lineamientos del Sistema de Clasificación del BUREAU OF RECLAMATION de los EE.UU, que considera factores físicos de la tierra como: suelo, topografía y drenaje. Este sistema agrupa a los suelos por su aptitud para el riego en seis clases (Chilón, 1996).

De la misma manera Saavedra (2000), señala que dicha clasificación consiste en un avalúo sistemático de tierras y su designación por categorías sobre la base de características similares. Se realiza con el fin de establecer la extensión y grado de aptitud de la tierra para una agricultura con riego permanente, se dividen en seis clases, cuatro de ellas son regables, una es temporalmente regable y la última es no regable.

## **I. Riego**

El riego es la aplicación artificial del agua al suelo, para refrigerar el suelo, mejorar las condiciones ambientales, disolver sales contenidas en el suelo y proporcionar la humedad necesaria para que los cultivos puedan desarrollarse, (Motaño *et al.* 2002),

La situación actual del riego en el Departamento de Oruro es deficiente, siendo fundamental la incidencia del mismo en la producción y productividad agrícola. La mayor debilidad que presenta este sector, es la falta de agua por las escasas precipitaciones. La región cuenta con un total de 618 sistemas de riego, la fuente de agua para 223 de estos son los ríos y para los restantes 84 son las vertientes (MACA - PRONAR ,2004)

### **3.3 Balance hídrico de cuencas.**

Vásquez *et al.* (2000), señalan que el balance hídrico o estudio de abastecimiento de agua, principalmente con fines de riego y/o energéticos, implica fundamentalmente el estudio de la relación entre la entrada, salida y almacenamiento de agua.

Para determinar el Balance Hídrico Microregional de Bolivia, Molina *et al.* (2004), se basaron en el análisis de los tres términos principales del balance: precipitación, evapotranspiración y escorrentía superficial. Concluye su investigación señalando que “ se puede determinar la oferta de agua a nivel mensual mediante el balance hídrico de cuenca, este permitió además la evaluación indirecta de la precipitación, al responder a la interrogante de qué cantidad de lluvia se requiere para que se produzca una determinada escorrentía a la salida de una cuenca.”

#### **3.3.1 Estimación de la disponibilidad de agua (Método Racional).**

Vásquez *et al.* (2000), sugieren el empleo del Método Racional, para determinar el volumen de agua de escorrentía de cuencas pequeñas, aunque también señala que el tamaño de esta, no es condición estricta para su empleo (Ver **Ecuación I**).

(Ecuación I)

$$V = 1000 C * P * A$$

Donde:

V = Volumen de agua de escorrentía (m<sup>3</sup>)

C = Coeficiente de escorrentía

P = Precipitación total (mm)

A = Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Según Ferrer (1993) citado por Sánchez (2004), este método se puede emplear en cuencas hasta de 3000 km<sup>2</sup>, utilizando un coeficiente reductor de área (ARF), este corrige el hecho de que la distribución de la precipitación no es uniforme geográficamente y no es simultánea en toda la cuenca (Ver **Ecuación II**).

(Ecuación II)

$$ARF = 1 - \frac{\text{Log Superficie (Km}^2\text{)}}{15}$$

Donde:

ARF = Coeficiente reductor de área

### 3.3.1.1. Coeficiente de Escorrentía

El coeficiente de escorrentía, representa la fracción del agua de lluvia que no se infiltra, se expresa con valores comprendidos entre 0 y 1, un coeficiente 1 representa una escorrentía de 100 por el 100 del agua caída, esta en función de la textura (velocidad de infiltración), pendiente y cobertura vegetal del terreno (Aguilo et al., 1991).

Para realizar el balance hídrico de cuencas Zehl (1999), propone una metodología para generar automáticamente coeficientes de escurrimiento (CE), empleando los Sistemas de Información Geográficos, el mismo genera mapas matriciales llamados también capas de información de cada una de las variables que requiere la matriz para calcular los CE (Ver **Cuadro 1**).

**Cuadro 1.** Matriz para determinar automáticamente coeficientes de escurrimiento.

VEGETACION	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	PENDIENTES				
		>50%	50 - 20%	20 - 5%	5 - 1%	< 1%
Sin vegetación	Bajo	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Moderado	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Alto	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Bajo	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Moderado	0,50	0,55	0,50	0,45	0,40
	Alto	0,40	0,35	0,30	0,30	0,25
Pasto, Vegetación abierta	Bajo	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Moderado	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Alto	0,35	0,30	0,25	0,30	0,15
Arbustos	Bajo	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Moderado	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Alto	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque, vegetación densa	Bajo	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Moderado	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Alto	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Fuente: Zehl (1999),

### 3.3.1.2. Estimación del déficit de humedad de una cuenca.

Para estimar el déficit hídrico a nivel cuenca empleando los Sistemas de Información Geográfica (SIG), Zehl (1999), propone una ecuación que esta en función de la evapotranspiración potencial (ETp), la precipitación efectiva (Pe) y el almacenamiento de agua en el suelo (S).

(Ecuación III)

$$Deficit = ETp - P_{(ef)} \pm S_{(a) \text{ mes} - 1}$$

Donde:

ETp = Evapotranspiración potencial

P<sub>(ef)</sub> = Precipitación efectiva

S<sub>(a) mes - 1</sub> = Almacenamiento de agua en el suelo.

Al respecto PROMIC (2001), señala que “el modelo del Número de la Curva de Escurrimiento (CN) del Servicio de Conservación de Suelos (SCS), estima la humedad antecedente del suelo (S) a través de la relación con el CN”. Es así que si el CN = 100, equivale a que S = 0, este método tiene en cuenta las perdidas posibles y el resultado proporciona la precipitación eficaz sobre una zona, que es la cantidad de agua que no circula por el terreno y se queda retenida tras una precipitación **P** (Ver **Ecuación IV**).

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

Donde:

$S$  = Potencial máximo de retención de un volumen del total de la precipitación.

$P_e$  = Precipitación efectiva.

$P$  = Precipitación total (mm)

### 3.4 Implementación de un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Castillo (2001), indica que para crear un sistema de información de recursos de Tierra para la planificación, se emplea los siguientes procedimientos:

- Recopilación, selección, generación de información de acuerdo principalmente a los propósitos del Sistema y su posterior ingreso al SIG.
- Estratificación del espacio físico y de la población. Basado principalmente en los conceptos de la ZEA y algunas **adaptaciones realizadas por el Proyecto**.
- Definición de aptitud biofísica utilizando la metodología de Evaluación de Tierras de FAO (1976,1994), generando una matriz inicial de aptitud e informaciones asociadas para las unidades por cada uno de los tipos de uso evaluado.
- Generación de diversos escenarios de acuerdo a objetivos predeterminados. generando nuevas matrices y otros que tomando las matrices generadas realizan un proceso de optimización de usos de acuerdo a los criterios proporcionados por el planificador y la comunidad.
- Los resultados obtenidos y las informaciones integradas se presentan en un SIG lo que **deberá apoyar al proceso de negociación del uso de la tierra**.

Al respecto Molina (2004), afirma que para implementar un Sistema de Información Geográfico al proyecto “*Balance Hídrico Microregional de Bolivia*”, género mediante el uso de un programa informático especializado, un sistema de información territorial, con el fin de generar mapas temáticos y modelos digitales de elevación.

### **3.4.1 Sistemas de Información Geográfica (SIG).**

Castillo (2001), define a los SIG como el Conjunto de procedimientos organizados que permiten el ingreso, consultas, despliegue gráfico, análisis, modelamiento y la salida de nueva o mejor información con connotación espacial (información geográfica) a través de una base de datos geográfica que contiene las ubicaciones espaciales, sus descriptores (atributos) y las relaciones topológicas de los elementos geográficos.

Actualmente estas herramientas tienen gran importancia al considerarlas en la implementación de sistemas de información territoriales ya que por su versatilidad en el manejo de información (espacial y atributos) le permiten representar de mejor forma las relaciones sociedad – naturaleza los dos pilares de la planificación del territorio.

### **3.5 Modelo Digital de Elevación (MDE).**

Según Fallas (2004), un modelo digital de elevación (MDE) es una representación numérica de la superficie terrestre. La fuente de datos utilizados para elaborar MDE son ubicaciones (X,Y) con sus respectivos valores de elevación (Z), al interpolar estos valores se crean superficies en la cual cada celda tiene un valor de elevación.

Para Felicísimo (s.f.), los TIN (triangulated irregular network), son una alternativa que brindan los SIG para elaborar MDE. Los TIN están constituidos por un conjunto de triángulos irregulares adosados, estos se construyen ajustando un plano en tres puntos cercanos no colineales y se adosan sobre el terreno formando un mosaico que puede adaptarse a la superficie con diferente grado de detalle, en función a la complejidad de su relieve.

### **3.6 Teledetección.**

Kifer (1994), citado por Fallas (2004), define a la teledetección como un medio o proceso utilizado para obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre, a través de sensores provenientes de satélites (imágenes satelitales) u aviones (fotografías aéreas).

Al respecto de la utilización de esta tecnología en Bolivia, Agreda (2002), con el fin de elaborar un mapa de cobertura y uso actual de tierras, proceso imágenes de satélite LANDSAT 7 ETM+, con el fin de obtener información cualitativa y cuantitativa de la superficie terrestre.

### 3.6.1 Espectro Electromagnético (EE).

El espectro electromagnético, es una serie de bandas espectrales, comprende las longitudes de onda más cortas (rayos gamma, rayos X) hasta las Kilometricas (Telecomunicaciones). Para medir las mas cortas se usan los micrones  $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$  y las mas largas cm o m, otra forma de medirlas o designarlas es por la frecuencia en GHz, donde  $1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ Hz}$  ( Chuvieco, 1996).

Sanabria (2002), destaca una serie de bandas espectrales, que son las más frecuentemente empleadas en percepción remota, estas son: Espectro visible (0.4 a 0.7  $\mu\text{m}$ ), Infrarrojo cercano (0.7 a 1.3  $\mu\text{m}$ ), Infrarrojo medio (1.3 a 8  $\mu\text{m}$ ), Infrarrojo lejano o térmico (8 a 14  $\mu\text{m}$ ), Microondas (a partir de 1 mm).

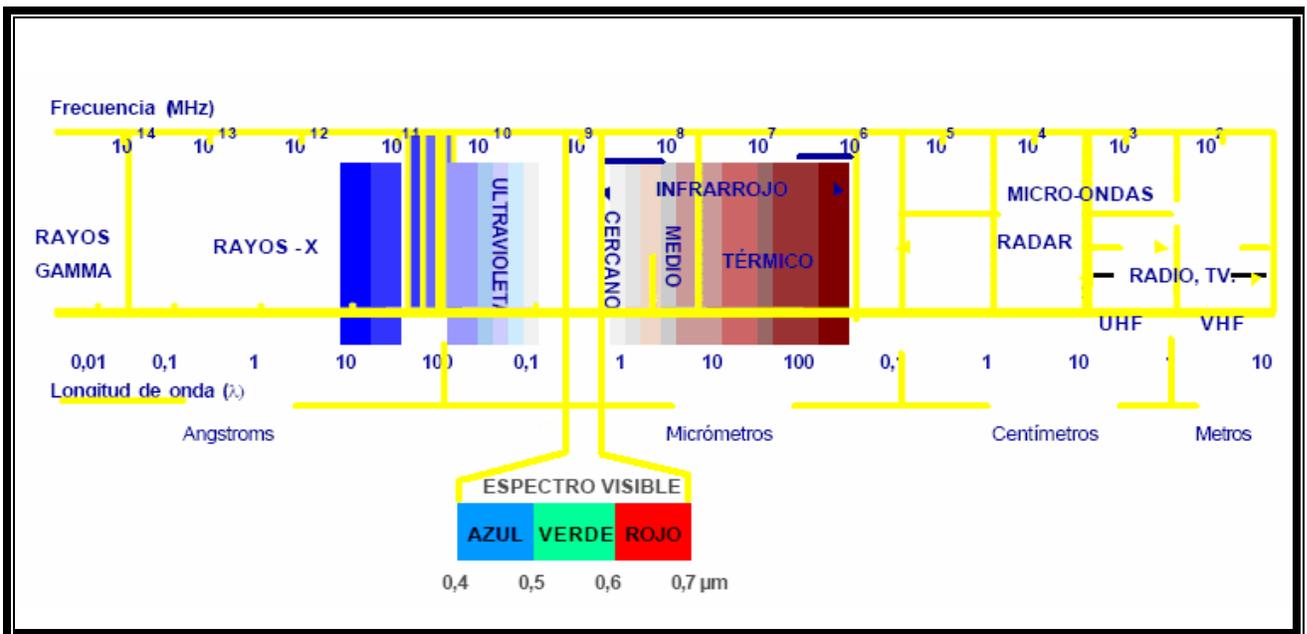


Figura 1. Espectro electromagnético (Chuvieco, 1996).

### 3.6.2 Características de la Imagen Landsat 7 ETM+.

La resolución espacial del Landsat 7 ETM+, señala que las bandas del espectro visible y del infrarrojo conservan una resolución espacial de 30m (bandas 1,2,3,4,5 y 7), las bandas del infrarrojo térmico (canales 6L e 6H) poseen una resolución de 60 metros, la banda pancromática (canal 8), tiene 15 m de resolución espacial. En lo concerniente a la resolución radiométrica de las bandas espectrales, estas son detalladas en el siguiente cuadro (AEROTERRA, 2006).

**Cuadro 2.** Características de la Imagen Satelital Landsat 7 ETM +

IMÁGENES DESDE ABRIL DE 1999							
Sensores			Multiespectral	Térmico	Pancromático	Espectro electromagnético	
Resolución espacial (m/px)*			30	60	15		
B A N D A S  E S P E C T R A L E S	#1	Azul	450 - 520 nm			0,45 - 0,52 μm	
	#2	Verde	520 - 600 nm			0,52 - 0,60 μm	
	#3	Rojo	630 - 690 nm			0,63 - 0,69 μm	
	#4	VNIR (Bandas visible y cercana a infrarrojo).		760 - 900 nm			0,73 - 0,90 μm
	#5	SWIR ( Bandas infrarrojas de corta longitud de onda)		1.550 -1.750 nm			1,55 - 1,75 μm
	#6	LWIR (Banda térmica de infrarrojos de larga longitud de onda).			10.400-12.400 nm		10,40 - 12,50μm
	#7	SWIR ( Bandas infrarrojas de corta longitud de onda)		2.080 - 2.350 nm			2,08 - 2.35 μm
	#8	Pancromático				520 - 900 nm	0.52 - 0.90 μm
Ancho de barrido			185 km	185 km	185 km		

Fuente: AEROTERRA (2006).

### 3.6.3 Procesamiento de Imágenes de Satélite

El procesamiento de Imágenes de Satélite LANDSAT 7 ETM+, es empleado con el propósito de obtener imágenes con realces espectrales adecuados y que se ajusten a un determinado sistema de proyección genérico. (Agreda, 2002),

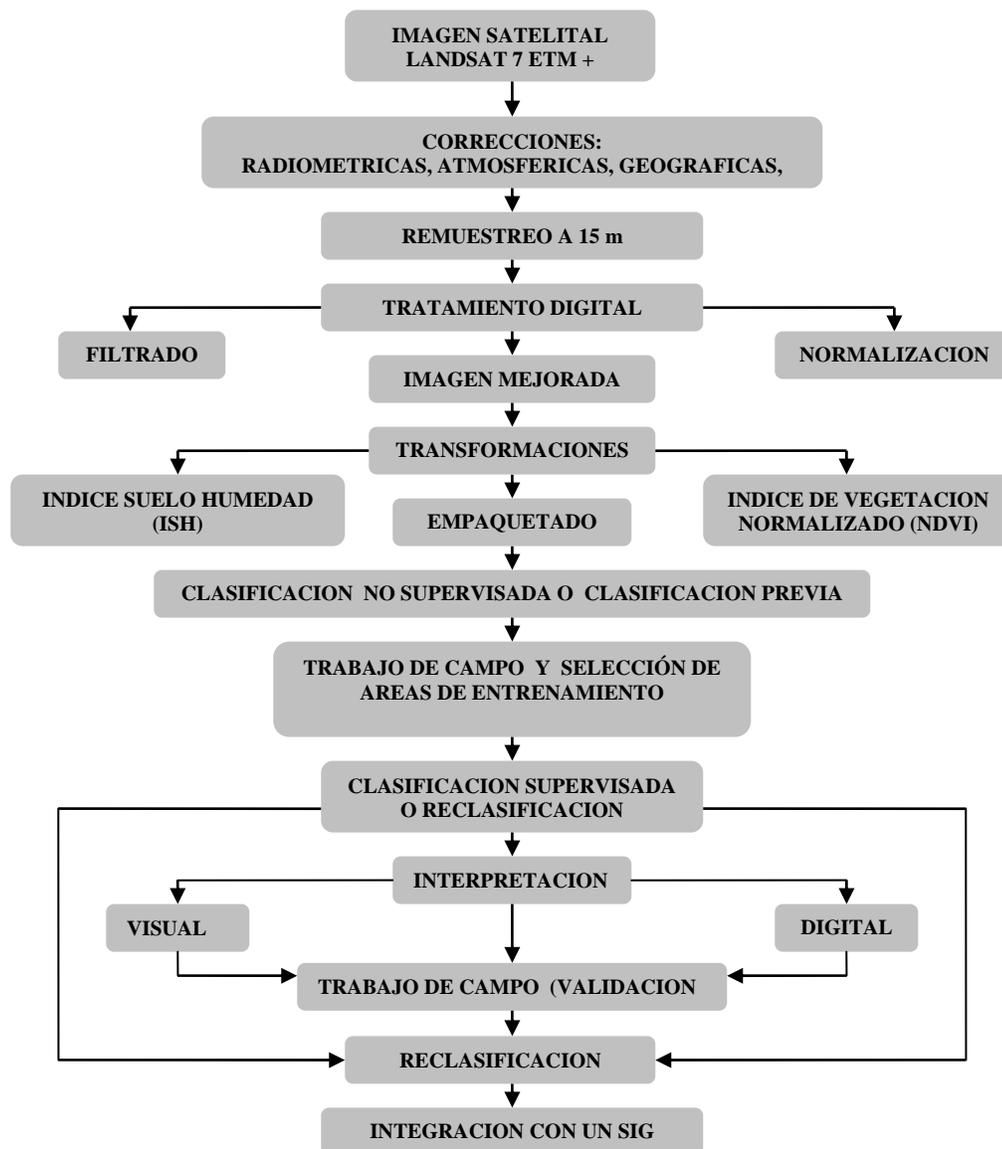
Al respecto Michel (2003), señala que son técnicas de geoprocésamiento digital realizadas con el apoyo de un software, cuya función es facilitar la identificación y extracción de la información contenida en una imagen digital. La **Figura 2**, muestra una secuencia de procesos, para el tratamiento de una imagen de satélite descrito en la Propuesta Metodológica para la Actualización del Mapa Forestal de Bolivia.

#### 3.6.3.1. Correcciones atmosféricas y radiométricas.

La corrección atmosférica según Michel (2003), es un proceso realizado para eliminar distorsiones que presenta la imagen por efectos debidos a la atenuación que sufre la radiación en la atmósfera, estos efectos ocasionan distorsiones radiométricas, traducidos en la presencia de ruido en la imagen.

Agreda (2002), señala que es un proceso, que implica la modificación de los valores digitales originales, con el propósito de obtener imágenes con contrastes mejorados que ayuden a la interpretación visual.

\* Metros por píxel



**Figura 2.** Flujograma del procesamiento de Imágenes de Satélite. (Michel 2003)

Agreda (2002), señala que es un proceso, que implica la modificación de los valores digitales originales, con el propósito de obtener imágenes con contrastes mejorados que ayuden a la interpretación visual.

### 3.6.3.2. Correcciones Geométricas.

Según Mehl *et al.* (1997), muchas aplicaciones con datos provenientes de un sensor remoto, requieren de una gran precisión geométrica, por esto, las imágenes deben ser corregidas geométricamente, proceso que se denomina geocodificación o georreferenciación.

Este proceso involucra incluir parámetros geográficos a la imagen de satélite, estos son latitud y longitud (Agreda, 2002).

### **3.6.3.3. Índice de Humedad del Suelo (ISH)**

Sanabria (2002), citado por Michel (2003), señala que el ISH permite conocer el tipo de suelo, según su tipo de reflexión electromagnética, para ello se utiliza la banda 5, sensible a la cantidad de agua presente en los suelos y la banda 2 que discrimina la humedad, la operación es un cociente, que permite acrecentar las diferencias entre ambas.

### **3.6.3.4. Índice de Vegetación Normalizado (NDVI)**

Shimabukuro et al. (1999) citado por Michel (2003), señala que la función del NDVI es resaltar el comportamiento espectral de la vegetación en relación a los suelos. El principio en el que se basa el NDVI es “cuanto mayor es el contraste entre las asignaturas espectrales en la región del rojo e infrarrojo próximo, mayor es el vigor de la vegetación en el área”.

Además representa la cantidad y el vigor de la vegetación, está estrechamente relacionado con el tipo de vegetación, condiciones climáticas, así como con el patrón predominante de uso de las tierras. Los tonos de verde oscuro a verde claro y amarillo representan la gradación de la vegetación, de densa/vigorosa a escasa/débil; con el color blanco así como el gris claro se identifican los índices negativos correspondientes a lugares sin vegetación, como por ejemplo caminos y suelo descubierto (Volante et al. 2003).

### **3.6.3.5. Clasificación no supervisada.**

Según Soria *et al.* (1998), la clasificación no supervisada procede de una búsqueda automática de grupos de valores homogéneos dentro de la imagen, es decir, define las clases espectrales presentes en la imagen. Esto no implica ningún conocimiento del área de estudio.

Es utilizado cuando no hay información disponible, o cuando no se conoce la verdad de campo. Es muy útil este tipo de clasificación, por que también se la combina con una clasificación supervisada, para determinar las signaturas con la primera, verificarlas y corregirlas con la segunda (Mehl *et al.*, 1997).

### **3.6.3.6. Trabajo de Campo.**

Mehl *et al.* (1997), señalan que la técnica de clasificación supervisada requiere la definición de áreas de entrenamiento por el usuario, esas áreas representan conjuntos de píxeles que son clases potenciales para la clasificación. Para definir estas áreas se debe tener información previa sobre la imagen o datos de la realidad del área en cuestión. Para obtener estos datos se puede ir directamente a campo o usar mapas y fotos aéreas.

En el trabajo de campo se realiza la verificación de las unidades clasificadas in situ. Para comprobar que efectivamente responden a la realidad (Michel, 2003).

### **3.6.3.7. Clasificación supervisada.**

La Clasificación supervisada, parte de un conocimiento previo del terreno, a partir del cual se seleccionan las muestras para cada una de las categorías. Esta familiarización con las áreas de prueba, le permite al intérprete delimitar sobre la imagen áreas piloto, que se consideren representativas de las categorías que componen la leyenda. Estas áreas se denominan “Campos de entrenamiento”, cuyo término indica que tales áreas sirven para entrenar al ordenador en el reconocimiento de las distintas categorías. (Soria *et al.*, 1998),

Este método realiza el análisis cualitativo de los datos de teledetección, siendo el usuario del programa quien define las áreas de entrenamiento, previo conocimiento del terreno a clasificar, una vez definidas estas áreas se toman las estadísticas y se usan para hacer la clasificación (Mehl *et al.*, 1997).

## **3.7 Sistema de Posicionamiento Global (GPS).**

Los GPS, son sistemas de navegación, formado por una constelación de 28 satélites, tiene una precisión de +/- 15 metros. Las posiciones de GPS se calculan por medio de la triangulación geométrica con tres o más satélites, la calidad de la constelación se llama “PDOP”, valores de 4.0 o menores se consideran buenos. La calidad de la recepción de señales se mide con la Proporción Señal – Ruido o SNR (Signal to Noise Ratio), valores superiores a 6.0 se consideran inadecuados.

Esta tecnología se usa para ubicar puntos, líneas y polígonos en un mapa, de modo que todos los puntos en ese mapa estén relacionados espacialmente con la realidad ( Sabella 2000).

El cuadro siguiente describe la programación recomendada para el uso de aparatos de GPS en Bolivia.

**Cuadro 3.** Programación recomendada para el uso de aparatos de GPS en Bolivia.

PDOP MASK (filtro PDOP)	4.0
PDOP SWITCH (interruptor PDOP)	4.0
SNR MASK (filtro SNR)	6
ELEVATION MASK (filtro para elevación)	15 GRADOS (GPS móvil) 10 GRADOS (estación - base)
UTM OFFSET (variación de UTM)	-4
COORDINATE SYSTEM (sistema de coordenadas)	UTM
UTM ZONE (zona UTM)	19,20,21(según la ubicación geográfica)
DATUM (en UTM)	SOUTH A MERICA '56
POSITIONAL LOGGING INTERVAL (intervalo de registro de medidas)	1 SEGUNDO
MEASUREMENT LOGGING INTERVAL (intervalo de registro de medidas)	5 SEGUNDOS
UNIT MODE (tipo de aparato)	ROVER (aparato móvil de GPS) Base (estación -base)
DYNAMICS CODE (código de navegación)	LAND
POSITION FIX MODE	Manual 3D
FILTER CONSTANT (constante de filtro)	0.0050

Fuente: Sabella 2000

### 3.8 Mapas Temáticos.

Los mapas temáticos son aquellos que representan un tema determinado ya sean cualitativos o cuantitativos. Están constituidos por los siguientes elementos: Título, localización (coordenadas geográficas), orientación (norte), escala y leyenda. (Silva, 2004).

Muestran sobre un fondo topográfico llamado mapa base, todo tipo de fenómeno cualitativo o cuantitativo, que puede localizarse en el espacio, pueden representar un tema o mas de un tema, los primero son denominados monotemáticos y los segundos politemáticos o mapa de complejos (Mostajo, 2003).

#### 3.8.1 Escala y nivel de detalle

Silva (2004), señala que la escala es la relación que existe entre la distancia de dos puntos en el mapa respecto de la realidad (relación entre el dibujo y el terreno), escalas medias son aquellas entre 1:100.000 y 1:600.000.

En mapas de gran escala el mundo real puede representarse con mucho detalle. Sin embargo, mientras más pequeña la escala del mapa, menos detalle se puede representar, y las generalizaciones cartográficas se tornan más importantes. La escala 1:250.000 corresponde a estudios a nivel de reconocimiento o exploratorio, apropiados para estudios a escala regional o nacional. ( Zehl, 1999),

## 4 LOCALIZACION

### 4.1 Ubicación Geográfica

La Cuenca del Río Todos Santos, forma parte de la unidad hidrográfica del Salar de Coipasa, limita al Norte con la cuenca del Río Lauca Alto, al sur con el Salar de Coipasa, al este con la Cuenca Lauca Bajo y al oeste con la república de Chile. Geográficamente se encuentra situada entre las siguientes coordenadas UTM.

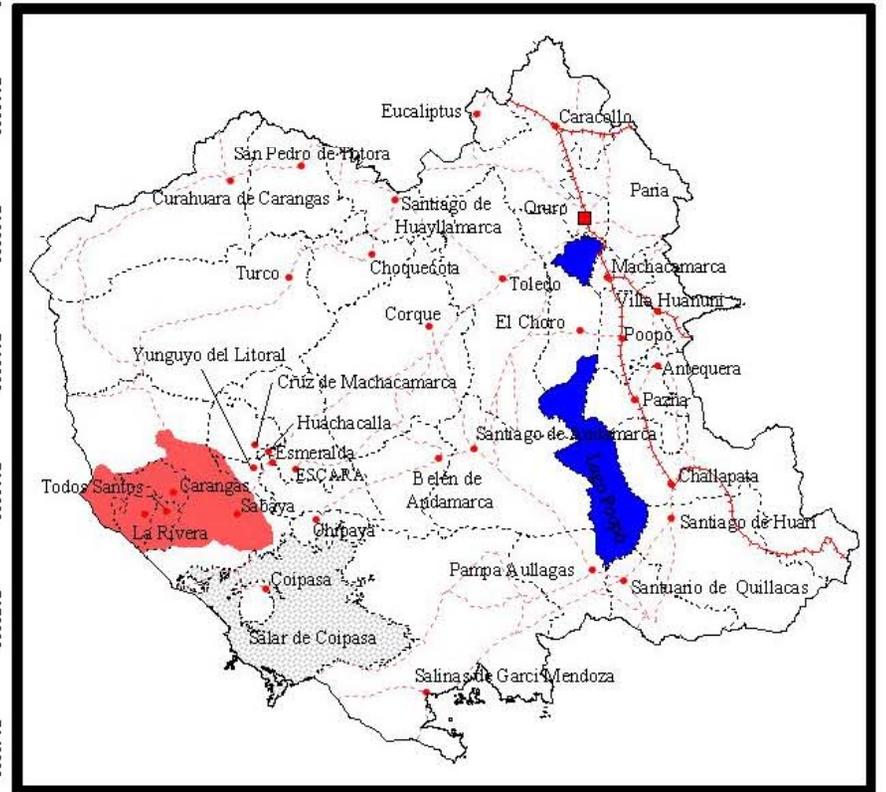
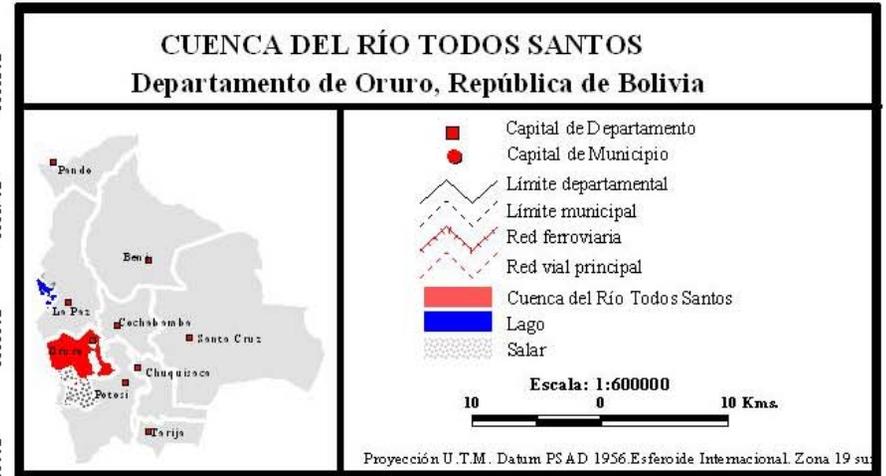
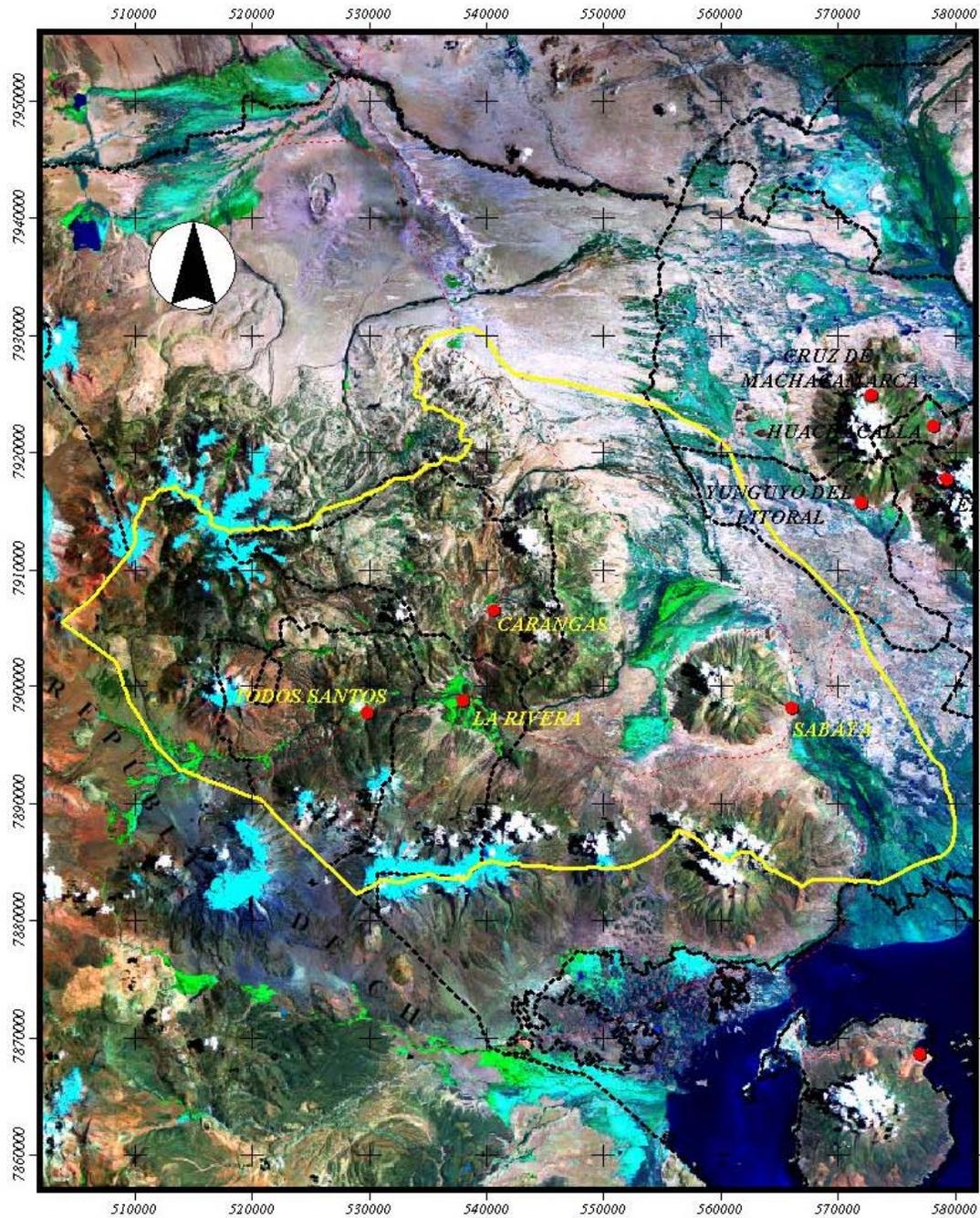
- Nor - Oeste: “503544,21” X , “7930963,27” Y.
- Nor - Este: “580284,74” X, “7930963,27” Y.
- Sur - Oeste: “503544,21 “ X, “7881977,38” Y .
- Sur - Este: “580284,74 “ X, “7881977,38” Y.

Geopolíticamente se sitúa en el Departamento de Oruro, en las provincias Mejillones y Atahuallpa, en los municipios: Sabaya, Todos Santos, Carangas, La Ribera, Cruz de Machacamarca y Yunguyo del Litoral (*Ver Figura 3*). Además se encuentra localizada, a escala 1:50.000 entre las siguientes Cartas Topográficas del IGM<sup>1</sup>: 5837(I –II – III), 5836 (I – IV), 5936 - IV y 5937 (III – IV).

Cuenta con una extensión territorial aproximada de 2172,60 km<sup>2</sup>, no obstante este valor puede variar a razón de que el límite con el vecino país de la República de Chile no es oficial. La principal vía de acceso, es la carretera internacional pavimentada Oruro - Pisiga, tiene un Trafico Promedio Diario Anual (T.P.D.A) de 201 motorizados, de estos el 56% son camiones de alto tonelaje, el 11% son Buses y el restante son automóviles, camionetas y minibuses (S.N.C. 2005). Las demás vías intermunicipales, son de tierra, presentando en época de lluvia los llamados camino de calamina, nombrados así por adoptar la forma de rompemuelleres, causados por el transito de camiones de alto tonelaje, muchos de ellos transportadores de contrabando, que por su condición aplican gran velocidad (*Ver Mapa Nº1*).

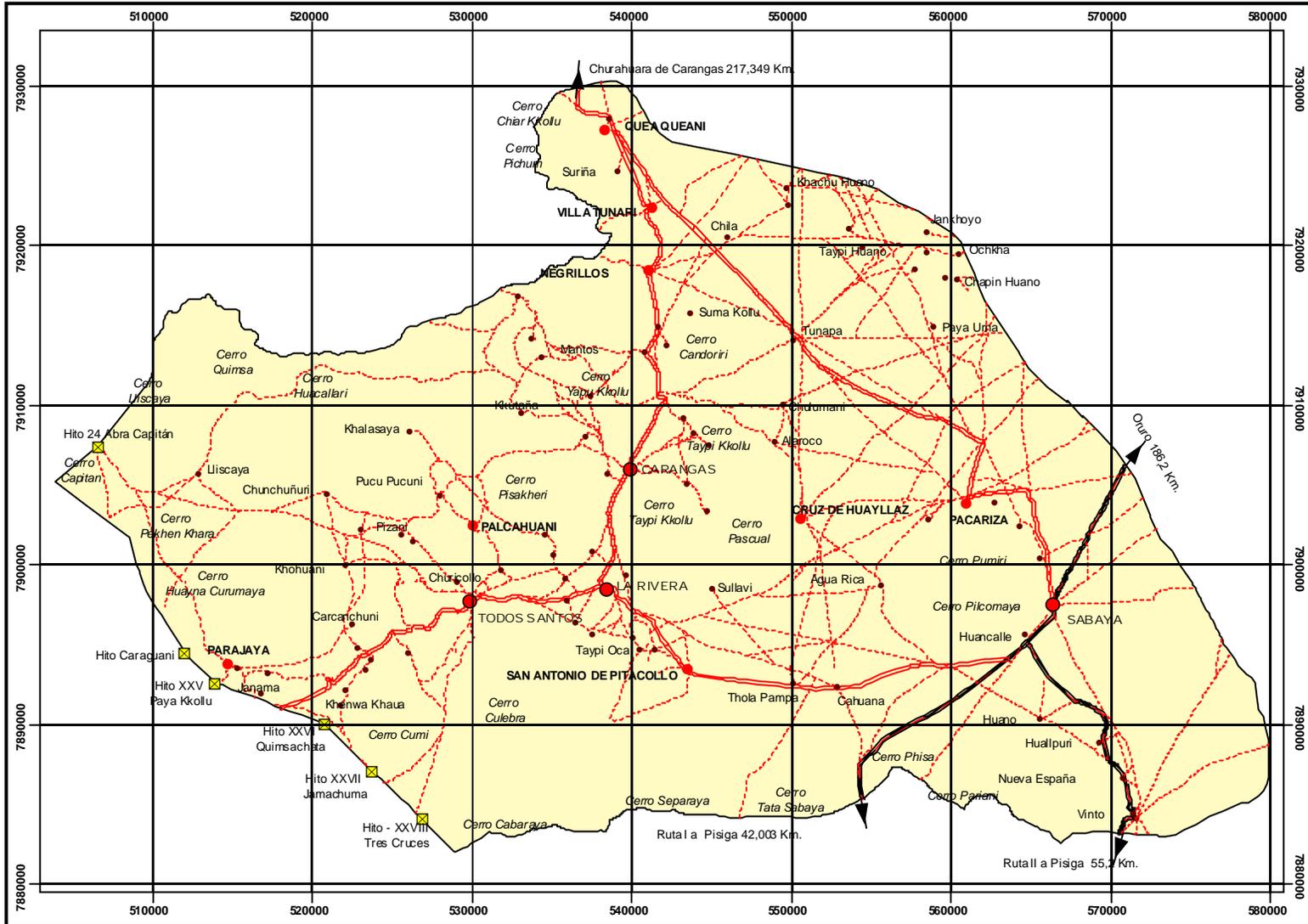
---

<sup>1</sup> Instituto Geográfico Militar



**Figura 3.** Ubicación de la Cuenca del Río Todos Santos

# MAPA Nº 1 Mapa de la Red Vial



**Mapa de la Red Vial**  
**Cuenca del Río Todos Santos**

**LEYENDA**

**SIGNOS CONVENCIONALES**

- Estancias
- Poblados
- Capital de municipio
- Cuenca del Río Todos Santos
- Límite de la cuenca

**REFERENCIAS**

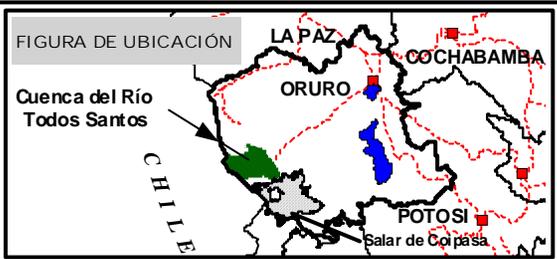
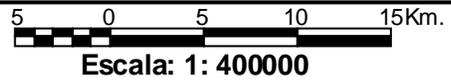
Clasificación por el tipo de red

- Red complementaria nacional
- Red vecinal municipal
- Red vecinal comunal

**Tipo de material**

- Carretera ripiada
- Caminos de tierra
- Roderas de tierra

Fuente: Elaboración propia en base a cartas Topográficas 1:50.000 Instituto Geográfico Militar (IGM)



**REFERENCIA**

Proyeccion Universal Transversa de Mercator  
Referencia horizontal: Datum PSAD 1956  
Esferoide Internacional.  
Zona 19 sur.  
Las lineas negras indican la cuadrícula U.T.M. cada 5Km

Universidad Mayor de San Andrés  
Facultad de Agronomía  
Carrera Ingeniería Agronómica  
Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios  
Prefectura del Departamento de Oruro  
Unidad Departamental de Riego y Suelos  
"Programa de Apoyo a la Descentralización en el Subsector Riego MACA PSAC"  
Tesis elaborado por : Luz Mery Lopez Rafael  
La Paz - Bolivia

## 5 MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Materiales

En este acápite se detallan, todos aquellos materiales y equipos que se emplearon en el transcurso de la investigación.

#### 5.1.1 Materiales y Equipos de Laboratorio

- Cartas topográficas escala 1: 50.000, hojas N° : 5836 I, 5836 IV, 5837 I, 5837 II, 5837 III, 5936 I, 5936 II, 5936 III, 5936 IV, 5937 III, 5937 IV.
- Imagen satelital Landsat 7 TM+, Escena P10-R73.
- Mesa digitalizadora, ploter y scanner.
- Software Arc View 3.2, Erdas 8.5.

#### 5.1.2 Materiales y Equipos de Campo

- Sistema de Posicionamiento Global (GPS) Navegador GARMIN.
- Cámara Digital.
- Formularios.

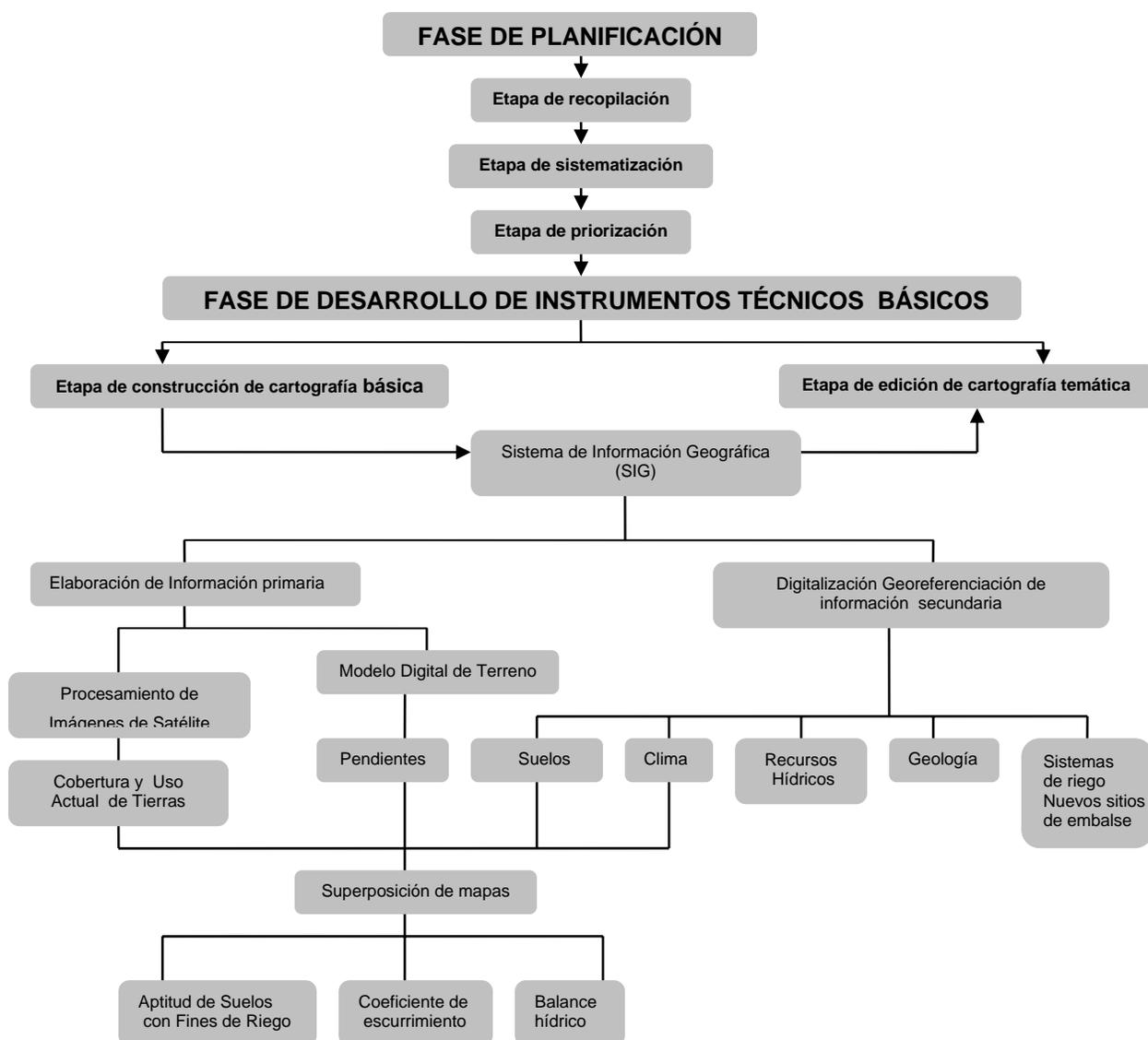
#### 5.1.3 Materiales y Equipo de Gabinete

- Computadora Pentium IV, impresora a color
- Material de escritorio (papel carta, cd's, etc.).

### 5.2 Descripción Metodológica.

La metodología que propone el presente trabajo, consiste en el proceso de inventario de los Recursos Naturales de la Cuenca del Río Todos Santos, a través de un sistema de información territorial, que ayude a la validación de proyectos de riego y microriego con enfoque de cuenca.

Dicho método, recopiló información secundaria, contempló la elaboración de información primaria e implemento un sistema de información territorial, con base en el programa Arc view 3.2 a. Con esto se creó un Sistema de Información Biofísico de la Cuenca del Río Todos Santos, que apuntó a describir todos aquellos factores que influyen en la situación del riego en la región. Al respecto la **Figura 4**, detalla las fases y etapas del proceso de investigación, la **Figura 2**, detalla los pasos para el procesamiento de la Imagen LANDSAT 7 ETM+, necesaria en el proceso de elaboración de información primaria.



**Figura 4.** Flujo metodológico para la caracterización biofísica de una cuenca en función al riego apoyado en los SIG y teledetección.

### 5.2.1 Fase de planificación.

Esta fase está constituida inicialmente por una etapa de recopilación de información secundaria (ver **Cuadro 4**), que es sistematizada en una segunda etapa y finaliza en una tercera, en la que se priorizó la cuenca a estudiar y la cartografía temática a ser elaborada (ver **Cuadro 5**).

### 5.2.2.1. Etapa de recopilación.

Se recopiló datos geográficos espaciales (cartografía temática, imagen de satélite) y no espaciales (calidad de agua, nivel tecnológico, etc.), referente al área de estudio, para mayor detalle ver el **Cuadro 4**.

**Cuadro 4.** Información recopilada

DATOS GEOGRÁFICOS ESPACIALES			
TEMA	INFORMACIÓN REQUERIDA	FUENTES DE INFORMACIÓN	TIPO
Imagen de Satélite LANDSAT 7ETM +	Escena P01-R73.	INFOBOL.	Digital
Cartografía Básica Oficial	Cartas Topográficas a escalas: 1:50.000, Información contenida: Curvas de nivel. Red Hídrica Red Vial, relieve, etc.	Instituto Geográfico Militar.	Analógico
Fisiografía, suelos	Provincias Fisiográficas. Propiedades físicas y químicas de suelos.	Proyecto CORDEOR Programa ERTS/GEOBOL. Estudio de Suelos del Departamento Oruro (s.f).	Analógico
Geología	Unidades Geológicas. Tipos de Rocas Superficiales con criterios de resistencia diferencial a la erosión e impermeabilidad.	Mapa Geológico de Bolivia IGM a escala 1:100.000 Mapa Geológico de Bolivia (Ex GEOBOL - 1967).	Analógico
Desertificación de Tierra Erosión de Suelos	Grado de Desertificación. Grado de Erosión.	Escala 1:250.000, Dirección de Conservación de Tierras, MDSMA, 1996.	Digital
DATOS GEOGRÁFICOS NO ESPACIALES			
Clima	Temperaturas medias máximas y mínimas mensuales y anuales Precipitaciones medias máximas y mínimas mensuales y anuales. Frecuencia y duración de heladas.	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.	Analógico
Recursos hídricos	Hidrometría, sistemas de riego, familias beneficiarias, nivel tecnológico, calidad de agua, Identificación de demandas de riego y micro riego y posibles sitios de embalse.	Unidad de Riego y Suelo del Departamento de Oruro.	Analógico

FUENTE: División administrativa (PSAC).

### 5.2.2.2. Etapa de sistematización

Esta etapa comprendió la clasificación ordenada y sistemática de toda la información existente concerniente a la zona de estudio. De esta manera, se identificó la información faltante (cobertura y uso actual de tierras, pendientes, coeficientes de escurrimiento), necesaria para cumplir con los objetivos planteados.

### 5.2.2.3. Etapa de priorización.

En esta etapa el MACA-PSAC priorizó la Cuenca del Río Todos Santos, basándose en la demanda de proyectos de riego y la cantidad de población existente, de manera de beneficiar a un número mayor de pobladores, tanto directa como indirectamente, con la ejecución de proyectos de riego.

También se priorizo los mapas temáticos a ser elaborados, orientados a la caracterización biofísica en función al riego con enfoque de cuenca, estos se detallan en el **Cuadro 5**.

**Cuadro 5.** Priorización de cartografía temática

TEMA	PRIORIZACIÓN DE CARTOGRAFÍA TEMÁTICA
<b>1. Caracterización del componente Biofísico de la cuenca de estudio</b>	
Fisiografía	Mapa Espacio imagen Mapa fisiográfico Mapa de pendientes
Suelos	Mapa de suelos Mapa de aptitud de suelos con fines de riego Mapa de cobertura y uso actual de tierras
Geología	Mapa geológico
Recursos hídricos	Mapa de la red hidrográfica
<b>2. Caracterización de la situación existente respecto al riego de la cuenca de estudio</b>	
Recursos hídricos	Mapa de los sistemas de riego existentes Mapa de posibles sitios de embalse
<b>3. Balance hídrico con enfoque cuenca</b>	
Balance hídrico a nivel de cuenca	Mapa de isoyetas Mapa de coeficiente de escurrimiento

Fuente: *Elaboración propia.*

## 5.2.2 Fase de desarrollo de instrumentos técnicos básicos.

Esta fase se divide en dos etapas, la primera elabora cartografía básica digital y la segunda edita e imprime la cartografía temática priorizada.

### 5.2.2.1. Etapa de construcción de cartografía básica digital.

En esta etapa se construyó de la cartografía básica digital, concerniente a cada objetivo planteado.

#### I. Caracterización biofísica de la Cuenca del Río Todos Santos.

Para describir las características biofísicas de la cuenca en estudio se digitalizó los mapas fisiográfico, geológico, de suelos y topográfico. Además se elaboro los mapas de uso actual de suelos, pendientes y aptitud de suelos con fines de riego.

##### i. Digitalización y georeferenciación de información secundaria.

La información secundaria digitalizada y georeferenciada fue la siguiente:

- Mapa Fisiográfico escala 1:100.000
- Mapa Geológico escala 1:100.000
- Mapa de suelos escala 1:500.000
- Cartas topográficas del IGM escala 1: 50.000, hojas N°: 5836 I, 5836 IV  
5837 I, 5837 II, 5837 III, 5936 I, 5936 II, 5936 III, 5936 IV, 5937 IIII, 5937 IV

El proceso de la digitalización, consistió en la conversión de la información cartográfica en formato analógico a digital, el procedimiento fue el siguiente:

- Escaneo de toda la información cartográfica.
- Georeferenciación empleado el programa ERDAS 8.5
- Digitalización de todos los atributos del mapa (líneas, polígonos y puntos), empleando el programa Arc view 3.2 a.

Toda la información digitalizada, incluyendo a la imagen de satélite, fue georeferenciada empleando la proyección que utiliza el Instituto Geográfico Militar:

- Proyección: Universal Transversa de Mercator
- Referencia Horizontal: Datum PSAD 1956
- Zona 19 Sur, Esferoide Internacional.

## ii. **Elaboración de información primaria.**

La información primaria que se elaboró fue los mapas de cobertura y uso actual de tierra, pendientes y aptitud de los suelos con fines de riego

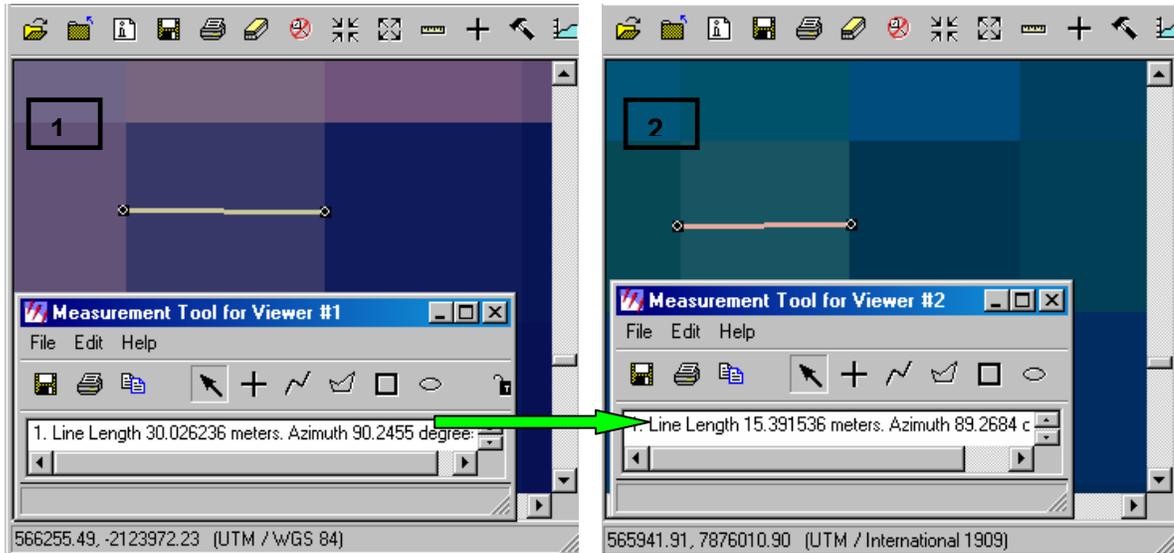
### ➤ **Mapa de Cobertura vegetal y Uso actual de tierra**

Para obtener las distintas unidades de cobertura y uso actual de tierra, se aplicó la metodología del procesamiento de imágenes de satélite (*ver Figura 2*), propuesta por Michel (2003), y para la elaboración de la leyenda se empleó la clasificación de la Superintendencia Agraria (*ver Anexo II – Métodos N° 1 y 2*).

### **Procesamiento de la imagen satelital.**

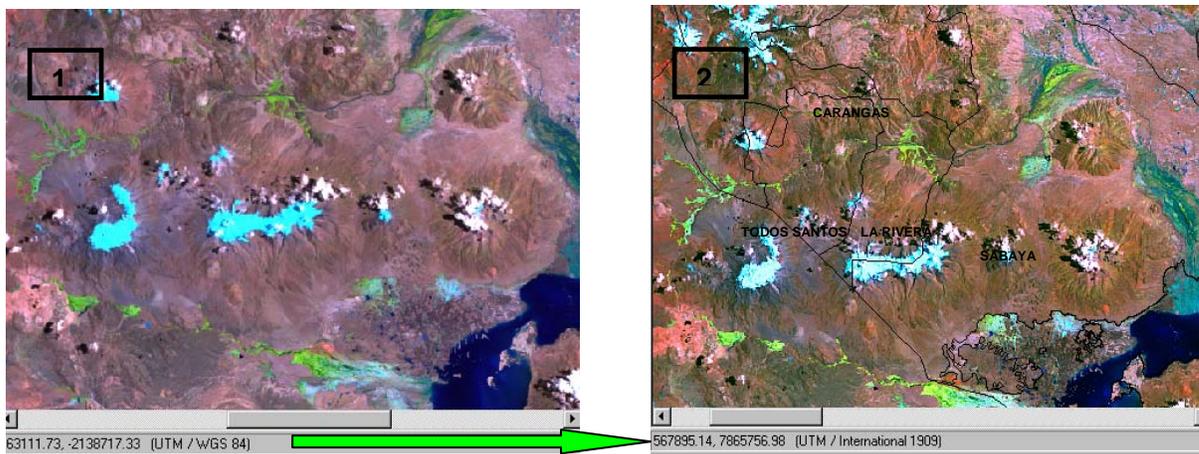
Se empleó una Imagen de Satélite LANDSAT 7 ETM +, escena PATH = 001 - ROW = 073. Esta imagen tiene una resolución espacial de 30x30 m, cubre una superficie de 180 x 180km, fue tomada el 21 de febrero del 2002. La metodología empleada para el procesamiento de Imágenes de Satélite se detalla en la *Figura 2*, para corregir las distorsiones atmosféricas, Michel (2003), sugiere la elaboración de un modelo de corrección (*Model Maker* de ERDAS), con valores calculados a partir de datos de coordenadas geográficas del centro de escena, ángulo de elevación solar, hora de inicio de la toma de escena y valores mínimos para cada una de las bandas.

Las correcciones o mejoras radiométricas se llevaron a cabo con la herramienta *Radiometric Enhancement* de ERDAS, para mejorar la resolución espacial, se remuestreo la imagen a 15 m (ver **Figura 5**), el proceso consiste en la unión de la banda pancromática (15m) a la multispectral (30m).



**Figura 5.** Remuestreo de la Imagen de 30m de resolución espacial (1), a 15m (2).

La imagen resultante pierde resolución espectral, para corregir este efecto se realizó el proceso de normalización, el mismo consiste en la elaboración de un modelo de corrección o *Model Maker* de ERDAS. Las correcciones geométricas se llevan a cabo mediante la herramienta *Image Geometric Correction* de ERDAS, utilizando el sistema de proyección que emplea el IGM (Proyección UTM, Datum PSAD 1956, zona 19 sur, esferoide internacional), la diferencia de la imagen bruta y la imagen resultante luego de las correcciones anteriores se muestra en la **Figura 6.**



**Figura 6.** Diferencia entre la imagen con las correcciones atmosféricas, radiométricas y geométricas (2) de la original (1)

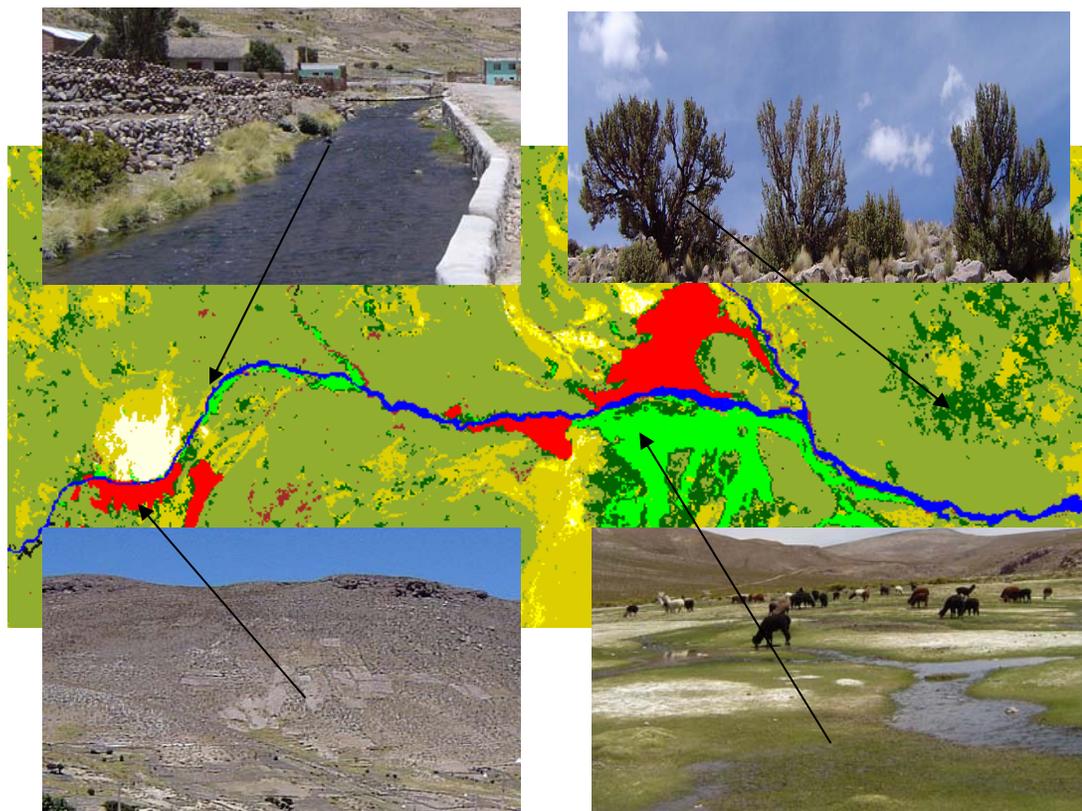
Para poder discriminar vegetación, suelo y agua, se empleo el índice de humedad en el suelo (ISH), para ello se utilizó la banda 5, sensible a la cantidad de agua presente en los suelos y la banda 2 que discrimina la humedad. A fin de diferenciar áreas con cobertura vegetal densa de la escasa, se calculó el índice de vegetación normalizado (NDVI), el mismo emplea la banda 3 que corresponde al rojo del visible (de baja reflectividad para la vegetación) y la banda 4 al infrarrojo cercano (de alta reflectividad para la vegetación), el índice varía entre 1 y -1; los valores negativos indican ausencia de actividad fotosintética, se empleo una tonalidad de colores del verde oscuro al amarillo para los valores positivos del índice y gris a blanco para los valores negativos. El ISH y el NDVI fueron fusionados a la imagen multiespectral (empaquetado), con la imagen resultante se realizo la clasificación no supervisada, proceso que consistió en la estratificación automática del espacio físico, en áreas homogéneas.

Con las clases obtenidas, se llevo acabo el trabajo de campo (**Fotos 1 y 2**), con la colaboración del equipo técnico de la Unidad de Riegos y Suelos del Departamento de Oruro (UDRS). La información recabada, comprendió datos sobre cobertura y uso actual del suelo, en las áreas de entrenamiento correspondientes a cada una de las clases obtenidas. Sin embargo es oportuno recalcar, que por las malas condiciones de los caminos (camino de calamina), además de la pésima condición del automóvil de la prefectura (**Foto 13**), algunas de las áreas de entrenamiento cercanas al salar de Coipasa no fueron verificados, sin embargo se obtuvo la información faltante de lugares próximos a la población de Sabaya.



**Fotografías N° 1 y 2.** Trabajo de Campo. Equipo técnico de la UDRS de Oruro junto a comunarios.

Con los datos recabados en el trabajo de campo, se realizó la Clasificación Supervisada, obteniendo así las clases que se pueden observar en la **Figura 7**. Por las deficiencias explicadas anteriormente, además de la falta de presupuesto, no se pudo realizar la validación como sugiere la metodología de Michel (2003), sin embargo se verifico los datos con estudios realizados por otros autores en la zona.



**Figura 7.** Clasificación Supervisada.

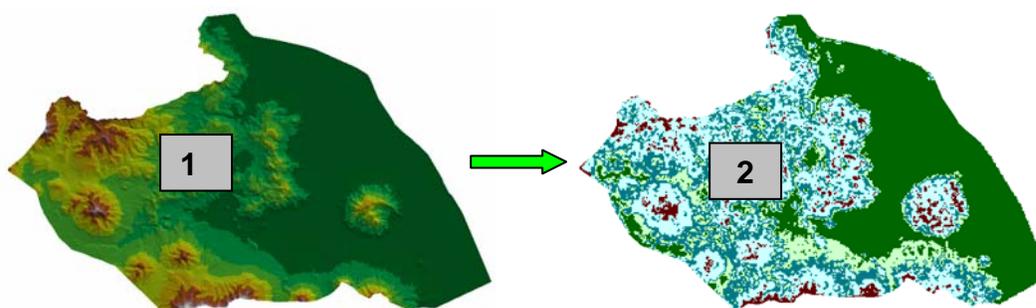
Para clasificar las distintas categorías de cobertura y uso actual de tierras se utilizó el sistema de clasificación propuesto por la Superintendencia Agraria (ver **Anexo II - Métodos 1 y 2**).

➤ **Mapa de pendientes.**

Para generar el mapa de pendientes a partir del modelo digital del terreno, se empleó la metodología sugerida en el texto "Aplicación de la Teledetección y de los sistemas de Información Geográfica en la Gestión de Recursos Naturales" (Mehl et al., 1997). Se elaboró el mapa de pendientes, con ayuda del programa especializado Arc View 3.2a, este realiza el cálculo automático del gradiente de pendiente, a partir del Modelo Digital de Terreno (TIN), obteniendo áreas homogéneas con distintos grados de inclinación de terreno (pendiente).

A continuación se muestra la secuencia de pasos para la elaboración del mapa de pendientes de la cuenca en estudio:

1. Escaneado de las cartas topográficas.
2. Georeferenciación empleando el programa ERDAS 8,5.
3. Digitalización de las curvas de nivel con ayuda del programa Arc View 3.2 a.
4. Elaboración de una base de datos, con las alturas a nivel del mar.
5. Creación de un red de triángulos irregulares (TIN), con el programa Arc View 3.2 a.
6. Aplicación de la opción pendiente a la red de triángulos irregulares (*ver Figura 8*).
7. Clasificación manual del grado de pendiente, según norma de la FAO (2001).



**Figura 8.** Aplicación de la opción pendiente (2) a la red de triángulos irregulares (1).

El **Cuadro 6** detalla la clasificación de grados de pendiente, que se empleo para elaborar la leyenda del mapa de pendientes de la Cuenca del Río Todos Santos.

**Cuadro 6.** Clasificación del grado de pendiente según la FAO

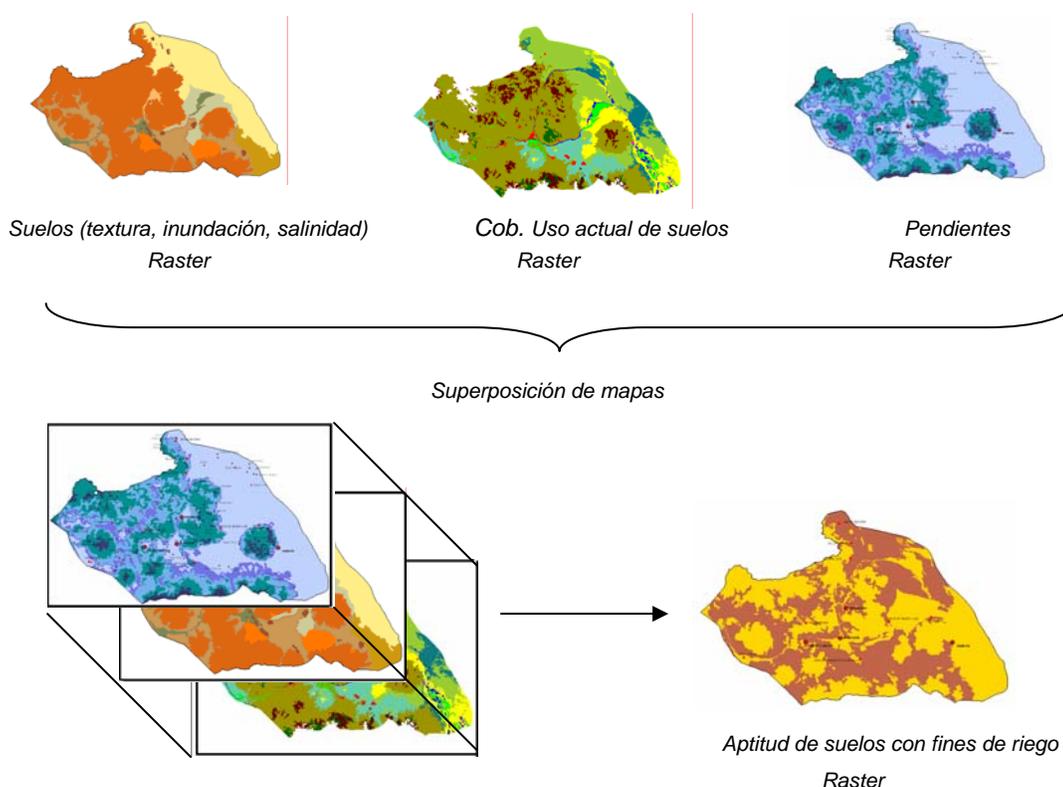
Nº	PORCENTAJE %	DESCRIPCIÓN
1	0 - 2	Llano o casi llano
2	2 - 6	Suavemente inclinado
3	6 -13	Inclinado
4	13 - 25	Moderadamente escarpado
5	25 - 55	Escarpado
6	Masdel 55%	Muy Escarpado

Fuente: Guía para la descripción de perfiles de suelo FAO, 2001.

### ➤ **Mapa de aptitud de los suelos con fines de riego.**

Para generar el mapa de aptitud de suelos con fines de riego, se empleó la técnica automática de superposición del programa Arc view 3.2 a.

Para utilizar esta opción, se tuvo que convertir todas la variables a formato raster (mapas matriciales)<sup>1</sup>, luego se las codificó cada una de las variables (textura, inundación, salinidad, cobertura y uso actual) siguiendo los parámetros del Sistema de Clasificación del BUREAU OF RECLAMATION de los Estados Unidos de Norte América (ver **Anexo II - Método 3**), finalmente se realizó los procedimientos algebraicos<sup>2</sup> con la opción Map Calculador del software Arc View 3.2 a. Es decir se multiplico, las variables textura, inundación, salinidad, cobertura y pendientes. De esta manera se logro discriminar celdas aptas para riego, este procedimiento se detalla en figura siguiente.



**Figura 9.** Elaboración del mapa de aptitud de suelos con fines de riego

## II. Caracterización de la situación existente respecto al riego en la Cuenca del Río Todos Santos.

Para describir la situación existente del riego en la cuenca en estudio, se detallo las características de los sistemas de riego y micro riego existentes en la misma.

<sup>1</sup> Mapas en formato raster o capas de información, formados por una red de celdas rectangulares.

<sup>2</sup> Técnicas automáticas de superposición de mapas.

Con este fin, mediante el trabajo de campo de los técnicos de la UDRS - PSAC, se describió y ubicó geográficamente, las demandas de riego, microriego y posibles sitios de embalse. Para la evaluación medioambiental en función del riego se recopiló información secundaria (frecuencia de ocurrencia de heladas y sequías) e implementó información primaria (balance hídrico climático, erosión, salinidad e inundación).

#### **i. Georeferenciación de información primaria.**

La información georeferenciada, que permitió la elaboración de los mapas de sistemas de riego y posibles sitios de embalse fue la siguiente:

- Sistemas de riego y microriego existentes.
- Sitios de aforo existentes.
- Sitios de aforo recomendados.
- Posibles sitios de embalse.
- Nuevas demandas de riego y microriego

### **III. Balance hídrico a nivel de cuenca.**

El balance hídrico de la Cuenca de Todos Santos, consistió en determinar la oferta y demanda hídrica de la misma. El volumen mensual de escorrentía superficial y los caudales medios mensuales, permitieron estimar la oferta hídrica superficial, el déficit hídrico se halló mediante el análisis de la precipitación efectiva, evapotranspiración potencial y almacenamiento de agua en el suelo.

Por ello se digitalizó la información secundaria (isoyetas) y se elaboró información primaria (estimación de la oferta y demanda hídrica).

#### **i. Digitalización y georeferenciación de información secundaria.**

Se digitalizó el mapa de isoyetas, referente a la Cuenca de Todos Santos, elaborado por la UDRS del Departamento de Oruro.

#### **ii. Elaboración de información primaria.**

El proceso de elaboración de información primaria (estimación de la demanda y oferta hídrica), consistió en procesos de superposición de mapas matriciales, mediante la implementación simultánea del sistema de información territorial.

➤ **Estimación de la oferta hídrica.**

Para estimar la oferta hídrica de la cuenca en estudio, se adiciono al volumen mensual de esorrentía superficial, los caudales medios mensuales del Río Todos Santos. Para encontrar los valores de la esorrentía superficial, primeramente se hallo los valores de precipitación media mensual y precipitación al 75 % de probabilidad.

**Precipitación media anual y mensual (Métodos de Isoyetas y Polígonos de Thiessen).**

El calculo de la precipitación media anual, se realizo empleando el método de isoyetas y para obtener la precipitación media mensual se utilizo el método de polígonos de thiessen, los cálculos se muestran en el **Anexo I – Tabla 9**, si bien el trazo de líneas de ambos métodos es diferente, la formula es la misma. Los cálculos se efectuaron empleando los datos históricos de precipitaciones pluviales de cuatro estaciones meteorológicas (ver **Anexo I – Tablas 1 y 2**)

(Ecuación III)

$$P_{ma} = \frac{S_1}{S_t} P_1 + \frac{S_2}{S_t} P_2 + \dots + \frac{S_n}{S_t} P_n$$

Donde:

$P_i$  = Promedio de precipitación anual o mensual.

$S_i$  = Área de los intervalos de isoyetas.

$S_t$  = Área total de la cuenca.

$P_{ma}$  = Precipitación media anual o mensual.

**Precipitación al 75 % de probabilidad (Método Frecuencia Acumulativa).**

Para determinar la precipitación al 75% de probabilidad se utilizo el Método de Frecuencia Acumulativa (Villalpando, 1988), empleando datos de precipitación de la estación meteorológica de Todos Santos, el periodo de registros es de 1990 al 2000, el resultado de los Polígonos de Thiessen, muestra que aproximadamente el 95 % del área de la cuenca corresponde al Polígono de esta estación meteorológica, en consecuencia asumimos que sus precipitaciones puntuales, se convierten en precipitaciones medias reales (ver **Anexo I – Tablas 1 y 2**).

## Determinación de volúmenes mensuales de escorrentía superficial.

Se obtuvo los volúmenes mensuales de escorrentía superficial, utilizando el Método Racional descrito por Vásquez *et al.*, (2000), detallada en la **Ecuación I**, los cálculos se realizaron empleando la precipitación media mensual y la precipitación al 75% de probabilidad.

$$V = C \cdot P \cdot A \quad \text{(Ecuación I)}$$

Donde:

$V$  = Volumen de agua de escorrentía ( $m^3$ ).

$C$  = Coeficiente de escorrentía.

$P$  = Precipitación total anual media (mm).

$A$  = Área de la cuenca ( $Km^2$ ).

Para corregir el efecto de la distribución geográfica homogénea de la precipitación en cuencas con superficies mayores a  $10 Km^2$ , se aplicó el Coeficiente Reductor por Área - ARF sugerida por Ferrer (1993), cuya fórmula se detalla en la **Ecuación II**. Para obtener la precipitación media mensual corregida ( $P_c$ ) y la precipitación mensual al 75 % de probabilidad corregida ( $P_{75\%c}$ ), se multiplicó el coeficiente ARF a los datos de precipitación media mensual y precipitación al 75% de probabilidad.

$$P_c = P \cdot ARF \quad ARF = 1 - \frac{\text{Log Superficie (Km2)}}{15} \quad \text{(Ecuación II)}$$

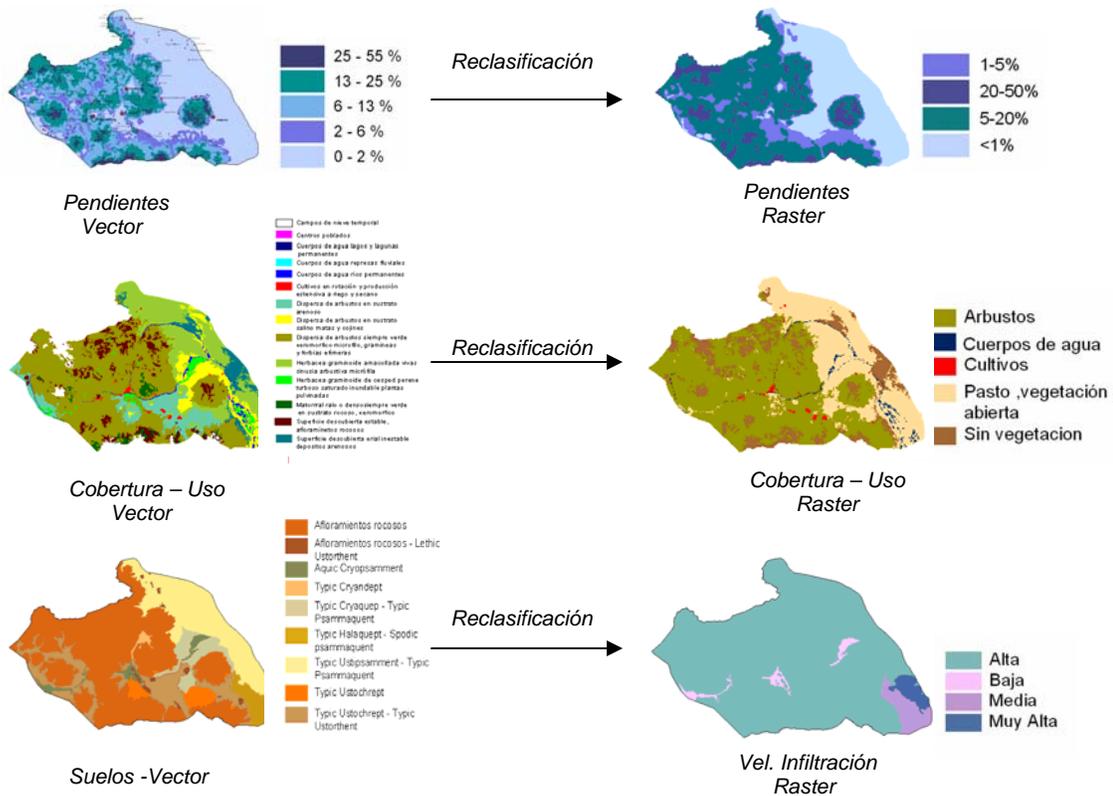
Donde:

$P_c$  = Precipitación Corregida.

$P$  = Precipitación.

## Generación automática del coeficiente de escorrentía.

Para generar automáticamente el mapa de coeficiente de escorrentía, a nivel de cuenca, se utilizó la metodología adoptada por Zehl (1999) y Ferrer *et al.*, (1995), esta propone generar automáticamente coeficiente de escorrentía utilizando los sistemas de información geográfica y la matriz emplazada anteriormente en el **Cuadro 1**. Para poder emplear la mencionada matriz, se tuvo que reclasificar y transformar a raster, los mapas de pendientes y cobertura y uso actual de tierras (Ver **Figura 10**).



**Figura 10.** Generación automática de coeficientes de escurrimiento.

Así también para reclasificar el mapa de suelos a mapa de velocidad de infiltración se empleo el **Cuadro 7**.

**Cuadro 7.** Clasificación de suelos del Servicio de Conservación de Suelos

Nº	TIPO DE TEXTURA	CLASIFICACIÓN (SCS) GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELOS	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN
1	Arenoso	A	Muy Alta
2	Franco arenoso	A – B	Alta
3	Franco arcillo arenoso	B	Media
4	Franco arcillo limoso	D	Baja

Fuente: Ferrer et al., 1995

El cuadro anterior, muestra los rangos de velocidad de infiltración de la Cuenca de Todos Santos, de acuerdo al tipo de textura y grupo hidrológico de suelos, agrupados según la clasificación del Servicio de Conservación de Suelos (ver **Anexo II – Método 4**).

Para combinar las capas de información (superposición de mapas matriciales), a cada una de las variables, se le asigno un número primo, como se puede verificar en el **Cuadro 8**. Dada la singularidad de estos, el producto de ellos siempre será un número diferente.

**Cuadro 8.**Asignación de números primos a las variables.

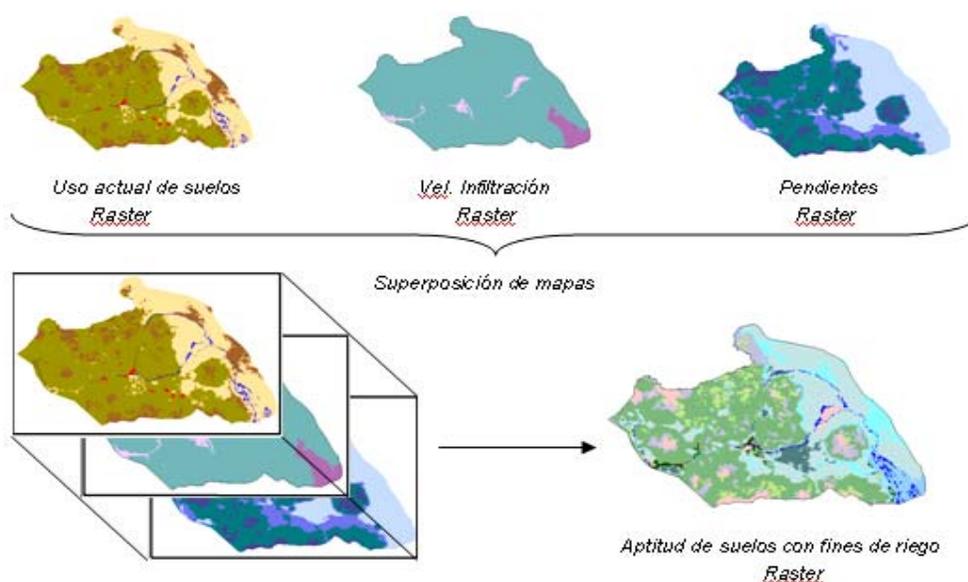
VEGETACION	VELOCIDAD DE INFILTRACION	PENDIENTES									
		>50% (11)	*	50 - 20% (7)	*	20 - 5% (5)	*	5 - 1% (3)		< 1% (2)	*
Sin vegetación (23)	Bajo(19)	0,80	23*19*11	0,75	23*19*7	0,70	23*19*5	0,65	23*19*3	0,60	23*19*2
	Moderado(17)	0,70	23*17*11	0,65	23*17*7	0,60	23*17*5	0,55	23*17*3	0,50	23*17*2
	Alto(13)	0,50	23*13*11	0,45	23*13*7	0,40	23*13*5	0,35	23*13*3	0,30	23*13*2
Cultivos (29)	Bajo(19)	0,70	29*19*11	0,65	29*19*7	0,60	29*19*5	0,55	29*19*3	0,50	29*19*2
	Moderado(17)	0,50	29*17*11	0,55	29*17*7	0,50	29*17*5	0,45	29*17*3	0,40	29*17*2
	Alto(13)	0,40	29*13*11	0,35	29*13*7	0,30	29*13*5	0,30	29*13*3	0,25	29*13*2
Pasto, Vegetación abierta (31)	Bajo(19)	0,65	31*19*11	0,60	31*19*7	0,55	31*19*5	0,50	31*19*3	0,45	31*19*2
	Moderado(17)	0,55	31*17*11	0,50	31*17*7	0,45	31*17*5	0,40	31*17*3	0,35	31*17*2
	Alto(13)	0,35	31*13*11	0,30	31*13*7	0,25	31*13*5	0,30	31*13*3	0,15	31*13*2
Arbustos (41)	Bajo(19)	0,60	41*19*11	0,55	41*19*7	0,50	41*19*5	0,45	41*19*3	0,40	41*19*2
	Moderado(17)	0,50	41*17*11	0,45	41*17*7	0,40	41*17*5	0,35	41*17*3	0,30	41*17*2
	Alto(13)	0,30	41*13*11	0,25	41*13*7	0,20	41*13*5	0,15	41*13*3	0,10	41*13*2
Bosque, vegetación densa (43)	Bajo(19)	0,55	43*19*11	0,50	43*19*7	0,45	43*19*5	0,40	43*19*3	0,35	43*19*2
	Moderado(17)	0,45	43*17*11	0,40	43*17*7	0,35	43*17*5	0,30	43*17*3	0,25	43*17*2
	Alto(13)	0,25	43*13*11	0,20	43*13*7	0,15	43*13*5	0,10	43*13*3	0,05	43*13*2

\* Producto entre los códigos de vegetación, velocidad de infiltración y pendientes.

Fuente: Elaboración propia

El cuadro anterior muestra las variables empleadas para la elaboración del mapa de coeficientes de escurrimiento, además de la codificación de cada una de ellas con números primos.

Para llevara acabo la superposición de las diferentes variables (ver **Figura 11**), se empleo la opción Map Calculator del programa Arc view 3.2a. El resultado de la multiplicación de los mapas matriciales, es el producto de los números primos, estos a su vez corresponden a un determinado coeficiente de escurrimiento.



**Figura 11.** Elaboración del mapa de coeficientes de escurrimiento.

### ➤ Estimación de la demanda hídrica (Déficit hídrico).

La demanda hídrica se determinó empleando la **Ecuación III**, la misma fue utilizada para la determinación del balance hídrico de cuencas por Zehl (1999).

**Ecuación III**

$$\text{Deficit} = ETp - P_{(ef)} \pm S_{(a) \text{ mes} - 1}$$

Donde:

$ETp$  = Evapotranspiración

$P_{(ef)}$  = Precipitación efectiva

$S_{(a) \text{ mes} - 1}$  = Almacenamiento

### Determinación de la precipitación efectiva (Pe).

Para hallar la precipitación efectiva, se empleo el método del número de la curva de escurrimiento CN del Servicio de Conservación de Suelos (SCS). Esta técnica tiene en cuenta las perdidas posibles y el resultado proporciona la precipitación eficaz sobre una zona, que es la cantidad de agua que no circula por el terreno y se queda retenida tras una precipitación  $P$  (ver **Ecuación IV**).

**(Ecuación IV)**

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

Donde:

$S$  = Potencial máximo de retención de un volumen del total de la precipitación.

$Pe$  = Precipitación efectiva.

$P$  = Precipitación total (mm)

### Evapotranspiración mensual (Método de Hargreaves).

La evapotranspiración potencial fue estimada por medio de la ecuación de temperatura de Hargreaves<sup>1</sup>, Se escogió esta ecuación por la disponibilidad de datos y exactitud con que aproxima la realidad, siendo una formula que se adecua a las características particulares de la región.

**(Ecuación VII)**

$$ETo = 0.0023 (T_{\text{media}} + 17.8) (T_{\text{max.}} - T_{\text{min.}})^{0.5} Ra$$

<sup>1</sup> Ecuación Alternativa recomendada por la FAO Penman – Montieith, para calcular la ETo, cuando no existan muchos datos meteorológicos.

Donde:

$R_a$  = Radiación solar extraterrestre (mm), la cual es función de la latitud y época de año.

$a$  = Constante (17.8)

$T_{med}$  = Temperatura media (C°).

$T_{max.}$  = Temperatura máxima (C°).

$T_{min.}$  = Temperatura mínima (C)

Para hallar los valores de Radiación Extraterrestre ( $R_a$ ), se interpoló valores de radiación de la FAO, expresados en equivalente de evaporación mm/día, correspondientes al Hemisferio Sur (ver **Anexo I – Tablas 8**).

#### IV. Implementación de un Sistema de Información Geográfico (SIG).

Se implementó un SIG al “*Proyecto de identificación y validación de proyectos de riego con enfoque de cuenca*”, con el fin de crear un sistema de información territorial de la Cuenca del Río Todos Santos, que permita generar nueva información a partir de la preexistente. Para ello se empleó el programa especializado Arc view 3.2a, se eligió este programa por poseer las siguientes funciones:

- Almacenamiento de datos espaciales y no espaciales.
- Visualización de estos datos en forma de mapas, tablas o gráficos.
- Consultas que permiten seleccionar aquellos elementos que cumplen un conjunto de condiciones, de tipo espacial o no espacial.
- Los resultados pueden obtenerse como un valor, una tabla o un mapa.
- Análisis de datos a través de procesos algebraicos (superposición de mapas matriciales).
- Permiten utilizar el modelo matemático del territorio almacenado en el SIG para utilizar y validar diversas hipótesis.
- Cartografía de alta precisión combinada con herramientas de CAD con aplicaciones en arquitectura e ingeniería.

El proceso de implementación de un SIG, consistió en una secuencia de pasos y procesos detallados a continuación:

- i. Introducción al sistema, de datos espaciales y no espaciales (polígonos, líneas puntos, raster, base de datos), concernientes a la caracterización biofísica de la Cuenca del Río Todos Santos

- ii. Almacenamiento de datos espaciales y no espaciales, en ficheros propios del Arc view, estos son: **shp** (guarda información sobre la forma y localización), **sbx** (guarda el índice de la geometría del elemento) y **dbf** (guarda la información de los atributos del elemento). Almacenamiento de vistas, tablas, gráficos y layouts (salidas impresas), de cada uno de los mapas temáticos, en ficheros de formato **ASCII**, denominados proyectos.
- iii. Elaboración de una base de datos alfanuméricos, con los siguientes campos: Identificador (Id), Codificador (Cod), Nombre, Atributo (At) y Área. Es así que se codifico cada una de las variables a ser empleadas, con el fin de emplearlas en el proceso de análisis.
- iv. Análisis de datos espaciales y no espaciales (superposición y sobreposición).
- v. Salida de datos espaciales (cartografía temática) y no espaciales (base de datos).

#### **5.2.2.2. Etapa de construcción de cartografía temática.**

Etapa final del estudio, inició con la edición de los mapas temáticos y concluyó con la impresión de los mismos, todos los mapas se han elaborado a escala 1:400.000 y 1:250.000, por motivos económicos y prácticos solo se imprimieron los mapas a escala 1:400.000, con las siguientes características geográficas:

- Proyección: Universal Transversa de Mercator
- Referencia Horizontal: Datum PSAD 1956
- Cuadrícula UTM cada 10Km.
- Zona 19 Sur
- Esferoide Internacional.

### **5.3 Variables de respuesta.**

Las variables de respuesta del estudio se dividieron de acuerdo a los objetivos planteados.

#### **5.3.1 Variables de respuesta en el estudio del medio Biofísico.**

Las variables de respuesta para obtener la caracterización del medio biofísico de la cuenca en función del riego, esta constituida por toda la información cualitativa y cuantitativa del componente biofísico de la cuenca que fue recopilada o elaborada.

- I. Fisiografía, Orografía y topografía
- II. Edafología
- III. Geología.
- IV. Recursos Hídricos.

### **5.3.2 Variables de respuesta de la caracterización de la situación existente del riego**

Esta constituida por toda la información cualitativa o cuantitativa, que describa la situación existente del riego en la Cuenca del Río Todos Santos.

- I. Descripción de los sistemas de riego y micro riego existentes.
- II. Localización de demandas de riego, micro riego y posibles sitios de embalse
- III. Evaluación medioambiental en función del riego.

### **5.3.3 Variables de respuesta del balance hídrico a nivel cuenca.**

Las variables de respuesta, para obtener el balance hídrico a nivel cuenca son las siguientes:

- I. Estimación de la oferta hídrica (Método racional)
- II. Estimación de la demanda hídrica (Método déficit hídrico).

### **5.3.4 Variables de respuesta en la implementación de un sistema de información geográfica.**

Las variables de respuesta, para implementar un sistema de información geográfico, al proyecto de identificación y validación de proyectos de riego con enfoque cuenca, están constituidas por los pasos y procesos necesarios para su ejecución:

- I. Entrada de datos espaciales y no espaciales, en formatos adecuados al programa Arc view 3.2a.
- II. Almacenamiento de datos espaciales y no espaciales, en formatos adecuados al programa Arc view 3.2a.
- III. Creación de una base de datos alfanuméricos.
- IV. Análisis
- V. Generación de información.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 Caracterización del componente biofísico de la cuenca de estudio

En este acápite se detallarán, todos los componentes biofísicos de la Cuenca de Todos Santos, de acuerdo a las variables de respuesta.

#### 6.1.1 Fisiográfica, Orografía y topografía

Gran parte del territorio de la Cuenca del Río Todos Santos, se encuentra en la Cordillera Occidental, conocida también como Cordillera Volcánica, se encuentra constituida por una serie de montañas alineadas de Norte a Sur, nace en el Perú atraviesa Bolivia y termina en Chile. Esta constituida al norte por las cordilleras de Pacajes y Sabaya, al centro por las cordilleras Sillillica y la cadena volcánica al Sur. Las zonas montañosas en la cuenca de Todos Santos, pertenecen a la Cordillera Sabaya, esta se sitúa alrededor del Río Todos Santos y forma un límite natural con el vecino país de Chile.

Asimismo parte de la cuenca se encuentra en la Provincia Fisiográfica del Altiplano, que es una región casi plana, se extiende desde el norte del lago Titicaca hasta el límite con la republica de Argentina, es de origen fluvio lacustre, conformada por sedimentos cuaternarios. El **MAPA No 2** presenta diez unidades fisiográficas correspondientes a la Cuenca de Todos Santos.

**Cuadro 9.** Unidades fisiográficas de la Cuenca Todos Santos.

UNIDAD FISIAGRÁFICA	AREA (km <sup>2</sup> )	%
Conos Volcánicos(D11)	1095,72	50,43
Glacis de Piedemonte(D31)	310,98	14,31
Abanicos aluviales(D34)	67,66	3,11
Valles (D41)	12,72	0,59
Bofedales(D42)	42,87	1,97
Campos de arena con dunas establecidas(C11)	51,11	2,35
Depresiones temporalmente inundables (C23)	106,91	4,92
Planos deltaicos (C24)	85,65	3,94
Llanura fluvio-lacustre (C31)	379,73	17,48
Colinas Residuales(C61)	19,50	0,89
Total	2172,60	100,00

FUENTE: Propia en base a datos del Proyecto de Estudio Integrado de los Recursos Naturales de GEOBOL<sup>1</sup> - ERTS<sup>2</sup> CORDEOR<sup>3</sup>.

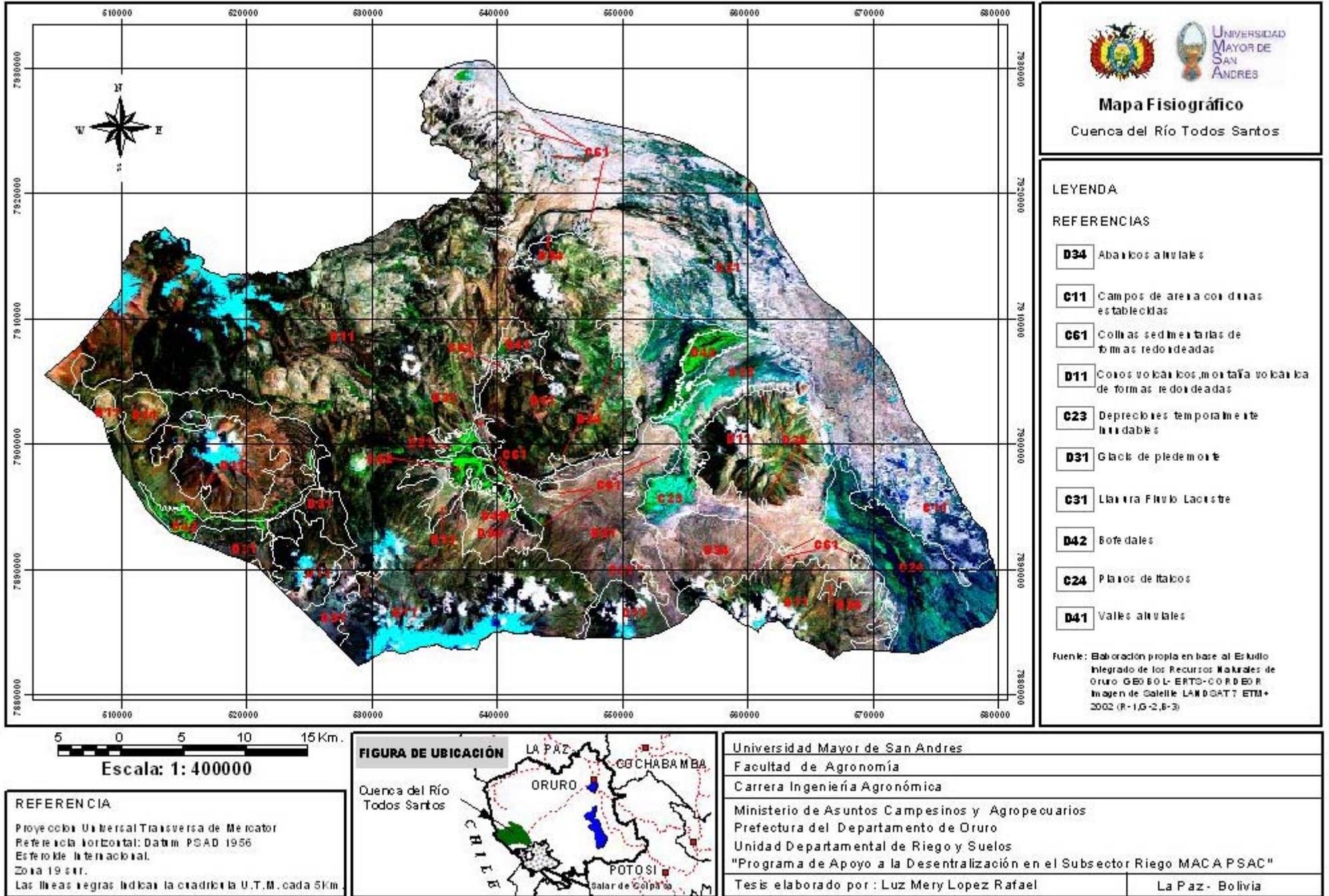
En el **Cuadro 9**, se puede observar, que la unidad fisiográfica de Conos Volcánicos, abarca el 50% de la superficie de la Cuenca de Todos Santos.

<sup>1</sup>Servicio Geológico de Bolivia

<sup>2</sup> Programa del Satélite Tecnológico de Recursos Naturales (s.f)

<sup>3</sup> Corporación de Desarrollo del Departamento de Oruro (s.f)

## MAPA N° 2. Mapa Fisiográfico



En la Cuenca de Todos Santos, se encontraron las siguientes unidades fisiográficas:

- **Conos volcánicos (D11).**- Compuesta por zonas montañosas disecadas y redondeadas, se destacan por sus inmensos conos volcánicos, muchos de ellos con campos de nieve temporal, entre estos están lo cerros Carabaya, Tata Sabaya, Separaya y LLiscaya.
- **Glacis de Piedemonte( D31).**- Esta unidad se sitúa en las partes bajas de los cerros, esta conformada por pendientes suaves y alargadas, producto de las acumulaciones del material transportado de las partes altas, comprende el 14.31% de la superficie total del área de estudio.
- **Abanicos aluviales (D34).**- En la Cordillera Occidental, esta unidad fisiográfica por lo general es de formación reciente, ocupan áreas relativamente pequeñas en la cuenca en estudio.
- **Valles (D41).**- Son zonas hundidas que quedan entre laderas de montañas que las rodean, formadas por deposiciones de material aluvial, comprende parte del Municipio de la Rivera.
- **Bofedales (D42).**- Esta unidad comprende zonas saturadas de agua permanentemente.
- **Campos de arena con dunas establecidas (C11).**- Son áreas extensas de acumulación de arena, muchas de ellas atrapadas por vegetación, se forman por acción del viento (erosión eólica),
- **Depresiones temporalmente inundables (C23).**- Son concavidades que en época lluviosa se inundan, en la cuenca de Todos Santos esta zona se localiza en el municipio de Sabaya.
- **Planos deltaicos (C24).**- Esta unidad es característica de lugares en los que un río llega a un gran salar, su gradiente se reduce a cero y su velocidad decrece rápidamente, lo que causa que el río deposite la sal en el salar, se encuentra en inmediaciones al salar de Coipasa.
- **Llanura fluvio- lacustre (C3).**- Este sub-paisaje ha sido formado por procesos de depositación lacustre y fluvial, ocupando gran parte de la altiplanicie. Esta unidad abarca el 17% de la extensión superficial de la cuenca.
- **Colinas Residuales (C61).**- Esta unidad agrupa, las colinas asiladas que se encuentran distribuidas irregularmente en la cuenca.

La orografía de la Cuenca de Todos Santos, corresponde en su totalidad a la Cordillera Sabaya, se sitúan alrededor del afluente principal de la cuenca (ver **Mapa No3**), el cuadro siguiente detalla la altitud sobre el nivel del mar, de cada uno de los cerros que constituyen la cuenca en estudio.

**Cuadro 10.** Cerros que rodean al Río Todos Santos.

CERRO	ALTITUD (m.s.n.m)	CERRO	ALTITUD (m.s.n.m)
Apacheta Mantos	4193	Laram Pucara	5292
Barros	5102	Lliscaya	5634
Blanco	4900	Mirada	5080
Cabaraya	5854	Pariani	5077
Capitan	5098	Pascual	4526
Checa Pucata	4900	Pichackhani	5020
Chullumpiri	5260	Pisakheri	4648
Culebra	5193	Pucara	4468
Cumi	5048	Pumatanga	5518
Curumaya	5484	Pumiri	4852
Huacallari	5160	Quimsa	5245
Hualstata	4334	Saca Sacani	5460
Huayna Curumaya	5030	San Antonio	5616
Huayna Lliscaya	5060	Separaya	5610
Japo Apacheta	4962	Taypi Kkollu	4220
Khe±Wa Kholu	4560	Yapu Kkollu	4418

FUENTE: Elaboración propia.

En el cuadro anterior se puede apreciar que los cerros con mayor altitud respecto al nivel del mar son los siguientes: Cerro Lliscaya, Saca Sacani, San Antonio, Separaya, Curumaya y Carabaya.

El mapa de pendientes del área de estudio (ver **MAPA No 4**), muestra 5 grados de inclinación de terreno (ver **Cuadro 8**), la superficie mas extensa corresponde al grado de pendiente entre 0 - 2 %, son superficies llanas o casi llanas, se encuentran en gran parte en las sub-cuencas de Todos Santos, Sabaya y Jalsuri.

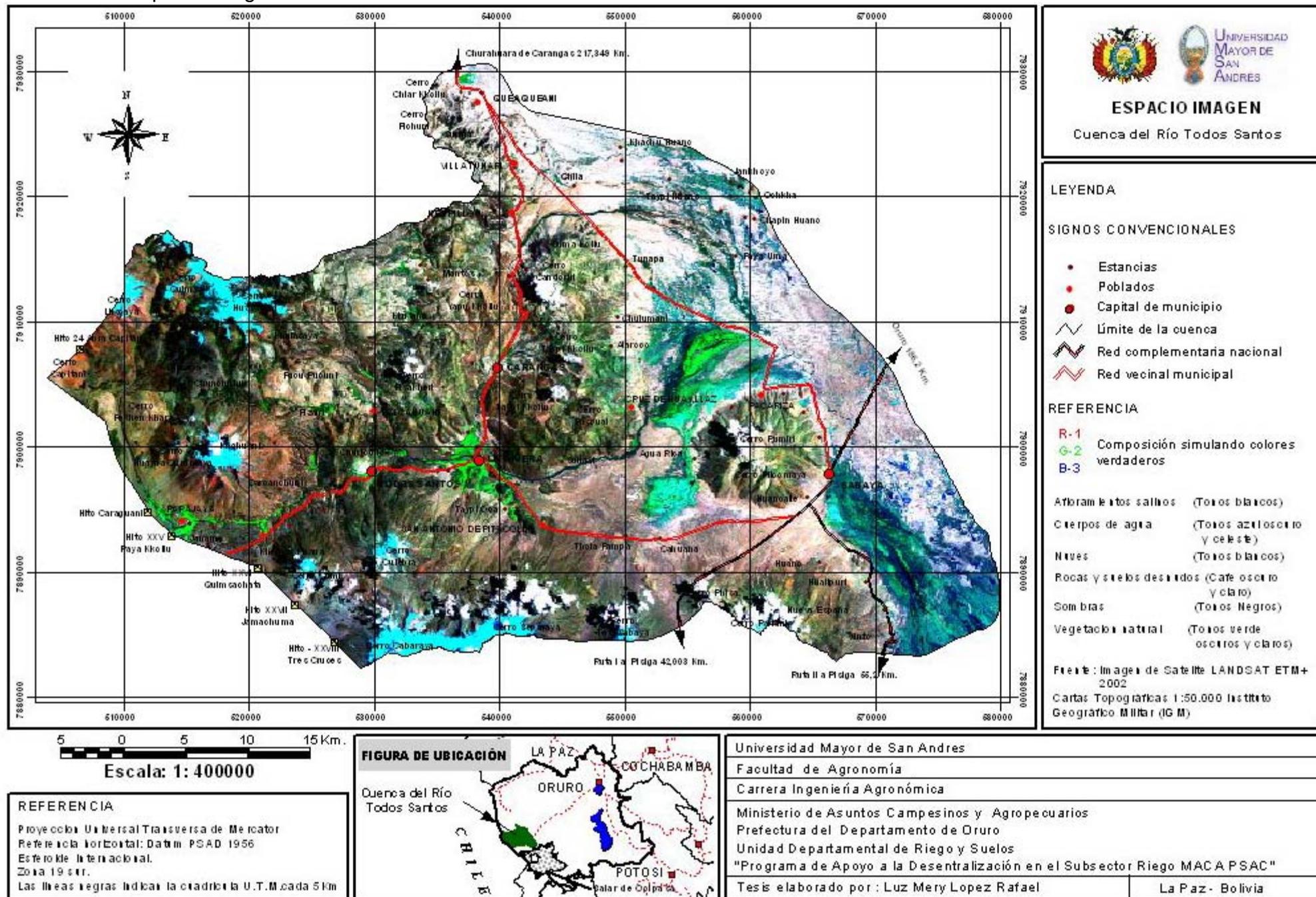
**Cuadro 11.** Clasificación de pendientes según la norma de la FAO

Nº	PORCENTAJE	DESCRIPCIÓN	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	%
1	0 - 2	Llano o casi llano	807,54	37,17
2	2 - 6	Suavemente inclinado	234,35	10,79
3	6-13	Inclinado	503,50	23,17
4	13 - 25	Moderadamente escarpado	537,09	24,72
5	25 - 55	Escarpado	90,14	4,15
Total			2.172,61	100,00

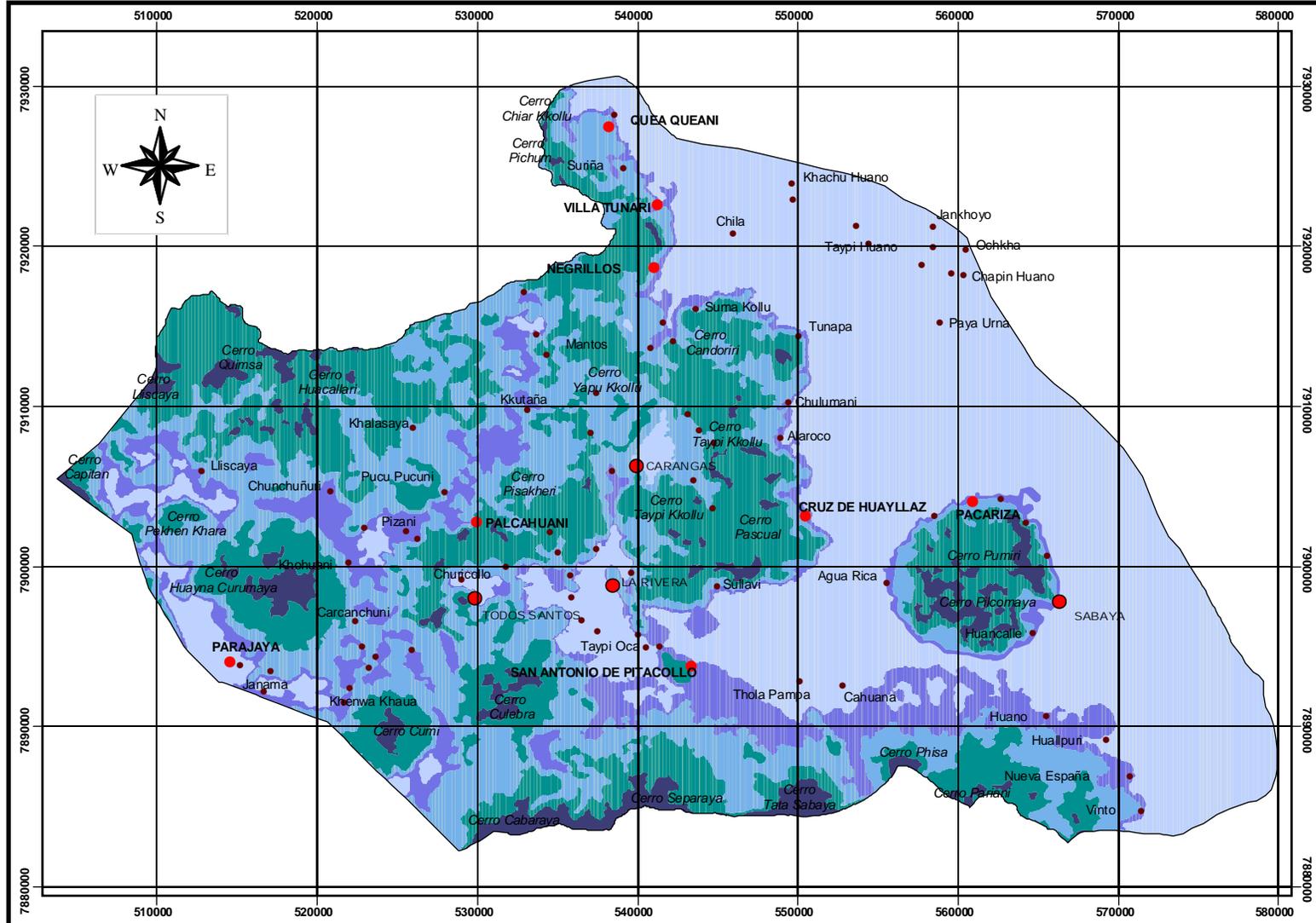
FUENTE: Elaboración propia.

Según el grado de pendiente los suelos llanos son aptos para riego, estos ocupan el 37% de la superficie de la cuenca, los suelos moderadamente escarpados a escarpados, no son aptos y los suelos suavemente inclinados e inclinados son moderadamente aptos para riego.

# MAPA N° 3. Espacio Imagen.



MAPA Nº 4. Mapa de pendiente.



**Mapa de Pendientes**  
**Cuenca del Río Todos Santos**

**LEYENDA**

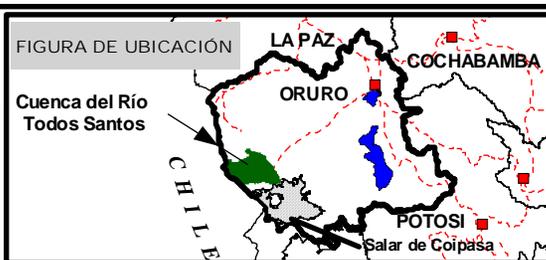
**SIGNOS CONVENCIONALES**

- Estancias
- Poblados
- Capital de municipio
- ~ Límite de la cuenca

**REFERENCIAS**

- Escarpado
- Moderadamente escarpado
- Inclinado
- Suavemente inclinado
- Llano o casi llano

Fuente: Elaboración propia en base a cartas topográficas escala 1:50.000 Instituto Geográfico Militar (IGM).



**REFERENCIA**

Proyección Universal Transversa de Mercator  
 Referencia horizontal: Datum PSAD 1956  
 Esferoide Internacional.  
 Zona 19 sur.  
 Las líneas negras indican la cuadrícula U.T.M.cada 5Km

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Agronomía  
 Carrera Ingeniería Agronómica  
 Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios  
 Prefectura del Departamento de Oruro  
 Unidad Departamental de Riego y Suelos  
 "Programa de Apoyo a la Descentralización en el Subsector Riego MACA PSAC"  
 Tesis elaborado por : Luz Mery Lopez Rafael  
 La Paz - Bolivia

## 6.1.2 Suelos.

### 6.1.2.1. Clasificación de suelos a nivel de reconocimiento

El mapa de suelos (**MAPA N° 5**), elaborado por el plan CORDEOR, detalla la clasificación de suelos a nivel de reconocimiento, utilizando el Sistema de Clasificación Taxonómica Americana de Suelos (Soil Taxonomy), según la unidad fisiográfica en la que se encuentran (*ver Cuadro 12*).

**Cuadro 12.** Clasificación de suelos a nivel de reconocimiento.

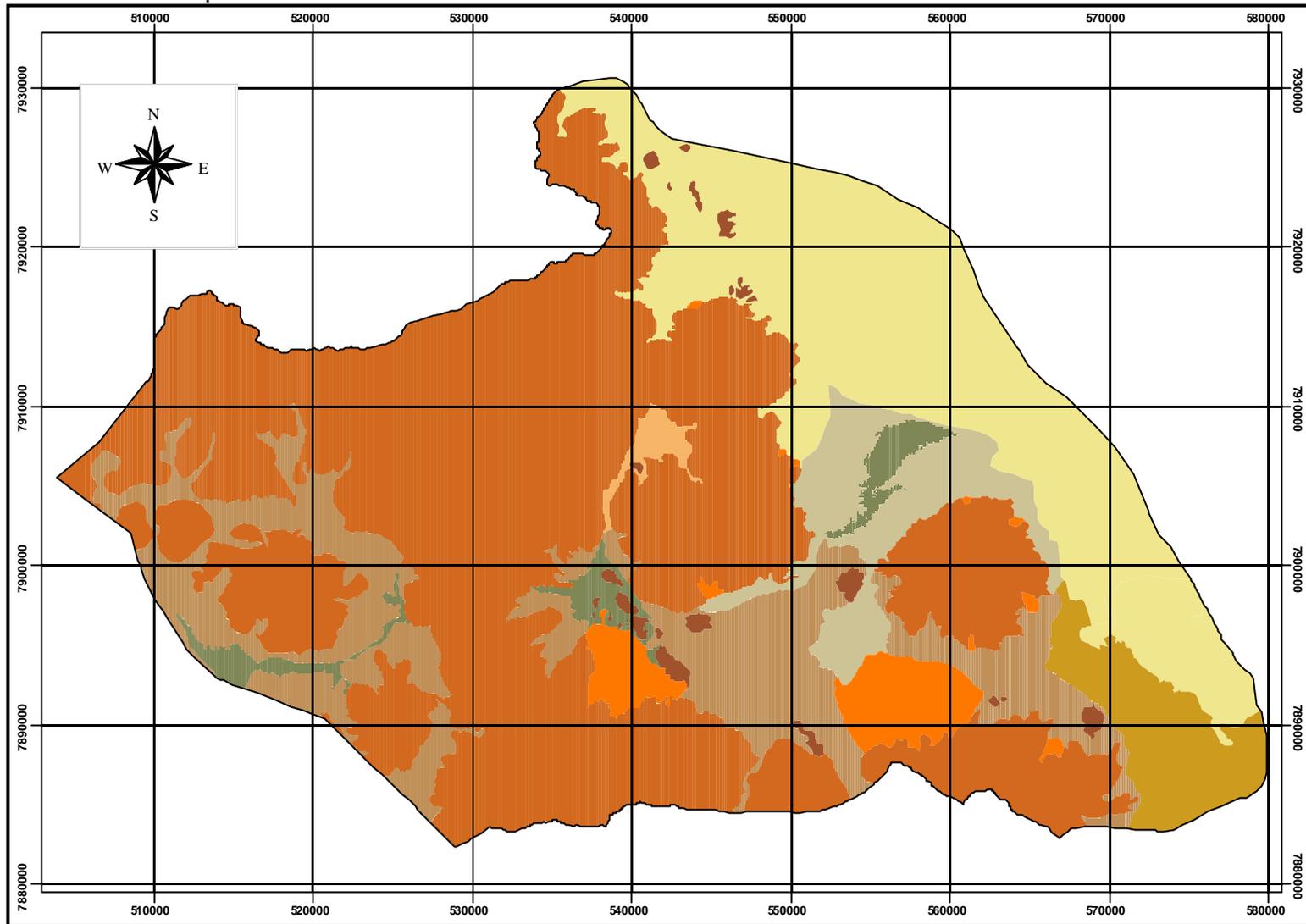
UNIDAD FISIOGRAFICA	CLAS_SUELO	SUELOS ASOCIADOS	TEXTURA DE SUELOS	AREA (km <sup>2</sup> )	%
Campos de arena con dunas establecidas (C11)	Typic Ustipsamment Typic Psammaquent		Arenoso a areno franco	51,11	2,35
Depreciones temporalmente inundables (C23)	Typic Cryaquep Typic Psammaquent	Spodic psammaquent	Franco arenoso	106,91	4,92
Planos deltaicos (C24)	Typic Halaquept Spodic Psammaquent	Typic Cryquept Typic psammaquent	Franco arcillo arenoso.	85,65	3,94
Llanura Fluvio-lacustre (C31)	Typic Ustipsamment Typic Psammaquent		Franco Arenosos	379,73	17,48
Colinas sedimentarias de formas redondeadas (C61)	Afloramientos rocosos Lethic Ustorthent	Typic Ustochrept	Franco arenoso	19,25	0,89
Montana volcanica de formas redondeadas (D11)	Afloramientos rocosos	Lethic Ustorthent	Franco arenoso	1095,72	50,43
Glacis de piedemonte (D31)	Typic Ustochrept Typic Ustorthent	Lethic Ustorthent	Franco arenoso	310,98	14,31
Abanicos aluviales (D34)	Typic Ustochrept	Typic Ustochrept	Franco Arenoso	67,66	3,11
Valles aluviales (D41)	Typic Cryandept	Lethic Ustorthen	Franco arenoso	12,72	0,59
Bofedales (D42)	Aquic Cryopsamment		Franco arcillo limoso a arcillo limoso	42,88	1,97
Total				2172,61	100,00

Fuente: Elaboración propia, en base a datos del Mapa de Suelos GEOBOL – ERTS – CORDEOR.

En la Cuenca de Todos Santos se distinguen las siguientes clases de suelos según la unidad fisiográfica a la que pertenecen.

- **Campos de arena con dunas establecidas (C11).**- Son suelos de textura gruesa a moderada, bien drenados, no presentan problemas de inundación ni de salinidad. Debido al material arenoso que los conforma, el valor agrícola de esta unidad es casi nulo.
- **Depresiones temporalmente inundables (C23).**- Son suelos pobremente drenados, presentan textura media y problemas de salinidad e inundación temporal (época lluviosa), acusa de la presencia de concavidades. Esta unidad es agrícolamente limitada por el régimen de temperatura crítico y excesiva salinidad.

# MAPA Nº 5. Mapa de suelos



**Mapa de Suelos**  
Cuenca del Río Todos Santos

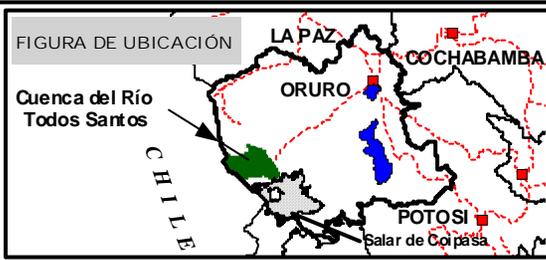
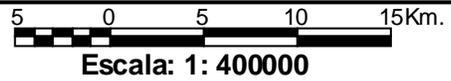
**LEYENDA**

**REFERENCIAS**

Clasificación Taxoómica Americana de Suelos (Soil Taxonomy)

- Afloramientos rocosos
- Afloramientos rocosos - Lethic Ustorthent
- Aquic Cryopsamment
- Typic Cryandept
- Typic Cryaquep - Typic Psammaquent
- Typic Halaquept - Spodic psammaquent
- Typic Ustipsamment - Typic Psammaquent
- Typic Ustochrept
- Typic Ustochrept - Typic Ustorthent

Fuente: Estudio Integrado de los Recursos Naturales de Oruro.  
GEOBOL - ERTS - CORDEOR



**REFERENCIA**

Proyeccion Universal Transversa de Mercator  
Referencia horizontal: Datum PSAD 1956  
Esferoide Internacional.  
Zona 19 sur  
Las líneas negras indican la cuadrícula U.T.M. cada 5Km

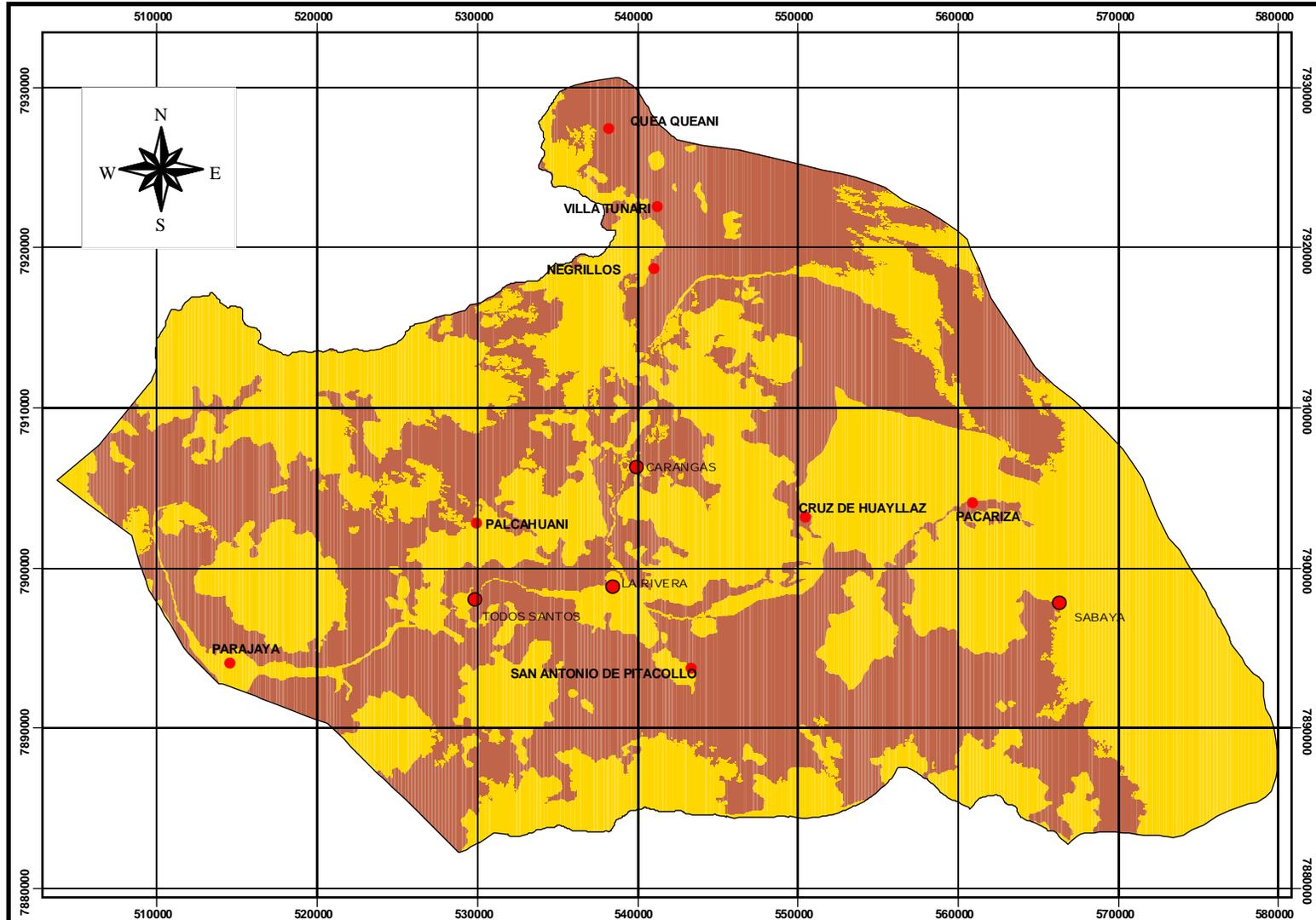
Universidad Mayor de San Andrés  
Facultad de Agronomía  
Carrera Ingeniería Agronómica  
Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios  
Prefectura del Departamento de Oruro  
Unidad Departamental de Riego y Suelos  
"Programa de Apoyo a la Descentralización en el Subsector Riego MACA PSAC"  
Tesis elaborado por : Luz Mery Lopez Rafael  
La Paz - Bolivia

- **Planos deltaicos (C24).**- Los suelos de esta unidad presentan textura moderadamente fina, problemas de inundación y salinidad. El valor agrícola, está limitado por su excesiva humedad y las altas concentraciones de sales.
- **Llanura fluvio-lacustre (C31).**- Son suelos de textura moderadamente gruesa, no presentan problemas de salinidad o de inundación, son suelos con buena capacidad de drenaje. Es la segunda unidad con mayor superficie en la cuenca (17.48%).
- **Colinas sedimentarias de formas redondeadas (C61).**- Son suelos con textura gruesa, en esta unidad se encuentran grandes afloramientos rocosos, son suelos poco profundos, no presentan problemas de inundación ni de salinidad, la agricultura se restringe a las pendientes, con suelos relativamente profundos como para satisfacer los requerimientos de cultivos de papa especialmente.
- **Montaña volcánica de formas redondeadas (D11).**- Las características de los suelos de esta unidad, son similares a la anterior unidad fisiográfica. Es la unidad con mayor superficie territorial en la cuenca con aproximadamente el 50,43%.
- **Glacis de piedemonte (D31).**- Esta constituida por suelos bien drenados, de textura moderadamente gruesa, no presentan problemas de inundación ni salinidad. Son aptos para una explotación agrícola, sin embargo, se encuentran limitados por las condiciones climatológicas adversas (temperaturas bajas y fuertes vientos).
- **Abanicos aluviales (D34).**- Son suelos bien drenados, de textura moderadamente gruesa, no presentan problemas de inundación o salinidad,
- **Valles aluviales (D41).**- Estos suelos son el resultado de las depositaciones de material aluvial, son suelos de textura moderadamente gruesa, moderadamente drenado, no presentan problemas de salinidad ni de inundación.
- **Bofedales (D42).**- Son suelos inundados permanentemente, pobremente drenado, textura moderadamente fina, presentan problemas de salinidad, constituyen lugares excelentes para la cría de camélidos.

#### **6.1.2.2. Aptitud de los suelos con fines de riego**

Los suelos de la Cuenca del Río todos Santos, según su aptitud con fines de riego, se clasifican en seis clases, agrupadas en dos grupos, esto por el nivel de detalle del mapa de suelos. El primer grupo esta compuesto por las clases II, III y IV, considerados como moderadamente, pobremente y muy pobremente aptos para riego, el segundo grupo lo constituyen las clases V y VI, consideradas como no aptas para riego (ver **MAPA N° 6**).

# MAPA Nº 6. Mapa de aptitud de suelos con fines de riego



**Mapa de Aptitud de Suelos con Fines de Riego**  
**Cuenca del Río Todos Santos**

**LEYENDA**

**SIGNOS CONVENCIONALES**

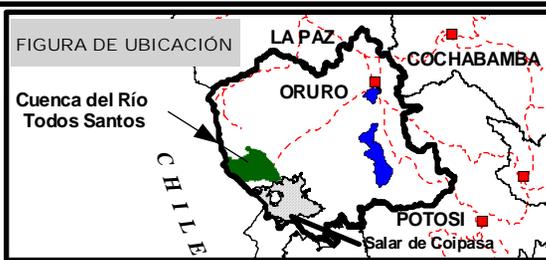
- Poblados
- Capital de municipio
- Límite de la cuenca

**REFERENCIAS**

Clasificación de suelos según su aptitud para riego

- Clase II-III-IV  
(Suelos moderadamente, pobremente y muy pobremente aptos para riego)
- Clase V-VI  
(Suelos no aptos para riego)

Fuente: Elaboración propia en base a datos de pendientes, cobertura y uso actual de la tierra y estudios de suelo ERTS.



**REFERENCIA**

Proyeccion Universal Transversa de Mercator  
Referencia horizontal: Datum PSAD 1956  
Esferoide Internacional.  
Zona 19 sur.  
Las lineas negras indican la cuadrícula U.T.M.cada 5 Km

Universidad Mayor de San Andres  
Facultad de Agronomía  
Carrera Ingenieria Agronómica

Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios  
Prefectura del Departamento de Oruro  
Unidad Departamental de Riego y Suelos  
"Programa de Apoyo a la Descentralización en el Subsector Riego MACA PSAC"

Tesis elaborado por : Luz Mery Lopez Rafael

La Paz - Bolivia

**Cuadro 13** Clasificación de Suelos en la Cuenca del Río Todo Santos

Nº	SUELOS CLASE	DESCRIPCION	AREA (km <sup>2</sup> )	PORCENTAJE ( %)
1	II III IV	Moderadamente aptos para riego Poco aptos para riego Muy poco aptos para riego	1150,16	52,94
2	V VI	No aptas para riego	1022,46	47,06
Total			2172,61	100,00

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en el cuadro anterior, que el 52% de los suelos de la Cuenca de Todos Santos son de clase II, III y IV, es decir moderadamente, poco y muy poco aptos para riego, poseen pendientes llanas (0–2%), suavemente inclinadas (2-6%) e inclinadas (6-13%), textura franco arenosa y velocidad de infiltración alta, no presentan afloramientos rocosos, ni problemas de salinidad e inundación. El restante 47% de la superficie de la cuenca, pertenece al grupo de suelos de clase V y VI, considerados no aptos para riego, por las severas limitaciones que presentan, que no son posibles de corregir, como ser: pendientes moderadamente escarpadas (13-25%) y escarpadas (25-55%), espesor de arena de mas de un metro (dunas establecidas), afloramientos rocosos, problemas de salinidad e inundación permanente.

### 6.1.2.3. Cobertura y uso actual de la tierra.

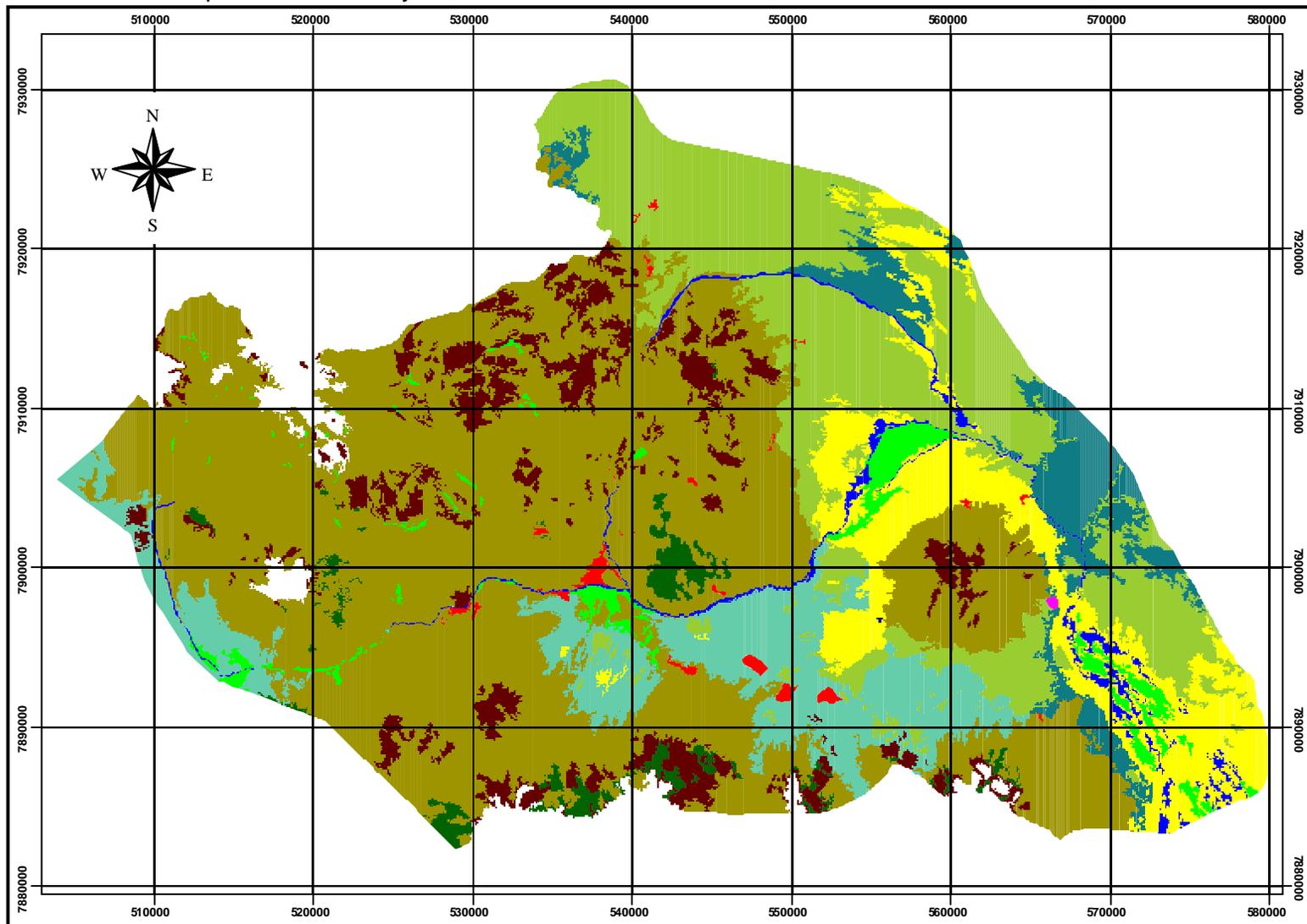
En la Cuenca del Río todos Santos, se encontraron 14 clases de cobertura (ver **MAPA No 7**), el **Cuadro 14** detalla el uso actual y su correspondiente extensión territorial.

**Cuadro 14** Uso Actual del Suelo de la Cuenca del Río Todo Santos

ID	COD	COBERTURA	USO	AREA (km <sup>2</sup> )	%
1	632	Campos de nieve temporal	Campos de nieve temporal	58,15	2,68
2	411	Centros poblados	Centros poblados	0,50	0,02
3	611	Cuerpos de agua lagos y lagunas permanentes	Sin uso	0,11	0,01
4	642	Cuerpos de agua represas fluviales	Producción de hiroenergía,	0,04	0,00
5	621	Cuerpos de agua ríos permanentes	Riego	27,78	1,28
6	212(1-2)	Cultivos en rotación y producción extensiva e intensiva a riego y secano	Cultivos en rotación y producción extensiva a riego y secano	10,58	0,49
7	1859	Dispersa de arbustos en sustrato arenoso	Pastoreo extensivo	179,49	8,26
8	18(10)(14)	Dispersa de arbustos en sustrato salino.	Pastoreo extensivo	177,41	8,16
9	1818(15)	Dispersa de arbustos siempre verde xeromorfo microfilo, gramíneas y forbias efímeras	Pastoreo extensivo	1004,00	46,19
10	165(11)	Herbáceo graminoide césped vivaz no saturado	Pastoreo extensivo	404,32	18,60
11	165(11)(13)	Herbácea graminoide de césped vivas o perenne turboso saturado inundable plantas pulvinadas	Pastoreo extensivo (bofedales)	45,32	2,09
12	13188(12)	Matorral ralo o denso siempre verde en sustrato rocoso, xeromorfo	Extracción de leña y productos no maderables	38,16	1,76
13	511	Superficie descubierta estable, afloramientos rocosos	Sin uso	135,58	6,24
14	523	Superficie descubierta erial inestable depósitos arenosos	Sin uso	92,34	4,25
Total				2172,61	100,00

FUENTE: Elaboración propia en base imágenes de satélite LANDSAT ETM+ 2002.

# MAPA N° 7. Mapa de cobertura y uso actual de tierras



**Mapa de Cobertura y Uso Actual de Tierras**  
Cuenca del Río Todos Santos

**LEYENDA**

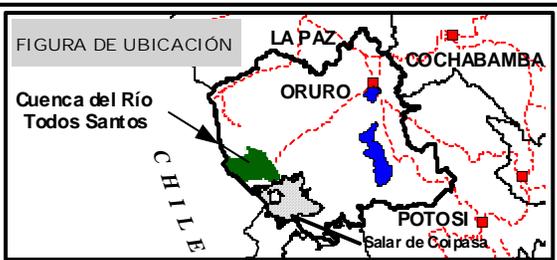
**SIGNOS CONVENCIONALES**

- Capital de municipio
- Límite de la cuenca

**REFERENCIAS**

- Campos de nieve temporal
- Centros poblados
- Cuerpos de agua lagos y lagunas permanentes
- Cuerpos de agua represas fluviales
- Cuerpos de agua ríos permanentes
- Cultivos en rotación y producción estensiva a riego y secano
- Dispersa de arbustos en sustrato arenoso
- Dispersa de arbustos en sustrato salino matas y cojines
- Dispersa de arbustos siempre verde xeromorfo microfilo, gramíneas y forbias efímeras
- Herbacea graminoide amacollada vivaz sinusia arbustiva micrófila
- Herbacea graminoide de cesped perene turboso saturado inundable plantas pulvinadas
- Matorral ralo o denso siempre verde en sustrato rocoso, xeromorfo
- Superficie descubierta estable, afloramientos rocosos
- Superficie descubierta erial inestable depositos arenosos

Fuente: Elaboración propia en base a la imagen de satélite y trabajo de campo



**REFERENCIA**

Proyeccion Universal Transversa de Mercator  
Referencia horizontal: Datum PSAD 1956  
Esferoide Internacional.  
Zona 19 sur.  
Las líneas negras indican la cuadrícula U.T.M.cada 5Km

Universidad Mayor de San Andrés  
Facultad de Agronomía  
Carrera Ingeniería Agronómica  
Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios  
Prefectura del Departamento de Oruro  
Unidad Departamental de Riego y Suelos  
"Programa de Apoyo a la Descentralización en el Subsector Riego MACA PSAC"  
Tesis elaborado por : Luz Mery Lopez Rafael  
La Paz - Bolivia

Como se puede apreciar en el **Cuadro 14**, gran parte de la superficie de la Cuenca de Todos Santos, esta cubierta por arbustos dispersos siempre verdes, xeromorficos, microfilos (Tolares). Las diferentes coberturas encontradas en el área de estudio son las siguientes:

**Campos de nieve temporal.-** Son unidades que están situadas entre los 5.000 a 5.700 m.s.n.m., cubiertos de nieve en forma temporal, principalmente en los meses de junio a agosto. La superficie aproximada de esta unidad es de 58,148 km<sup>2</sup>

**Centros poblados.-** Son áreas ocupadas por las construcciones de viviendas, instalaciones de servicios (postas sanitarias, escuelas e iglesias) y áreas de expansión de equipamiento (canchas, polifuncionales, parques y otros). La superficie aproximada es de 0,496 km<sup>2</sup>

**Cuerpos de agua lagos y lagunas permanentes.-** Esta unidad comprende las lagunas y lagos de la Cuenca de Todos Santos. Abarca una superficie de 0,109 Km<sup>2</sup> (*ver Fotografías 3 y 4*).



**Fotografía N° 3 y 4.** Laguna colindante a la Represa hidroeléctrica del Municipio de Todos Santos, hábitat de las Parihuanas o flamencos andinos.

**Cuerpos de agua represas fluviales.-** Constituye la única represa en la cuenca, se encuentra en municipio de Todos Santos, su función principal es la de producir energía eléctrica, pero también es fuente de riego para las comunidades aledañas, otro uso que presta es el de la pesca, su superficie aproximada es de 0,04Km<sup>2</sup>.

**Cuerpos de agua ríos permanentes.-** Esta unidad comprende los espacios de drenaje de ríos, quebradas, por donde fluyen las precipitaciones pluviales, representa una fuente indispensable de riego para algunas comunidades aledañas, abarca una superficie de 27,778 Km<sup>2</sup> (**Fotografías N° 5 y 6**).



**Fotografías N° 5y 6.** Ríos Pizan y Todos Santos respectivamente.

**Cultivos en rotación y producción.-** Son suelos donde la explotación agrícola presenta períodos de descanso que permite mantener la fertilidad del suelo, en la cuenca, esta unidad abarca una superficie de 10,578 Km<sup>2</sup>.

- Intensiva a riego.- Se caracteriza por un uso de la tierra sin un período considerable de descanso. Se realizan principalmente en terrazas situados en los márgenes del río Todo Santos, porque cuenta con riego permanente todo el año.
- Extensiva a seco.- Son suelos donde la explotación agrícola presenta períodos de descanso que permite mantener la fertilidad del suelo, generalmente no cuenta con riego y se ubican en la parte superior y media de la cuenca (Ver **Fotografía N° 7**).



**Fotografía N° 7.** Población de Todos Santos

**Dispersa de arbustos en sustrato arenoso matas y cojines.-** Esta unidad se caracteriza por presentar depósitos de arena permanente, situados principalmente en el abanico de la cuenca, son suelos cubiertos por una moderada densidad de arbustos (Lampaya), el uso que presta es de pastoreo (**Fotografías N° 8 y 9** ).



**Fotografías N° 8 y 9.** Dispersa de arbustos en sustrato arenoso matas y cojines (*Lampaya medicinalis*).

**Dispersa de arbustos en sustrato salino.-** Son unidades que se caracterizan por presentar afloramientos salinos, porque son suelos de baja capacidad de drenaje, abarcan una superficie de 177,406 Km<sup>2</sup>.

**Dispersa de arbustos siempre verde xeromorfo microfilo, gramíneas y forbias efímeras.-** Es una unidad abarca zonas con afloramientos de rocas (parte alta) y areniscas (parte media alta). Son unidades cubiertas de matorrales de tholares que permanecen siempre verde todo el año (**Ver Fotografías 10 y 11.**) el uso que presta a la comunidad es de pastoreo, representa el 46,19 % de la superficie de la cuenca.



**Fotografías N° 10 y 11.** Dispersa de arbustos siempre verde (*Baccharis incarum* - Ñacatolar)

**Herbáceo graminoide césped vivaz no saturado.-** Esta unidad es llamada también praderas solares altiplánicas, es una pradera discontinua baja que forma un césped denso a ralo dominada por gramíneas de tallo muy corto rizomatozo y herbazales resistentes a la salinidad. Se caracteriza por la presencia de amplias superficies de afloramientos salinos (**Fotografías N° 12 y 13**), tiene una extensión territorial de 404,316 Km<sup>2</sup>.



**Fotografía N° 12 y 13.** Herbáceo graminoide césped vivaz no saturado. Municipio de Sabaya.

**Herbácea graminoide de césped vivas o perenne turboso saturado inundable plantas pulvinadas (Bofedales).-** Bofedal de morfología plana o ligeramente abombada, permanentemente anegada por aguas, parcialmente recubiertas por afloramientos salinos. Estas gramíneas conforman los grandes campos de ciénegas o bofedales (**Fotografías N° 14 y 15**), por estar expuestas a irrigación constante y natural por las aguas del río Todo Santos, abarca una extensión superficial de 45,318 Km<sup>2</sup>.



**Fotografía N° 14 y 15.** Herbácea graminoide de césped vivas o perenne turboso saturado inundable plantas pulvinadas (Bofedales)

**Matorral ralo o denso siempre verde en sustrato rocoso, xeromorfo.**- Son tierras con cobertura rala a densa consideradas también como microbosques o arbustadas de kewiñas (*Polylepis tarapacana*) de tamaño regular (**Fotografía N° 16**), cubriendo pequeñas áreas, ubicándose en la parte basal superior de los cerros entre los 4.200 a 4.900 m.s.n.m. Esta unidad abarca aproximadamente 38,157 Km<sup>2</sup> de superficie total de la cuenca en estudio.



**Fotografía N° 16.** Matorral ralo o denso siempre verde en sustrato rocoso, xeromorfo microbosques o arbustadas de kewiñas (*Polylepis tarapacana*)

**Superficie descubierta erial inestable depósitos arenosos.**- Son superficies abiertas con acumulaciones de arena temporal que constantemente están cambiando su permanencia por la acción del viento (erosión eólica), con vegetación pobre y dispersa (**Fotografía N° 17**), ocupa aproximadamente 92,336 Km<sup>2</sup>.



**Fotografía N° 17.** Superficie descubierta erial inestable depósitos arenosos

**Superficie descubierta estable, afloramientos rocosos.**-Esta unidad esta constituida por superficies descubiertas donde afloran rocas, la superficie aproximada es de 135,577Km<sup>2</sup>

### 6.1.3 Geología

#### 6.1.3.1. Formaciones geológicas

La geología de la Cuenca de Todos Santos, corresponde a las formaciones geológicas de la Llanura Fluvio-lacustre y la Cordillera Occidental, el **MAPA Nº 8** y **Cuadro 15** muestran las características litológico-estructurales de la cuenca en estudio, la era de formación y su correspondiente extensión superficial.

**Cuadro 15.** Unidades geológicas de la Cuenca de Todos Santos

ID	Edad	COD	DESCRIPCION	AREA ( Km <sup>2</sup> )	%
1	Cuaternario (Q)	f	Campos de nieve temporal	2,77	0,13
2		f-1	Campos de nieve	0,75	0,03
3		Qa	Depositos aluviales	717,20	33,00
4		Qaa	Abanicos aluviales	67,66	3,11
5		Qbr	Brechas volcánicas	6,03	0,28
6		Qcf	Depósitos coluvio- fluviales	249,09	11,46
7		Qcv	Conos volcánicos	13,12	0,60
8		Qd	Deslizamientos	6,02	0,28
9		Qdu	Dunas	51,09	2,35
10		Qev	Estratovolcanes (Lavas andesítico - dacítilicas)	474,05	21,82
11		Qgp	Glaciales de piedra	0,73	0,03
12		Qm	Morrenas	7,49	0,34
13		Qt	Terrazas	2,38	0,11
14	Terciario (T)	Tc1	Brecha volcanica rialitica mineralizada	42,80	1,97
15		Tc2	Lava andesitica	17,20	0,79
16		Tc3	Toba riolitica rosasa y lavas andesitico- daciticos	38,49	1,77
17		Tc4	Tobas andesitico-daciticas	33,08	1,52
18		Tc5	Basalta oxidado	104,16	4,79
19		Tcnd	Form. Carangas no diferenciada	227,69	10,48
20		Tcnd_n	Form. Carangas no diferenciado_n	1,24	0,06
21		Ti	Ilustraciones terciarias	0,47	0,02
22		Tne	Form.Negrillos ( Lavas oscuras alteradas)	109,50	5,04
Total				2.172,61	100,00

FUENTE: Servicio Geológico de Bolivia Mapa Geológico de Bolivia cartas 5836 -37y 5936 - 37.

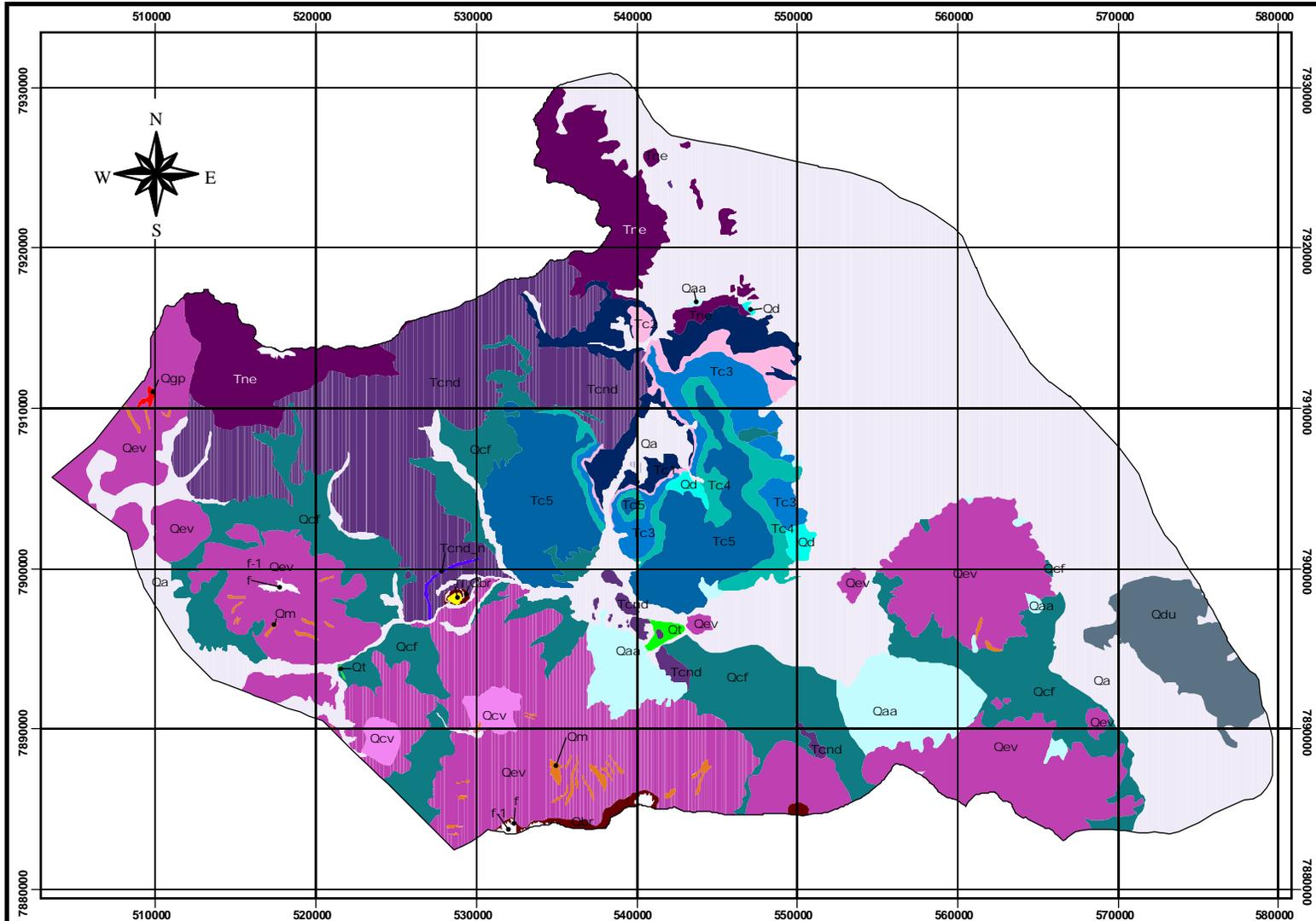
Las formaciones geológicas del área de estudio, se distinguen según la era geológica en la que se formaron, estas son:

**Era terciaria (T).**- La secuencia litologica<sup>1</sup> del Sistema Terciario corresponde en su mayor parte, a unidades de facies<sup>2</sup> continentales y efusiones de rocas ígneas.

<sup>1</sup> Estudio de la naturaleza, composición textura y propiedades de la roca.

<sup>2</sup> Categoría en la que puede encuadrar una roca o terreno y que esta determinada por uno o varios caracteres litologicos

# MAPA N° 8 Mapa Geológico



## Mapa Geológico Cuenca del Río Todos Santos

### LEYENDA

#### SIGNOS CONVENCIONALES

— Límite de la cuenca

#### REFERENCIAS

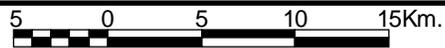
##### Terciario

- Tc5 Basalta oxidado
- Tc4 Tobas andesítico-dacíticas
- Tc3 Toba riolítica rosada y lavas andesítico dacíticas
- Tc2 Lava andesítica
- Tc1 Brecha volcánica riolítica mineralizada
- Ti Ilustraciones terciarias
- Tcnd Form. Negrillos( Lavas oscuras alteradas)
- Tne Form. Carangas no diferenciada
- Tne Form. Carangas no diferenciada

##### Cuaternario

- Qaa Abanicos aluviales
- Obr Brechas volcánicas
- Qcv Conos volcánicos
- Qa Depósitos aluviales
- Qcf Depósitos coluvio- fluviales
- Qd Deslizamientos
- Qdu Dunas
- Qev Estratovolcanes (Lavas andesítico- ciliticas)
- Qgp Glaciales de piedra
- Qm Morrenas
- Qt Terrazas

Fuente: Mapa Geológico: Servicio Geológico de Bolivia Hojas N° 5837, 5937, 5836 y 5936.



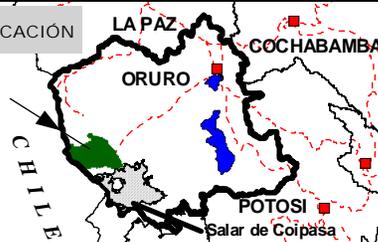
Escala: 1: 400000

### REFERENCIA

Proyeccion Universal Transversa de Mercator  
Referencia horizontal: Datum PSAD 1956  
Esferoide Internacional.  
Zona 19 sur.  
Las líneas negras indican la cuadrícula U.T.M.cada 5 Km

### FIGURA DE UBICACION

Cuenca del Río Todos Santos



Universidad Mayor de San Andrés

Facultad de Agronomía

Carrera Ingeniería Agronómica

Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios

Prefectura del Departamento de Oruro

Unidad Departamental de Riego y Suelos

"Programa de Apoyo a la Descentralización en el Subsector Riego MACA PSAC"

Tesis elaborado por : Luz Mery Lopez Rafael

La Paz - Bolivia

Esta era es propia de las serranías volcánicas de la Cuenca de Todos Santos (Cordillera Sabaya), esta constituida por brecha volcánica riolítica mineralizada y tobas (andesítico-dacíticos y riolítica rosada) formadas en el periodo mioceno medio, lavas (andesítica y andesítico-dacíticos), basalta oxidado e ilustraciones terciarias, formadas en el periodo mioceno/oligoceno, lavas oscuras alteradas (Form. Negrillos) y formaciones no diferenciadas (Form. Carangas).

**Era Cuaternaria (Q).**- Propia de la parte sur- oeste de la Cordillera Sabaya, Llanura y terrazas fluvio-lacustre, la primera constituida por conos volcánicos, brechas volcánicas, glaciales de piedra, morrenas y estratovolcanes (Lavas andesítico – dacílicas), las segundas construidos por depósitos de gravas, arena arcillas y limos, han sido clasificados de acuerdo a su origen y/o aspecto morfológico, estas son: depósitos aluviales (Qa), abanicos aluviales (Qaa), depósitos coluvio- fluviales (Qcf), deslizamientos (Qd), dunas (Qdu) y terrazas (Qt)

#### 6.1.4 Recursos hídricos

En este capítulo, conforme a las variables de respuesta, se detallan todos los componentes del sistema hídrico de la Cuenca de Todos Santos.

##### 6.1.4.1. Cuencas Superficiales

La Cuenca Todos Santos se divide en nueve subcuencas como se puede observar en el **MAPA N° 9** y **Cuadro 15**, se han identificado cuatro subcuencas de interés estas son: Jalsuri, Pisani, Carangas y Cebada Mantos.

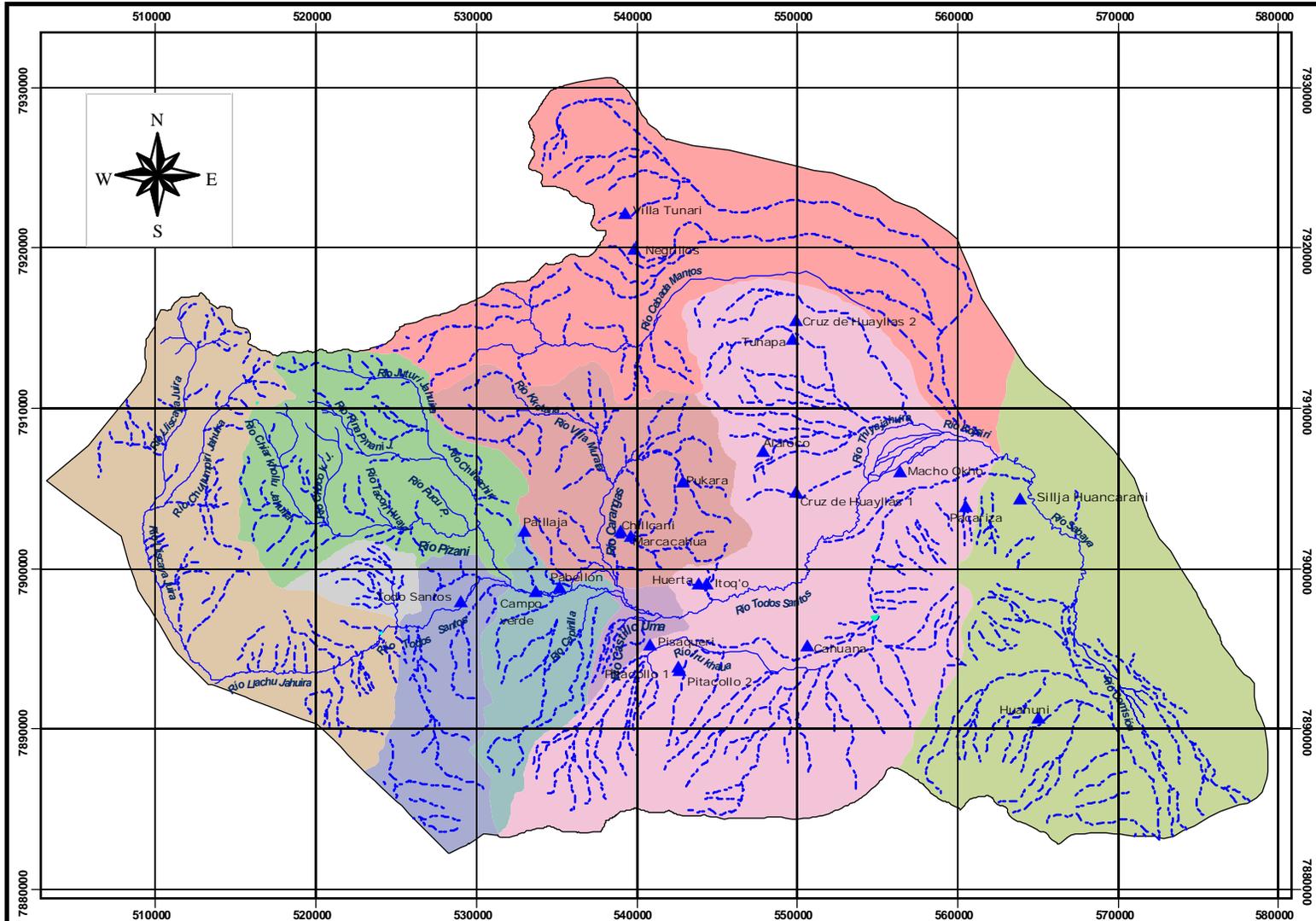
**Cuadro 16** Cuenca del Río Todos Santos

Nº	SUBCUENCAS	AREA DE APORTE (Km2)	%
1	Río Jalsuri	25,68	1,18
2	Río La Rivera	82,30	3,79
3	Río Lliscaya	260,54	11,99
4	Río Pizani	181,25	8,34
5	Río Carangas	173,33	7,98
6	Río Castilla Uma	20,56	0,95
7	Río Cebada Mantos	367,93	16,94
8	Río Choco Khollo	97,68	4,50
9	Río Sabaya	393,78	18,12
10	Río Todos Santos	557,16	26,22
Total		2172,61	100,00

FUENTE: Elaboración propia en base a datos de la UDRSO

En el cuadro anterior, se puede observar que la Subcuenca de Todos Santos, posee la mayor extensión territorial en la cuenca en estudio.

# MAPA N° 9 Mapa Hidrográfico.



## Mapa de la Red Hidrográfica Cuenca del Río Todos Santos

**LEYENDA**

**SIGNOS CONVENCIONALES**

- Límite de la cuenca

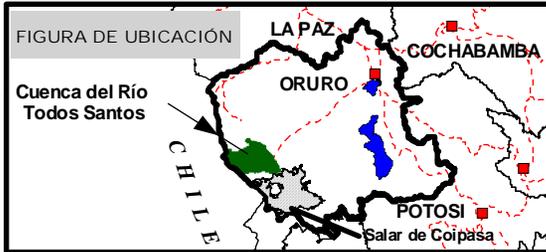
**REFERENCIAS**

- ▲ Sistemas de riego existentes
- Río Intermitente
- Río permanente
- Laguna
- Represa

**Sub Cuenclas**

- La Rivera
- Lliscaya
- Pizani
- Carangas
- Castilla Uma
- Cebada Mantos
- Jalsuri
- Choco Khollo
- Sabaya
- Todos Santos

Fuente: Elaboración propia en base a las cartas topográficas escala 1:50.000 Instituto Geográfico Militar (IGM).



**REFERENCIA**

Proyeccion Universal Transversa de Mercator  
 Referencia horizontal: Datum PSAD 1956  
 Esferoide Internacional.  
 Zona 19 sur.  
 Las líneas negras indican la cuadrícula U.T.M.cada 5 Km

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Agronomía  
 Carrera Ingeniería Agronómica

Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios  
 Prefectura del Departamento de Oruro  
 Unidad Departamental de Riego y Suelos  
 "Programa de Apoyo a la Descentralización en el Subsector Riego MACA PSAC"

Tesis elaborado por : Luz Mery Lopez Rafael

La Paz - Bolivia

#### 6.1.4.2. Cuerpos de agua.

El río principal de la cuenca en estudio, es el Río Todos Santos, nace en las quebradas correspondientes a los cerros: Blanco, Chojña Jalaquiri loma y Punta Chullumpiri, todos estos cauce conjuntamente con el Río Lakha desembocan al Río LLiscaya Jahuira, este en su recorrido recibe por su margen izquierda al Río Chullumpiri Jahuira, continua con el mismo nombre hasta el cerro Canta, donde es denominado Río LLachu Jahuira, finalmente recibe el nombre de Todos Santos. Este principal río en su recorrido recibe las aguas del Río Jalsuri, Pisani, Carangas, Thiya Jahuira, toma el nombre de Sabaya y llega al salar de Coipasa con el nombre de Comisión (ver **MAPA N° 9**).

Se ha identificado en la cuenca a través de la imagen de satélite, dos lagunas, una es la laguna Chullumpiri, ubicado circundante al Río Chullumpiri Jauría, la segunda laguna no tiene nombre y se encuentra a los pies del cerro Pumiri (ver **MAPA N° 5**).

No existe un estudio de aguas subterráneas en la Cuenca de Todos Santos, sin embargo de veintitrés sistemas de riego existentes en la cuenca de todos santos solo cuatro provienen de fuentes superficiales (ríos), el resto que es la gran mayoría provienen de aguas subterráneas es decir de vertientes y pozos (ver **Cuadro 17**), la ubicación de estos se puede observar en el **MAPA N° 9**.

**Cuadro 17.** Sistemas de riego provenientes de aguas subterráneas

N°	SISTEMA DE RIEGO	TIPO DE FUENTES DE AGUA (TOMA)	
		VERTIENTE	POZO
1	Paillaja	X	
2	Marcacahua	X	
3	Chillcani	X	
4	Itoq'o	X	
5	Cahuana		X
6	Pacariza	X	
7	Negrillos	X	
8	Macho Okho		X
9	Villa Tunari	X	
10	Pisaqueri	X	
11	Pitacollo 2	X	
12	Huerta	X	
13	Huancarani		X
14	Potacollo 1	X	
15	Tunapa	X	
16	Cruz de Huayllas 1	X	
17	Cruz de Huayllas 2	X	
18	Aloroco	X	
19	Sillja Huancarani	X	
Total		16	3

FUENTE: Elaboración propia en base a datos de la UDRSO

En el cuadro anterior, se observa que 16 sistemas de riego provienen de vertientes y solo 3 de pozos, de esta manera se asume que la mayor fuente de agua para riego en la cuenca proviene de vertientes.

#### 6.1.4.3. Calidad del agua

Para determinar la calidad del agua superficial, el equipo técnico de la UDRS de Oruro, realizaron en campo el análisis del PH y conductividad eléctrica, de las aguas de los ríos que conforman la Cuenca de Todos Santos, cuyos resultados se muestran en el siguiente cuadro.

**Cuadro 18** Calidad de las Aguas Superficiales Río Todos Santos y Afluentes.

SECTOR	LATITUD SUD	LONGITUD OESTE	PH	C.E. (micromhos/cm)
Río Todo Santos (lado Chileno)	502910,64	7890331,17	8,3	1150
Río Todo Santos –Cruzani	525380,95	7892748,26	8	660
Río Todo Santos(Jalsuri)	521231,61	7896119,12	7,9	650
Río Jalsuri (Afluente)	525362,07	7896030,93	8,5	130
Río Todo Santos ( aguas abajo confluencia Jalsuri)	525353,33	7896052,46	8,7	150 (no confiable)
Río Todo Santos (Todo Santos)	529611,99	7897536,84	7,95	550
Río Todo Santos (Pizani)	532525,74	7898629,24	8,2	545
Río Pizani (afluente)	532540,38	7898644,59	8,3	175
Río Todo Santos (Aguas abajo confluencia Pizani)	532534,54	7898650,74	8,3	525
Río Todo Santos (Churicollo)	543296,1	7897128,76	8,15	675
Río Todo Santos (Puente Sabaya)	568032,02	7901710,49	7,9	2000

FUENTE: Elaboración propia en base mediciones en campo - UDRS – PSAC ORURO

En el cuadro anterior se puede observar que las aguas del Río Todos Santos del lado Chileno y en inmediaciones del salar de Coipasa, son de clase C3, esta clase de aguas son altamente salinas, pueden utilizarse en suelos con drenaje adecuado y cultivos tolerantes a la sales. La CE del mismo río en proximidades de la comunidad de Todos Santos, Río Jalsuri, Cruzani, Pisani y Churicollo, es de clase C2, las aguas de esta clase son de salinidad media, finalmente los Rios Jalsuri y Pisani son de Clase C1, esta clase de agua es de baja salinidad y puede utilizarse en la mayoría de los cultivos.

No se cuenta con información sobre el aprovechamiento de los recursos hídricos subterráneos a nivel departamental, y peor aún en la Cuenca del Río Todos Santos.

## 6.2 Caracterización de la situación existente respecto al riego.

El riego en la región, actualmente tiene una notable importancia, porque suministra el agua para mantener los cultivos intensivos de ajo, haba y bofedales, estos últimos son de gran importancia, por ser la principal fuente de alimento para el ganado camélido.

En ese entendido, la identificación y validación de nuevos sistemas de riego con enfoque de cuenca, obedece a la importancia estratégica de los municipios involucrados a contar con mayores caudales de oferta de agua, principalmente para mantener y rehabilitar los bofedales.

### **6.2.1 Descripción de los sistemas de riego y microriego existentes.**

En este acápite se describe las características de los sistemas de riego y microriego existentes en la cuenca en estudio, conforme a los objetivos planteados.

#### **6.2.1.1 Ubicación geográfica**

Los sistemas de riego existentes en la zona de estudio, así como su ubicación en la cuenca se detallan en el **MAPA Nº 10** y **Cuadro 19**.

#### **6.2.1.2 Comunidades y familias beneficiarias**

En la actualidad los veintitrés sistemas de riego existentes en la cuenca, tiene como usuarios a 459 familias que representa el 59.46% de las 772 familias existentes. Asimismo, en la zona se tiene un promedio de 52 ha de tenencia de tierra por familia, como se puede verificar en el **Cuadro 19**.

#### **6.2.1.3 Descripción de la infraestructura de riego existente**

La mayoría de la infraestructura de riego existe en la región, consta de una toma rústica y canales de conducción de tierra en completo abandono. A excepción de los sistemas de riego Todo Santos (**Fotografía Nº 18**), Campo Verde, Pabellón que tienen mejoras recientes en sus componentes de captación, conducción y distribución.



**Fotografía Nº 18.** Sistema de riego de la comunidad de Todos Santos.

#### **6.2.1.4 Nivel tecnológico de riego y principales cultivos.**

La tecnología de producción agrícola que actualmente se emplea en la Cuenca del Río Todo Santos, es la tradicional, que consiste en realizar las actividades agrícolas en forma manual, empleando como materiales la picota, azadón, pala y otros. La branza manual representa el 78.3 %, en cuanto al uso de semilla, un 21.7 % de los usuarios ya emplean semilla certificada y el resto sigue utilizando la semilla del lugar, en ambos casos la fertilización empleada es la orgánica, las principales especies cultivadas bajo riego son el ajo, haba, zanahoria, cebolla verde y lechuga (invernadero), asecano son la papa, quinua, cebada y forraje, la gran mayoría de los usuarios utiliza el agua para regar las praderas, con el fin de mantener y habilitar nuevos bofedales para el consumo de los camélidos., estos datos se pueden constatar en el **Cuadro 19**.

#### **6.2.1.5 Cobertura de los sistemas de riego y calidad de agua.**

El área cultivable bruta de la Cuenca del Río Todo Santos es de 797 has, la superficie cultivada bajo riego es de 275 has, el área bajo riego en invierno es de 40 has y regada en verano de 107 has, que hace un total de 147 has. En toda la Cuenca del Río Todo Santos existe 16 tomas agua proveniente de vertientes, 4 tomas de ríos y 3 pozos artesanales, todo ellos en estado regular. Los sistemas de mayor cobertura de agua, son los que tienen tomas de ríos con caudales promedio de 250 l/s, tanto en época húmeda como seca, los demás sistemas de vertientes y pozos tienen ofertas entre 0,2 a 40 l/s. Las aguas del Río Todo Santos, son consideradas como moderadamente básicas con índice riesgo de salinidad medio, las aguas de vertientes y pozos son medianamente ácidas (*ver Cuadro 19*).

#### **6.2.2 Localización de demandas de riego, microriego y posibles sitios de embalse.**

La Prefectura del Departamento de Oruro, en coordinación con el MACA y mediante PRONAR procedió a la elaboración del Plan Departamental de Riego (PDR). En el proceso de formulación se realizaron 5 talleres departamentales, en los que participaron representantes de Asociaciones de Regantes, Mancomunidades y Municipios, es así que se han identificado varias demandas de proyectos de riego. En la Cuenca del Río Todo Santos se ha identificado 3 proyectos de riego de competencia prefectural y 21 sistemas de microriego que corresponden a competencia Municipal.

**Cuadro 19.** Descripción de los sistemas de riego existentes

Nº	SISTEMAS DE RIEGO EXISTENTE	COORDENADAS		ELEV. m.s.n.m	TIPO DE FUENTES DE AGUA (TOMA)			CAUDAL OFERTADO (l/s)		Calidad de agua		Población y Tenencia de Tierra		USUARIOS SISTEMA	AREA DE RIEGO ha.				LABRANZA			Semilla Certific.
		LATITUD X	LONGITUD Y		RÍO	VERTIENTE	POZO	EPOCA HUMEDA	EPOCA SECA	p.H.	C.E. (mmhos/cm)	NUMERO DE FAMILIAS	TENENCIA (ha/fam.)		AREA BRUTA	AREA REGABLE	A. REGADA INVIERNO	A. REGADA VERANO	Manual	Yunta	Tractor	
1	Todos Santos	543358,12	7905364,11	3.940,00	X			270	240	7,39	0,74	98	40	83	35	28	0	9,6	X			X
2	Pabellón	543125,98	7893618,58	3.890,00	X			280	250	7,39	0,74	35	40	27	200	100	40	60				
3	Campo Verde	533475,64	7902300,99	3.850,00	X			50	40	7,39	0,74	6	50	6	60	15	0,48	4,28	X			
4	Paillaja	565512,96	7890630,03	4.100,00		X		4,3	3,7	6,37	1,6	4	45	4	28	8	0	0,8	X			
5	Marcacahua	539757,06	7922103,1	3.860,00		X		1,2	0,6	6,14	0,44	8	70	8	16	5	0	0,11	X			
6	Chillcani	540104,79	7902002,13	3.860,00		X		0,3	0,3	6,12	0,44	4	40	1	10	1,2	0	0,2	X			
7	Pukara	550385,37	7904726,08	3.940,00	X			3,5	0,5	6,23	0,36	5	56	4	23	3	0	0,8	X			
8	Itoq'o	540350,15	7919873,35	3.800,00		X		1,4	1,2	5,7	0,72	3	40	3	30	3	0	0,68	X			
9	Cahuana	529560,73	7897918,29	3.740,00			X			5,8	0,66	22	56	22	20	10	0	0				
10	Pacariza	544375,74	7899052,32	3.900,00		X		0,3	0,1	6,26	0,24	40	0,6	40	24	1	0	0	X			
11	Negrillos	541332,85	7895248,7	3.978,00		X		3,4	2,3	7,54	0,28	172	40	12	35	5	0	1,5	X			
12	Macho Okho	556912,71	7905997,29	3.720,00			X	-	-	6,41	0,3	40	0	40	20	16	0	0				
13	Villa Tunari	564399,04	7904309,87	3.980,00		X		1,3	0,7	7,87	0,24	38	25	30	18	4	0	2,5	X			X
14	Pisaqueri	543067,86	7893812,71	3.840,00		X		19,4	17,7	5,8	0,8	10	30	10	18	3	0	1,6	X			
15	Pitacollo 2	550174,85	7914295,55	3.840,00		X		0,3	0,3	5,86	0,6	32	32	5	3	1,5	0	0,8	X			
16	Huerta	560996,59	7903869,49	3.800,00		X		0,7	0,7	5,7	0,6	3	40	3	48	8	0	0,72	X			
17	Huancarani	565512,95	7890630,03	3.700,00			X	-	-	5,61	0,86	22	60	22	20	6	0	0				
18	Potacollo 1	535640,89	7898807,92	3.840,00		X		40	37,3	5,84	0,82	42	32	32	66	25	0	15,09	X			
19	Tunapa	548371,42	7907320,49	3.800,00		X		1	0,7	7,26	1,22	26	380	12	8	3	0	0				
20	Cruz de Huayllas1	539479,91	7902300,99	3.760,00		X		0,2	0,2	6,2	1,02	30	25	15	30	1,2	0	0,5	X			X
21	Cruz de Huayllas2	544871,86	7899020,75	3.760,00		X		7	3,4	5,78	0,8	30	25	30	40	10	0	3,6	X			X
22	Aloroco	522049,69	7894365,46	3.848,00		X		0,6	0,5	6,05	1,12	80	35	30	20	5	0	1,6	X			X
23	Sillja Huancarani	564399,04	7904309,87	3.700,00		X		0,8	0,7	5,57	3,72	22	32	20	25	13	0	3				
Total					4	16	3					772		459	797	275	40	107				
Porcentaje (%)												100		59,46					78,3			21,7
Promedio													52									

FUENTE: Trabajo de campo UDRS

### 6.2.2.1 Ubicación geográfica de las demandas de riego, microriego y posibles sitios de embalse.

El **MAPA N°10**, muestra la localización geográfica, en la Cuenca del Río Todos Santos, de las demanda de riego, microriego y posibles sitios de embalse, además el **Cuadro 20** detalla su ubicación política administrativa.

**Cuadro 20.** Ubicación Geográfica de Demandas

NOMBRE PROYECTO	PROVINCIA	MUNICIPIO	Y	X	ALTURA	FUENTE DE AGUA
Riego Presa Churicollo	Sabaya	Sabaya	7897140	543267	3795	Río Todos Santos
Riego Presa Carangas	Mejillones	Carangas	7905950	538520	3867	Río Carangas
Riego Presa Cebada Mantos	Sabaya	Sabaya	7914180	539887	3840	Río Cebada Mantos
Microriego Pisani	Mejillones	Todos Santos	7902400	521738	4090	Río Todos Santos

Fuente: Elaboración Propia en base trabajo de campo UDRS.

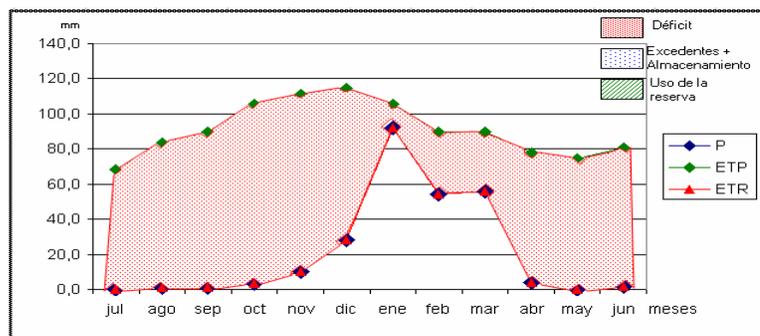
### 6.2.3 Evaluación medio ambiental en función del riego

#### 6.2.3.1. Clima.

Según Navarro (año) la Cuenca del Salar de Copipasa se encuentra en el Sector Biogeográfico Centro Altiplanico, en esta región es catalogada como Ombroclima xerico seco inferior a semiárido en las altas montañas y Altiplano.

#### 6.2.3.2. Balance hídrico climático.

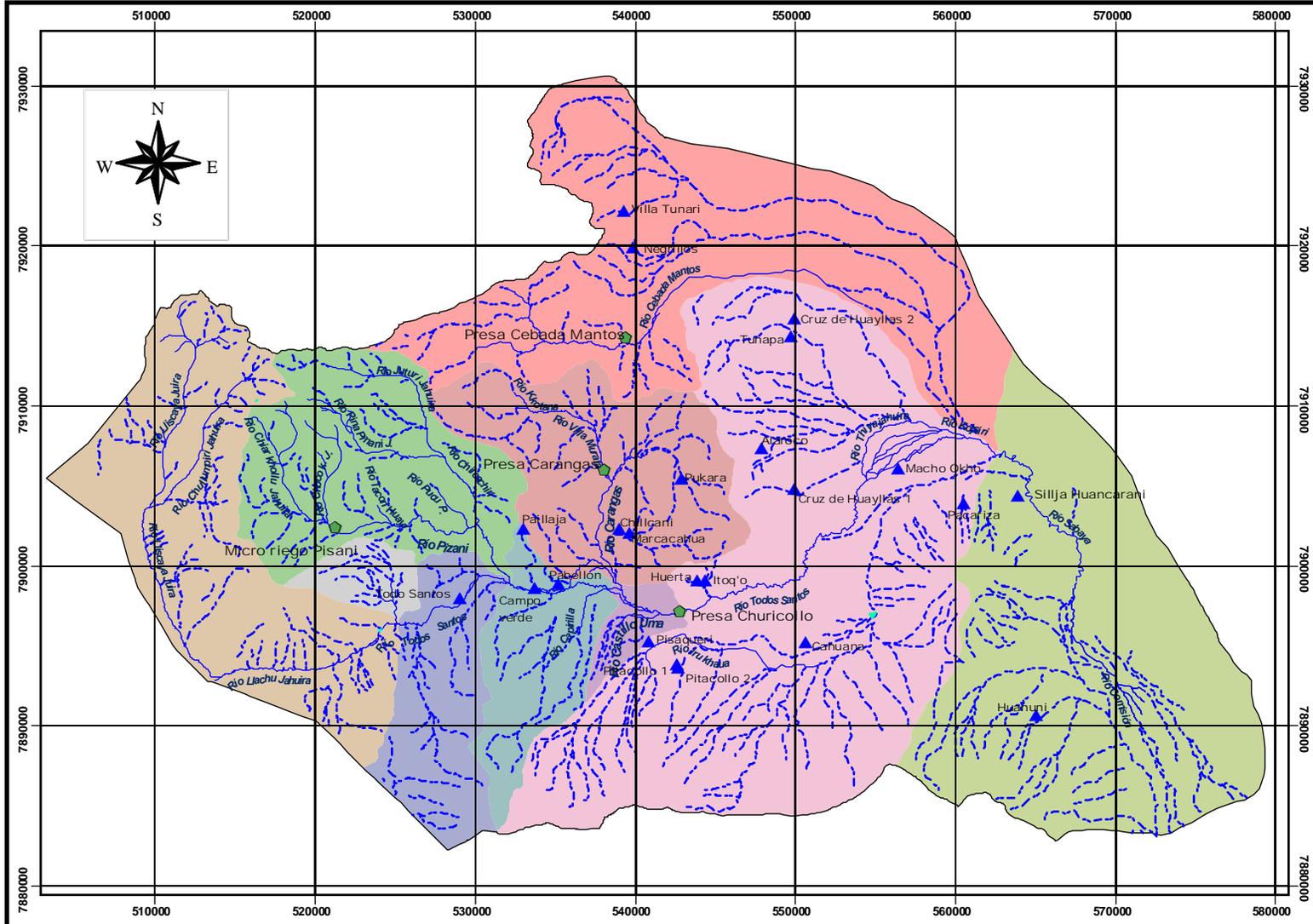
La **Figura 12**, detalla el balance hídrico climático de la Cuenca de Todos Santos, a partir de datos de la precipitación media mensual (método polígonos de thiennes) y Evapotranspiración potencial (método Hargreaves).



	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	Total
<b>P</b>	0,0	1,0	1,2	3,3	10,3	28,0	92,3	54,4	55,9	4,2	0,1	1,5	252,2
<b>ETP</b>	68,2	83,7	90,0	105,4	111,0	114,7	105,4	89,6	89,9	78,0	74,4	81,0	1091,3
<b>Reserva</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>ETR</b>	0,0	1,0	1,2	3,3	10,3	28,0	92,3	54,4	55,9	4,2	0,1	1,5	252,2
<b>Déficit</b>	68,2	82,7	88,8	102,1	100,7	86,7	13,2	35,2	34,0	73,8	74,3	79,5	839,1
<b>Excedentes</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>ETR/ETP</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,9	0,6	0,6	0,1	0,0	0,0	

**Figura 12.** Balance hídrico climático

# MAPA N° 10. Mapa de Nuevos sitios de Embalse



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

Mapa de Nuevos Sitios de Embalse  
Cuenca del Río Todos Santos

**LEYENDA**

**SIGNOS CONVENCIONALES**

- Límite de la cuenca

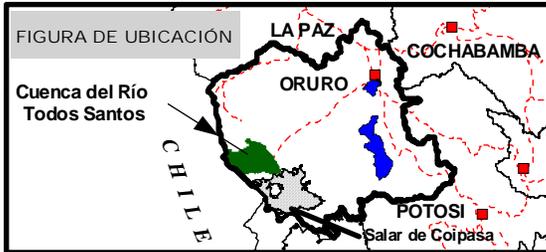
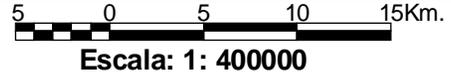
**REFERENCIAS**

- ◆ Nuevos sitios de embalse identificados
- ▲ Sistemas de riego existentes
- Río Intermitente
- Río permanente
- Laguna
- Represa

**Sub Cuencas**

- La Rivera
- Lliscaya
- Pizani
- Carangas
- Castilla Uma
- Cebada Mantos
- Jalsuri
- Choco Khollo
- Sabaya
- Todos Santos

Fuente: Elaboración propia en base a cartas topográficas escala 1:50.000 Instituto Geográfico Militar (IGM).



**REFERENCIA**

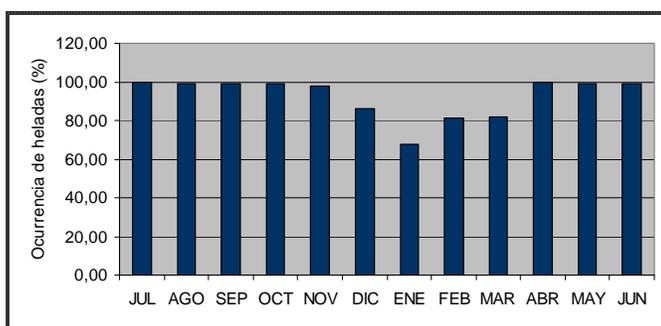
Proyeccion Universal Transversa de Mercator  
Referencia horizontal: Datum PSAD 1956  
Esferoide Internacional.  
Zona 19 sur.  
Las líneas negras indican la cuadrícula U.T.M.cada 5Km

Universidad Mayor de San Andrés  
Facultad de Agronomía  
Carrera Ingeniería Agronómica  
Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios  
Prefectura del Departamento de Oruro  
Unidad Departamental de Riego y Suelos  
"Programa de Apoyo a la Descentralización en el Subsector Riego MACA PSAC"  
Tesis elaborado por : Luz Mery Lopez Rafael  
La Paz - Bolivia

Se tiene déficit hídrico en los 12 meses del año, como se puede observar en la **Figura 12**, el mes con menor déficit, coincide con el registro del mes con mayor precipitación en la estación meteorológica de Todos Santos.

### 6.2.3.3. Riesgos ambientales potenciales

Las provincias Mejillones y Atahuallpa del Departamento de Oruro, tienen una incidencia muy alta de riesgo de heladas (Barragán et al., 2000) El análisis de la frecuencia de ocurrencia de heladas, en la Cuenca del Salar de Coipasa, fue elaborada, a partir de las temperaturas mínimas extremas, de las estaciones climatológicas propias de esta región.



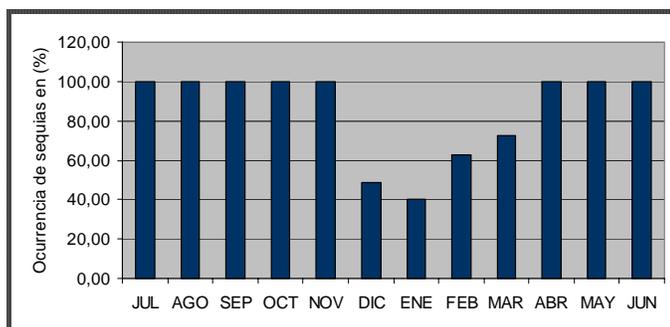
ESTACION	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Desaguadero Bajo	100	90	74	66	62	25	18	13	29	78	95	100
Lago Poopo	100	100	98	83	79	73	58	56	67	88	97	100
Salar de Coipasa	100	99	99	99	98	86	68	81	82	100	99	99
<b>Promedio</b>	<b>100</b>	<b>96</b>	<b>90</b>	<b>83</b>	<b>80</b>	<b>61</b>	<b>48</b>	<b>50</b>	<b>59</b>	<b>89</b>	<b>97</b>	<b>100</b>

**Figura 13.** Frecuencia de ocurrencia de heladas en (%). (Estudios básicos 2001).

En la figura anterior se aprecia que existe un 99 a 100% de probabilidad de ocurrencia de heladas en los meses de abril a noviembre. La helada constituye uno de los principales factores limitativos de la agricultura en la región, ya que destruyen los tejidos de la plantas.

La cuenca en estudio, es considerado como un región con muy alto riesgo de sequía, 4 de cada 5 años, la probabilidad de sequía es permanente, como resultado de desbalances extremos entre la evaporación y la precipitación temporal, acelerando los procesos de desertificación (Barragán et al., 2000).

El análisis de probabilidades de fenómenos meteorológicos diversos, de cuatro cuencas en el Departamento de Oruro, determinó la frecuencia de ocurrencia de sequías por mes, mayor detalle en la ver la **Figura 14**.



ESTACION	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Desaguadero Bajo	100	99	98	100	99	63	45	51	70	99	100	100
Lago Poopo	100	100	96	100	99	37	32	54	64	98	100	100
Salar de Coipasa	100	100	100	100	100	49	40	62.5	72.5	100	100	100
<b>Promedio</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>98</b>	<b>100</b>	<b>99</b>	<b>50</b>	<b>39</b>	<b>56</b>	<b>69</b>	<b>99</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

**Figura 14.** Frecuencia de Ocurrencia de Sequías (%). (Estudios básicos 2001).

La anterior figura, muestra una probabilidad de frecuencia de ocurrencia de sequía del 100%, en los meses de abril a noviembre, entre los meses de diciembre a marzo la frecuencia de ocurrencia es del 69 a 39 %.

La salinización, en la Cuenca de Todos Santos, es un problema que afecta al 10,83% de su territorio, y el 17,48% que es ocupada por la llanura fluviolacustre presenta grandes superficies de afloramientos salinos.

El equipo técnico de la UDRS, identificó unidades erosivas, presentes en la Cuenca del Río Todo Santos, estas son: Cárcavas inactivas y/o ligeramente activas, las cuales se encuentran entre los 3500 a 4200 m.s.n.m., principalmente en quebradas que drenan sus aguas al río Todo Santos. Cárcavas moderadamente activas, las cuales se encuentran entre los 2900 a 3900 m.s.n.m., ubicadas en cuevas de los ríos que drenan sus aguas al Río Todo Santos. Erosión en surcos, ubicadas en la zona media de la Cuenca entre los 3000 a 3500 m.s.n.m. Erosión laminar severa, unidad que se concentra en zonas con cobertura de baja densidad, ubicada en zonas donde hubo una intensa presión sobre los recursos por parte de la población asentada.

La erosión eólica en la cuenca, se localiza en la parte llana de la cuenca, es el resultado de los fuertes vientos, que alcanzan en algunas zonas velocidades mayores a 3,5 km/h. Grandes extensiones de tierras cultivables son enterradas por arena, lo que dificulta posteriormente la conducción del agua.

La superficie de la cuenca que presenta problemas de inundación temporal, es de aproximadamente el 8.86%, mientras que el 2.09% muestra inundación permanente. El primero se localiza en las unidades fisiográficas denominadas planos deltaicos y depresiones temporalmente inundables, las segundas son lugares por donde fluyen las aguas formando grandes extensiones de césped turboso denominados bofedales.

#### 6.2.3.4. Contaminación del suelo, agua y aire

Al existir en el área de estudio una hidroeléctrica, centros mineros y actividad antropica, se asume que la contaminación ambiental en la zona esta vigente, sin embargo no se ha podido encontrar estudios sobre el tema.

### 6.3 Balance hídrico a nivel cuenca.

Los resultados del balance hídrico de la cuenca del río Todos Santos, se detallan por mes, según el número de curva de escurrimiento (SCS) de sus suelos.

#### 6.3.1 Estimación de oferta hídrica (Método Racional).

Este acápite detalla, los resultados del cálculo de coeficientes de escurrimiento, de precipitación media anual (método de Isoyetas), precipitación media mensual (método de Polígonos de Thiessen) y precipitación al 75 % de probabilidad (método Frecuencia Acumulativa). Cálculos necesarios para determinar los volúmenes de esorrentía superficial, con una probabilidad del 75% de ocurrencia.

#### Precipitación media anual y mensual (Método de Isoyetas y Polígonos de Thiessen)

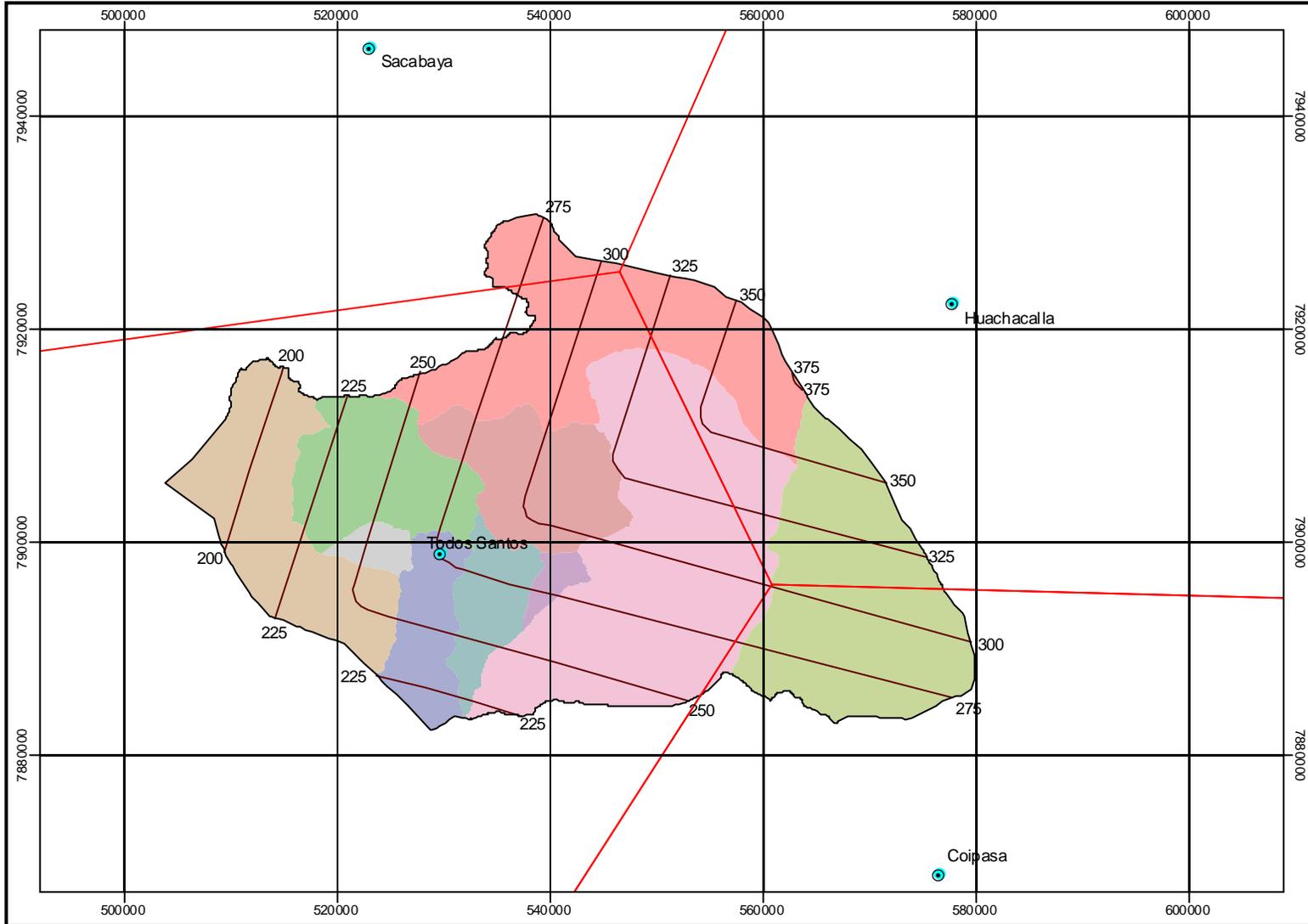
El **MAPA Nº11**, detalla la distribución espacial de los rangos de precipitación en la cuenca en estudio, las zonas con mayor precipitación son las que se encuentran en zonas llanas, al contrario de las zonas con mayor altitud, los rangos de precipitación varían desde los 375 a 200 mm/mes. La precipitación media anual es de 281.98 mm/año, la precipitación promedio mensual es de 21.01 mm/mes (ver **Cuadro 21**), los cálculos efectuados se muestran en el **Anexo I – Tabla 9**.

**Cuadro 21.** Precipitación media mensual de la Cuenca de Todos Santos

Mes	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOVI	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	PROM.
Prec. Prom. Mensual (mm)	1,500	0,000	1,019	1,185	3,269	10,335	27,998	92,250	54,358	55,921	4,229	0,095	21,01

Fuente: propia.

# MAPA Nº 11. Mapa de Isoyetas y polígonos de Thiessen.



**Mapa de Isoyetas**  
**Cuenca del Río Todos Santos**

**LEYENDA**

**SIGNOS CONVENCIONALES**

- Límite de la cuenca

**REFERENCIAS**

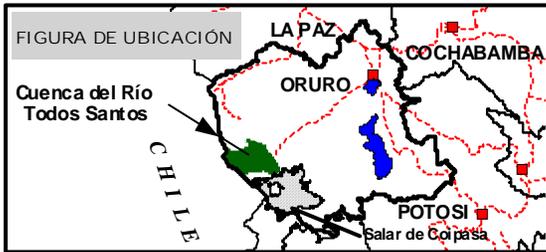
- Estación climatológica
- Líneas de Polígonos de Thiessen
- Precipitación media anual (mm)

**Subcuencas**

- Jalsuri
- La Rivera
- Liscaya
- Pizani
- Carangas
- Castilla Uma
- Cebada Mantos
- Choco Khollo
- Sabaya
- Todos Santos

Fuente: Información Meteorológica SENAMHI

10 0 10Kms  
**Escala: 1: 600000**



**REFERENCIA**  
Proyeccion Universal Transversa de Mercator  
Referencia horizontal: Datum PSAD 1956  
Las líneas negras indican la cuadrícula Universal Transversa de Mercator cada 5 Km zona 19 sur. Esferoide Internacional.

Universidad Mayor de San Andrés  
Facultad de Agronomía  
Carrera Ingeniería Agronómica  
Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios  
Prefectura del Departamento de Oruro  
Unidad Departamental de Riego y Suelos  
"Programa de Apoyo a la Descentralización en el Subsector Riego MACA PSAC"  
Tesis elaborado por : Luz Mery Lopez Rafael  
La Paz - Bolivia

## Precipitación al 75 % de probabilidad (Método Frecuencia Acumulativa).

El cuadro siguiente muestra la cantidad de lluvia mensual al 75% de ocurrencia. Sin embargo es oportuno recalcar que para su obtención, se emplearon datos de precipitación de 1990 al 2000, de la estación meteorológica de Todos Santos.

**Cuadro 22.** Precipitación al 75% de probabilidad.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
PREC.	90,34	49,39	54,76	3,89	0,00	1,77	0,00	1,05	0,86	1,77	9,23	22,83	235,897
P. 75%	45,3	13,6	20,7	0	0	0	0	0	0	0	0	9,5	89,1

Se puede observar en el cuadro anterior, que en el mes de enero, la probabilidad de recibir 45.3 mm de lluvia es del 75% y en los meses de abril a noviembre, la probabilidad de que no exista precipitación es la misma

## Determinación automática de los Coeficientes de Escurrimiento (CE).

Los valores producto de la multiplicación de números primos, se muestran en el cuadro siguiente, estos corresponden a un determinado coeficiente de escurrimiento.

**Cuadro 23.** Determinación de los Coeficientes de Escurrimiento de la Cuenca de Todos Santos.

VEGETACION	VELOCIDAD DE INFILTRACION	SLOPE									
		>50% (11)	*	50 - 20% (7)	*	20 - 5% (5)	*	5 - 1% (3)		< 1% (2)	*
Sin vegetación (23)	Bajo(19)	0,8	4807	0,75	3059	0,7	2185	0,65	1311	0,6	874
	Moderado(17)	0,7	4301	0,65	2737	0,6	1955	0,55	1173	0,5	782
	Alto(13)	0,5	3289	0,45	2093	0,4	1495	0,35	897	0,3	598
Cultivos (29)	Bajo(19)	0,7	6061	0,65	3857	0,6	2755	0,55	1653	0,5	1102
	Moderado(17)	0,5	5423	0,55	3451	0,5	2465	0,45	1479	0,4	986
	Alto(13)	0,4	4147	0,35	2639	0,3	1885	0,3	1131	0,25	754
Pasto, Vegetación abierta (31)	Bajo(19)	0,65	6479	0,6	4123	0,55	2945	0,5	1767	0,45	1178
	Moderado(17)	0,55	5797	0,5	3689	0,45	2635	0,4	1581	0,35	1054
	Alto(13)	0,35	4433	0,3	2821	0,25	2015	0,3	1209	0,15	806
Arbustos (41)	Bajo(19)	0,6	8569	0,55	5453	0,5	3895	0,45	2337	0,4	1558
	Moderado(17)	0,5	7667	0,45	4879	0,4	3485	0,35	2091	0,3	1394
	Alto(13)	0,3	5863	0,25	3731	0,2	2665	0,15	1599	0,1	1066
Bosque, vegetación densa (43)	Bajo(19)	0,55	8987	0,5	5719	0,45	4085	0,4	2451	0,35	1634
	Moderado(17)	0,45	8041	0,4	5117	0,35	3655	0,3	2193	0,25	1462
	Alto(13)	0,25	6149	0,2	3913	0,15	2795	0,1	1677	0,05	1118

\* Valores resultantes del producto de números primos.

FUENTE: Elaboración propia

El resultado de la superposición de mapas matriciales, correspondientes a las variables de pendientes, velocidad de infiltración, cobertura y uso actual de suelos, es el mapa raster de coeficiente de escurrimiento (ver **Mapa No 12**). La base de datos del mismo se detalla en el **Cuadro 24**.

**Cuadro 24.** Base de datos del mapa raster de Coeficientes de Escurrimiento.

PRODUCTO DE NÚMEROS PRIMOS.	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	COBERTURA Y USO	PENDIENTE	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	(%)
-	-	Arbustos	-	-	25,75	1,20
1066	0.10	Pasto,Vegetación abierta	< 1%	Alto	62,14	2,90
806	0.15	Arbustos	< 1%	Alto	600,92	28,09
1599	0.15	Arbustos	5-1%	Alto		
2665	0.20	Cultivos	20 - 5%	Alto	828,26	38,72
754	0.25	Pasto,Vegetación abierta	< 1%	Alto	184,05	8,60
2015	0.25	Arbustos	21 - 5%	Alto		
3731	0.25	Sin vegetacion	50 - 20%	Alto		
598	0.30	Cultivos	< 1%	Alto		
1131	0.30	Pasto,Vegetación abierta	5-1%	Alto	149,44	6,98
1209	0.30	Cultivos	5-1%	Alto		
1885	0.30	Pasto,Vegetación abierta	20 - 5%	Alto		
2821	0.30	Sin vegetacion	50 - 20%	Alto		
897	0.35	Pasto,Vegetación abierta	5-1%	Alto	81,69	3,81
1054	0.35	Arbustos	< 1%	Moderado		
2091	0.35	Cultivos	5-1%	Moderado		
2639	0.35	Sin vegetacion	50 - 20%	Alto		
1495	0.40	Arbustos	20 - 5%	Alto	115,99	5,42
1558	0.40	Pasto,Vegetación abierta	< 1%	Bajo		
1581	0.40	Pasto,Vegetación abierta	5-1%	Moderado		
1178	0.45	Sin vegetacion	< 1%	Bajo	96,11	4,49
2093	0.45	Arbustos	50 - 20%	Alto		
2337	0.45	Sin vegetacion	5-1%	Bajo		
782	0.50	Cultivos	< 1%	Moderado	16,25	0,75
1102	0.50	Pasto,Vegetación abierta	< 1%	Bajo		
1767	0.50	Arbustos	5-1%	Bajo		
3895	0.50	Arbustos	20 - 5%	Bajo		
5453	0.50	Sin vegetacion	50 - 20%	Bajo		
1173	0.55	Cultivos	5-1%	Moderado	3,77	0,17
1653	0.55	Pasto,Vegetación abierta	5-1%	Moderado		
2945	0.55	Cultivos	20 - 5%	Bajo		
2755	0.60	Arbustos	20 - 5%	Bajo	0,24	0,01
TOTAL					2.164,72	100,00

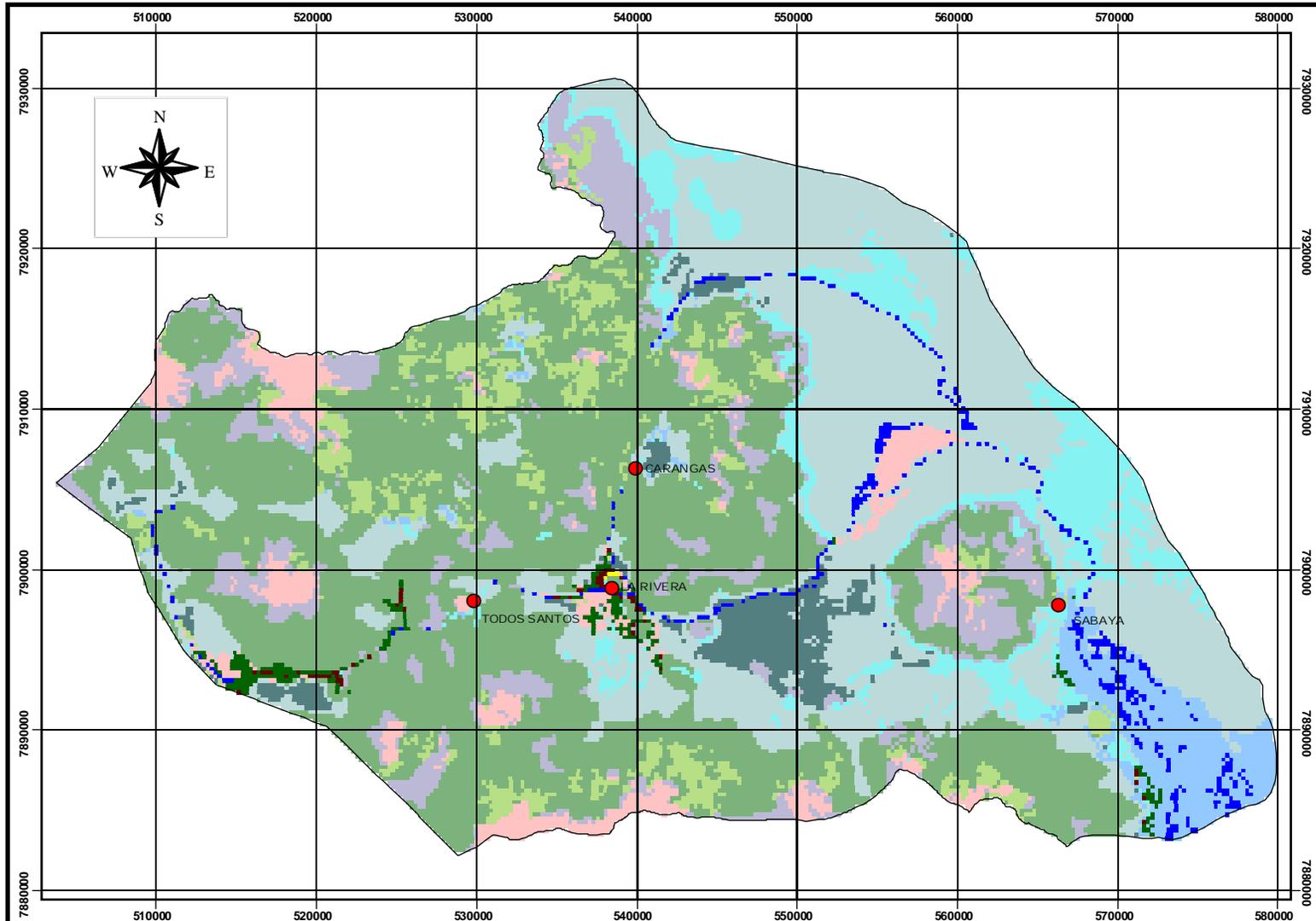
FUENTE: Elaboración propia.

El cuadro anterior muestra que el 38.72% de la superficie de la cuenca, tiene un CE, de 0.20, es decir que del 100% de precipitación pluvial solo el 20% se pierde por escorrentia superficial.

### Volúmenes mensuales de escorrentía superficial (Método Racional).

El **Cuadro 25**, detalla el volumen mensual de escorrentía superficial, en toda el área de la de la Cuenca de Todos Santos (m<sup>3</sup>/sup.total) y por cada kilómetro cuadrado (m<sup>3</sup>/mes/km<sup>2</sup>), empleado la precipitación mensual promedio y al 75% de probabilidad. También muestra el caudal mensual de escorrentía superficial, en toda el área de estudio (m<sup>3</sup>/s/ sup.total).

# MAPA N° 12. Mapa de Coeficientes de Escurrimiento.



## Mapa de Coeficientes de escurrimiento Cuenca del Río Todos Santos

### LEYENDA

#### SIGNOS CONVENCIONALES

- Capital de municipio
- Límite de la cuenca
- Cuerpos de agua

#### REFERENCIAS

##### Coeficientes de escurrimiento

- 0.10
- 0.15
- 0.20
- 0.25
- 0.30
- 0.35
- 0.40
- 0.45
- 0.50
- 0.55
- 0.60

Fuente: Elaboración propia en base a la superposición de mapas de cobertura y uso actual de suelos, pendientes y textura de suelos.

5 0 5 10 15Km.

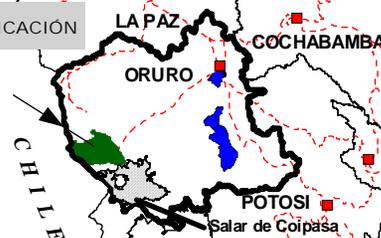
Escala: 1: 400000

### REFERENCIA

Proyeccion Universal Transversa de Mercator  
Referencia horizontal: Datum PSAD 1956  
Esferoide Internacional.  
Zona 19 sur.  
Las líneas negras indican la cuadrícula U.T.M.cada 5Km

### FIGURA DE UBICACIÓN

Cuenca del Río Todos Santos



Universidad Mayor de San Andrés

Facultad de Agronomía

Carrera Ingeniería Agronómica

Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios

Prefectura del Departamento de Oruro

Unidad Departamental de Riego y Suelos

"Programa de Apoyo a la Descentralización en el Subsector Riego MACA PSAC"

Tesis elaborado por : Luz Mery Lopez Rafael

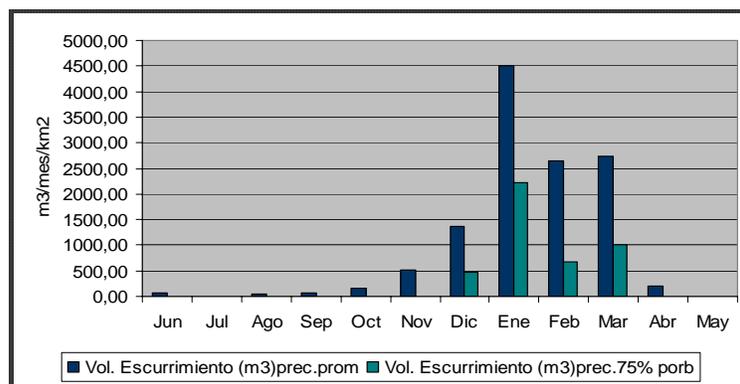
La Paz - Bolivia

**Cuadro 25.** Aportaciones mensuales Cuenca Todos Santos

MESES	VOL.ESC. PREC.PROM (m <sup>3</sup> /mes/km <sup>2</sup> )	VOL.ESC. PREC.75% PROB (m <sup>3</sup> /mes/km <sup>2</sup> )	VOL.ESC. PREC.PROM (m <sup>3</sup> /sup.total)	VOL.ESC. PREC.75% PROB. (m <sup>3</sup> /sup.total)	CAUDAL PREC.PROM (m <sup>3</sup> /s/ sup.total)	CAUDAL PREC.75% PROB (m <sup>3</sup> /s/ sup.total)
JUN	73,25	0,00	159135,70	0,00	0,06	0,00
JUL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AGO	49,76	0,00	108105,24	0,00	0,04	0,00
SEP	57,87	0,00	125735,08	0,00	0,05	0,00
OCT	159,64	0,00	346826,81	0,00	0,13	0,00
NOV	504,69	0,00	1096488,40	0,00	0,42	0,00
DIC	1367,17	463,90	2970321,27	1007860,44	1,11	0,38
ENE	4504,66	2212,05	9786839,03	4805902,92	3,65	1,79
FEB	2654,36	664,10	5766862,03	1442831,78	2,38	0,60
MAR	2730,69	1010,80	5932715,72	2196074,84	2,22	0,82
ABR	206,52	0,00	448675,77	0,00	0,17	0,00
MAY	4,63	0,00	10062,10	0,00	0,0038	0,00
MEDIA	1026,10	362,57	2229313,93	787722,50	0,85	0,30

FUENTE: Elaboración Propia en base información meteorológica de la Estación Todo Santos.

El volumen promedio de escorrentía por km<sup>2</sup>, producto de las precipitaciones medias mensuales y precipitación al 75 % de probabilidad es de 1026,10 y 362,57m<sup>3</sup>/mes/km<sup>2</sup> los máximos volúmenes de escurrimiento y caudal se dan en los meses de enero y febrero, por el contrario los más bajos se dan en los meses de mayo y julio.



**Figura 15.** Aportaciones mensuales área de la Cuenca Todos Santos.

En la figura anterior se puede apreciar con mayor claridad lo que se dijo anteriormente, además se observa la diferencia entre los volúmenes producto de las precipitaciones medias mensuales y las de precipitaciones al 75% de probabilidad.

### Disponibilidad de agua (Caudales medios mensuales totales).

El cuadro siguiente, muestra la disponibilidad mensual de agua del afluente principal (Río Todos Santos) producto del volumen de escorrentía superficial en toda la cuenca, por acción de la precipitación media mensual y al 75% de probabilidad, además del volumen base (caudales históricos del Río Todos Santos) en metros cúbicos por segundo.

**Cuadro 26.** Caudales medios totales.

MESES	CAUDAL PREC.PROM (m <sup>3</sup> /s)	CAUDAL PREC.75% PROB. (m <sup>3</sup> /s)	CAUDAL VOLUMNE BASE (m <sup>3</sup> /s)	CAUDAL TOTAL PREC.PROM (m <sup>3</sup> /s)	CAUDAL TOTAL PREC.75% PROB. (m <sup>3</sup> /s)
JUN	0,06	0,00	1,10	1,16	1,10
JUL	0,00	0,00	0,94	0,94	0,94
AGO	0,04	0,00	0,95	0,99	0,95
SEP	0,05	0,00	0,78	0,83	0,78
OCT	0,13	0,00	0,9	1,03	0,90
NOV	0,42	0,00	1,16	1,58	1,16
DIC	1,11	0,38	1,18	2,29	1,56
ENE	3,65	1,79	1,35	5,00	3,14
FEB	2,38	0,60	1,96	4,34	2,56
MAR	2,22	0,82	1,48	3,70	2,30
ABR	0,17	0,00	1,12	1,29	1,12
MAY	0,00	0,00	1,08	1,08	1,08
TOTAL/MEDIA	0,85	0,30	1,16	2,02	1,47

Los caudales medios mensuales totales del afluente principal, alcanza su valor máximo en el mes de enero con 3,65 m<sup>3</sup>/s, sin embargo este valor decrece asumiendo que la probabilidad de que en el mismo mes se tenga un caudal de 1.79 m<sup>3</sup>/s es del 75 % de ocurrencia.

### 6.3.2 Estimación de la demanda hídrica (Déficit hídrico).

En este capítulo se detallan los resultados del cálculo de la evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>), el potencial máximo de retención de agua en el suelo (S), la precipitación efectiva (Pe) y el déficit hídrico mensual, según los diferentes valores de S, localizados en la cuenca en estudio.

### Evapotranspiración Mensual (Métodos Hargreaves )

El **Cuadro 27**, detalla los valores de evapotranspiración potencial diaria y mensual, según el método de Hargreaves<sup>1</sup>.

**Cuadro 27.** Evapotranspiración (mm/día).( Método de Hargreaves)

CÁLCULO DE Eto (mm/día) - METODO HARGREAVES													Media Anual
DESCRIPCION	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	
T = Max. °C	17,5	17,5	18,3	18,7	20,7	21,5	22,3	21,1	21,5	20,9	20,5	19,5	20,0
T = Media. °C	4,0												0,3
T = Mínima °C	-11,4	-8,5	-10,7	-8,7	-7,5	-7,6	-5,4	-1,6	-1,1	-1,5	-3,9	-7,3	-6,3
a	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8
R <sub>a</sub> (mm/día)	10,2	10,6	12,2	14,0	15,8	16,9	17,3	17,2	16,5	15,1	13,1	11,2	14,2
ET <sub>o</sub> (mm/día)	2,7	2,2	2,7	3,0	3,4	3,7	3,7	3,4	3,2	2,9	2,6	2,4	3,0
ET <sub>o</sub> (mm/mes)	81	68,2	83,7	90	105,4	111	114,7	105,4	89,6	89,9	78	74,4	90,94

FUENTE: Elaboración Propia en base información meteorológica de la Estación Todo Santos.

<sup>1</sup> Ecuación Alternativa recomendada por la FAO Penman – Montith, para calcular la ET<sub>o</sub>, cuando no existan muchos datos meteorológicos.

En el cuadro anterior, se puede apreciar que los máximos valores de ETo, coinciden con los máximos valores de radiación extraterrestre (Ra). El promedio de la Eto mensual, es de 90.94 mm/mes y 3 mm por día. Los valores mas altos de ETo, se dan en los meses de noviembre, diciembre y enero, superando por mucho, los valores de precipitación media mensual y al 75 % de probabilidad.

### Precipitación Efectiva (Pe).

El cuadro siguiente, detalla la precipitación efectiva mensual promedio, los cálculos realizados para este efecto, se detallan en el **Anexo I – Tabal 2**. Se hallo que los máximos valores de infiltración (S), se concentran en los meses de enero y febrero, por el contrario los valores mas bajos se dan en los meces de mayo y julio. Además estos valores se hallaron en condiciones de suelos con velocidad de infiltración alta, pendientes de 0 a 2 5 % y con cubierta vegetal abierta (pajonales).

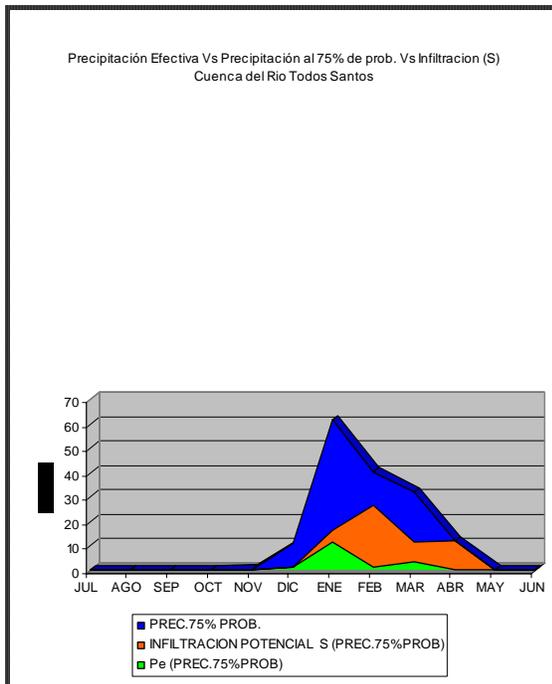
Por el contrario las zonas con menor infiltración fueran aquellas con velocidad de infiltración bajo, pendientes mayores a 20% (moderadamente inclinadas, inclinadas, moderadamente escarpadas, escarpadas) y con cubierta vegetal compuesta por arbustos (Tolares).

**Cuadro 28. Determinación de la precipitación efectiva.**

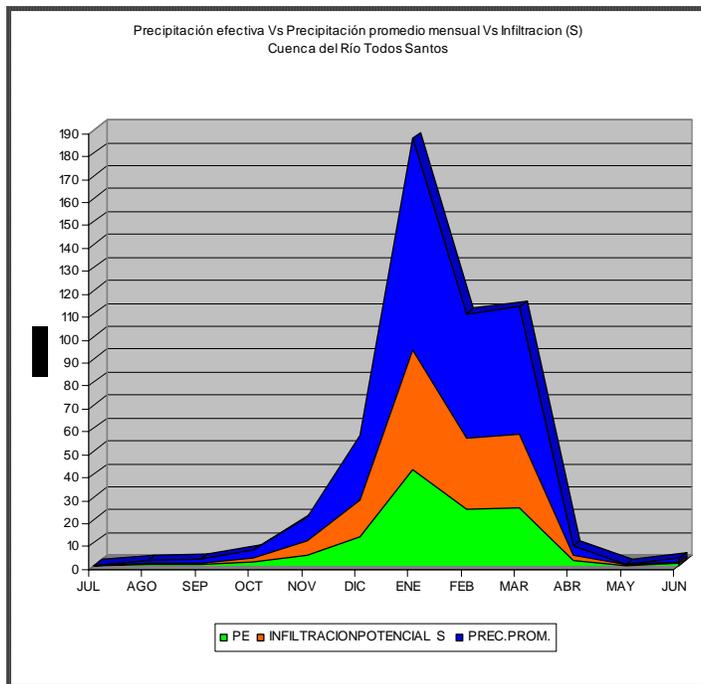
	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	MEDIA
PREC.PROM.	1,50	0,00	1,02	1,19	3,27	10,34	28,00	92,25	54,36	55,92	4,23	0,09	21,01
INFILTRACION POTENCIAL S	0,85	0,00	0,58	0,67	1,85	5,86	15,87	52,29	30,81	31,70	2,40	0,05	11,91
PE	0,68	0,00	0,46	0,53	1,47	4,66	12,63	41,61	24,52	25,22	1,91	0,04	9,48
PREC.75% PROB.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,50	45,30	13,60	20,70	0,00	0,00	7,43
INFILTRACION POTENCIAL S (PREC.75%PROB)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,38	25,68	7,71	11,73	0,00	0,00	4,21
Pe (PREC.75%PROB)	0,04	0,00	0,03	0,03	0,09	0,29	1,42	11,22	1,12	3,54	0,12	0,00	1,49

FUENTE: Elaboración Propia.

El promedio de la precipitación efectiva producto de la precipitación promedio mensual y al 75 % de probabilidad es de 11.91 y 52.29 mm/mes respectivamente.



**Figura 16.** Precipitación efectiva, producto de La precipitación al 75% de prob.



**Figura 17.** Precipitación efectiva, producto de la Prec. Prom. Mensual.

Las **Figuras 16 y 17**, muestran la diferencia que existe entre la precipitación efectiva (**Pe**), calculada con datos de precipitación al 75 % de probabilidad de ocurrencia, frente a la calculada con datos de precipitación media mensual. En ambos casos el valor máximo de **Pe** se da en los meses de enero, febrero y marzo.

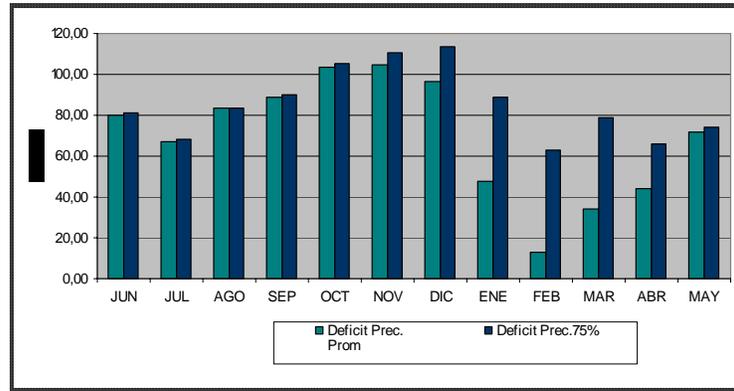
### Déficit de Humedad.

El **Cuadro 29**, detalla el déficit hídrico promedio mensual de la cuenca en estudio, los cálculos realizados para el efecto se detallan en el **Anexo I – Tabal 2**.

**Cuadro 29.** Déficit hídrico promedio por mes de la Cuenca del Río Todos Santos.

	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	PROMEDIO
DEFICIT PREC. PROM(mm/mes)	80,27	67,35	83,24	88,89	103,25	104,49	96,21	47,92	12,79	33,86	44,39	71,96	69,55
DEFICIT. PREC.75% PROB.(mm/mes)	80,96	68,20	83,67	89,97	105,31	110,71	113,28	88,80	62,80	78,65	66,15	74,40	85,24

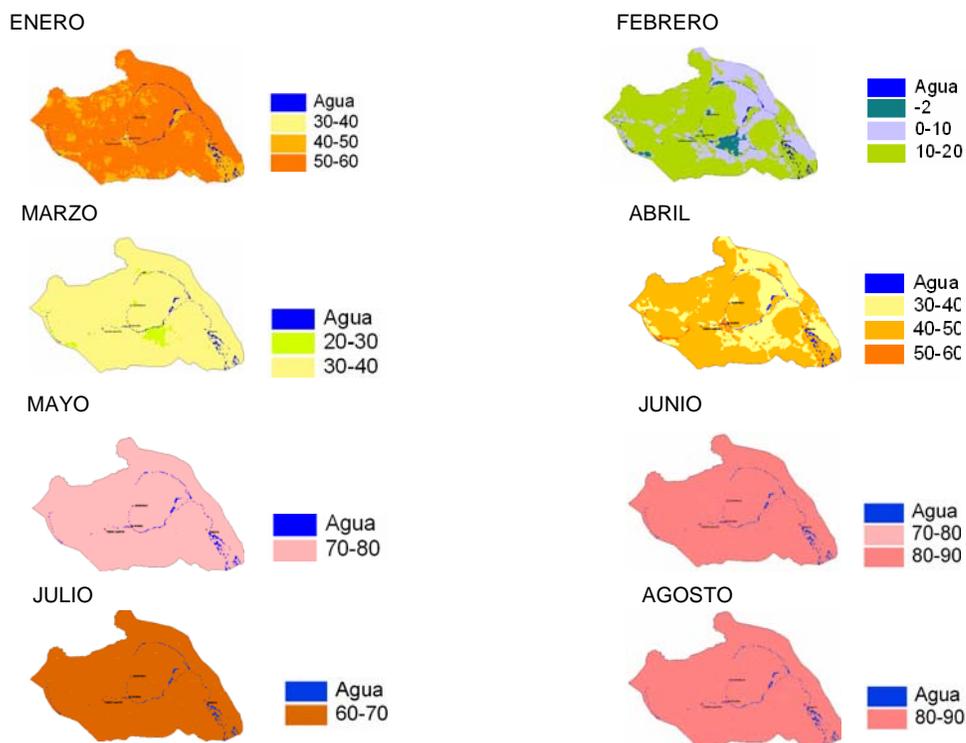
En los meses de enero a abril habrá menos déficit, coincidente con los valores más altos de precipitación, infiltración y evapotranspiración potencial, sin embargo en los meses de mayo a diciembre habrá mas déficit también coincidiendo con los valores de precipitación, infiltración y evapotranspiración potencial. El promedio del déficit hídrico tomando en cuenta la precipitación promedio mensual y al 75% de probabilidad de ocurrencia es de 69.55 y 85.24 mm/mes respectivamente

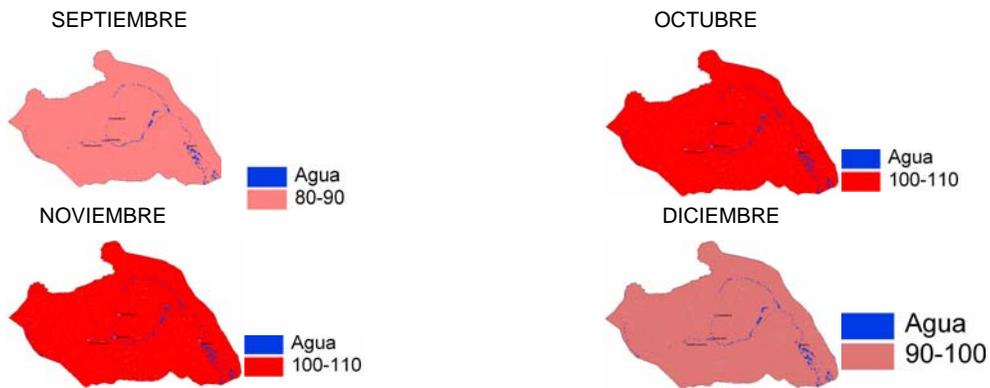


**Figura 18.** Déficit de Humedad Cuenca del Río Todos Santos

En la figura anterior, se observa que los valores máximos de déficit hídrico, se dan en los meses de octubre, noviembre y diciembre, por el contrario se registra el menor déficit hídrico en el mes de febrero.

Se encontró el déficit de humedad en la Cuenca de Todos Santos, según la infiltración potencial de los suelos (S), la precipitación efectiva (Pe) y la Evapotranspiración potencial (Eto), es así que en la cuenca existen zonas con mayor déficit que otras, como se puede evidenciar en la figura siguiente.

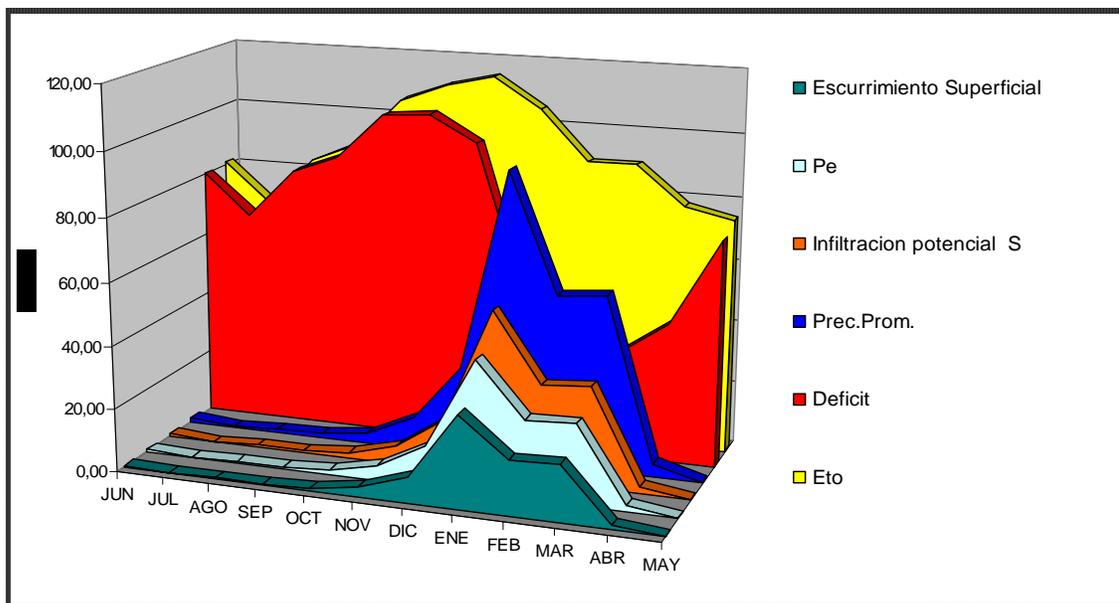




**Figura 19.** Déficit hídrico mensual Cuenca del Río Todos Santos.

Se pudo diferenciar, zonas con menor déficit que otras en la cuenca, en los meses con presencia de precipitación pluvial significativa, esto por las diferencias de cobertura vegetal, capacidad de infiltración de los suelos y grado de pendiente. Es así que en el mes con menor déficit (febrero) las zonas llanas, con mayor velocidad de infiltración y vegetación abierta de gramíneas y tolas, tienen menor déficit hídrico que otras. Sin embargo el déficit hídrico en los meses de mayo a diciembre, es general en toda la cuenca, a razón de que la precipitación mensual, es marcadamente inferior a la evapotranspiración potencial.

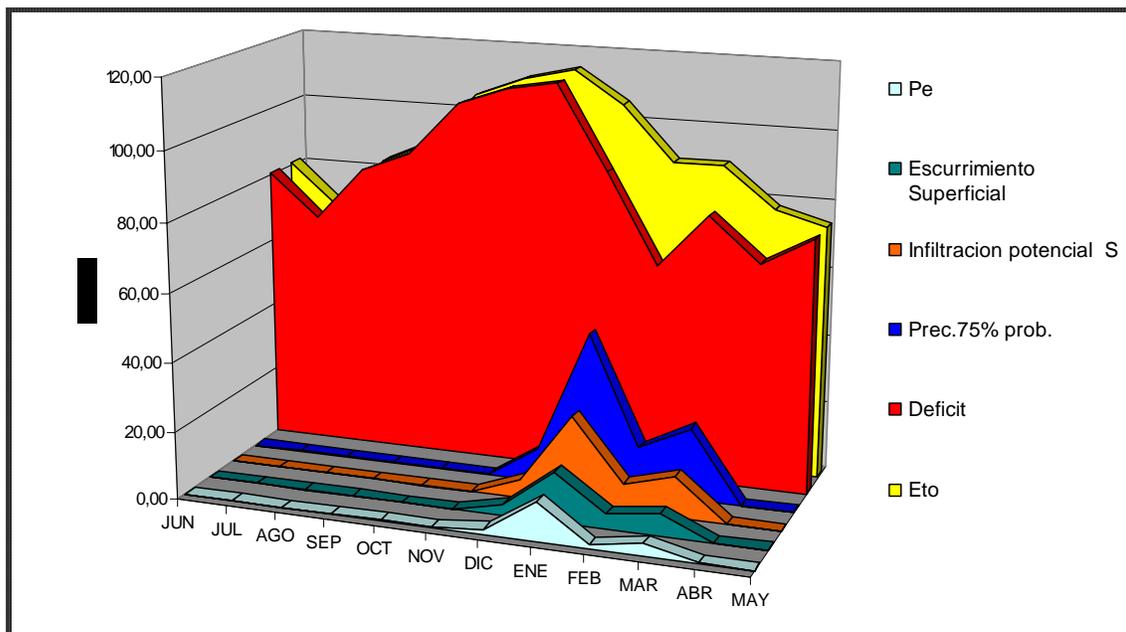
La figura siguiente, detalla el balance hídrico de la Cuenca de Todos Santos, se halló que el déficit hídrico en la cuenca, se da en todos los meses, esto a razón de que la evapotranspiración potencial es superior a la precipitación promedio mensual.



**Figura 20.** Balance hídrico de la Cuenca del Río Todos Santos, empleando datos de precipitación promedio mensual.

En los meses con mayor precipitación promedio mensual, se tiene mayor escorrentía superficial, mayor infiltración potencial, mayor precipitación efectiva y por ende menor déficit. Por el contrario en los meses con menor precipitación promedio mensual se tiene menor escorrentía superficial, menor infiltración potencial, menor precipitación efectiva lo que genera mayor déficit.

La figura siguiente, detalla el balance hídrico con los datos de precipitación al 75% de probabilidad, se puede apreciar que el déficit es mayor, esto a razón de la cantidad de precipitación, que en este caso es mucho menor a la de la anterior figura, sin embargo es menester mencionar que para proyectos de embalse se emplean este tipo de datos y no los anteriores, esto por el porcentaje de probabilidad de ocurrencia de precipitación.



**Figura 21.** Balance hídrico de la Cuenca del Río Todos Santos, empleando datos de precipitación al 75% de probabilidad de ocurrencia.

Se aprecia en la figura anterior que el déficit hídrico será mayor en la cuenca, si se espera valores de precipitación con una probabilidad del 75 % de ocurrencia. En menor déficit hídrico se da en los meses enero y marzo, los máximos valores de déficit hídrico se dan en los meses de septiembre octubre y noviembre, esto a razón de los máximos valores de evapotranspiración potencial.

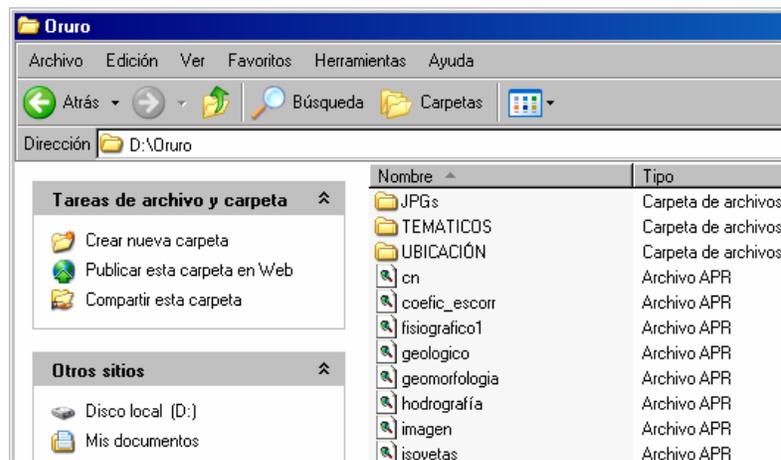
### 6.3.3 Implementación de un Sistema de Información Geográfica (SIG).

El resultado de la secuencia de pasos, para la implementación de un SIG al “*Proyecto de identificación y validación de proyectos de riego con enfoque de cuenca*”, se detalla en las **Figuras 24 y 25**, estas muestran la información empleada, el proceso aplicado y la información obtenida. En cuanto a la elaboración de la base de datos, como ejemplo la figura siguiente detalla la base de datos del mapa matricial de pendientes, para la obtención del mapa de coeficientes de escurrimiento.

Shape	Id	Cod_p	Reclas	Area	Perimeter	Hectares
Polygon	1	2	menor a 1%	0.262	2.783	26.226
Polygon	2	2	menor a 1%	1.290	7.139	129.011
Polygon	3	2	menor a 1%	1.222	5.644	122.237
Polygon	4	2	menor a 1%	0.820	5.213	81.975
Polygon	5	2	menor a 1%	0.300	2.213	29.957
Polygon	6	2	menor a 1%	5.125	12.419	512.576

**Figura 22.** Base de datos del mapa matricial de pendientes.

La figura anterior detalla los siguientes campos: identificador (Id), codificador (Cod\_p), atributo (Reclas) y la superficie en Km<sup>2</sup> (Área, Hectares). Para almacenar la información de cada uno de los mapas temáticos elaborados, se crearon Proyectos en formato ASCII y extensión APR (ver **Figura 23**), estos almacenan: Vistas, tablas, gráficos, layouts (o salidas impresas) y scripts. Los mismos pueden ser actualizados en cualquier momento.



**Figura 23.** Proyectos Arc view, con extensión APR.

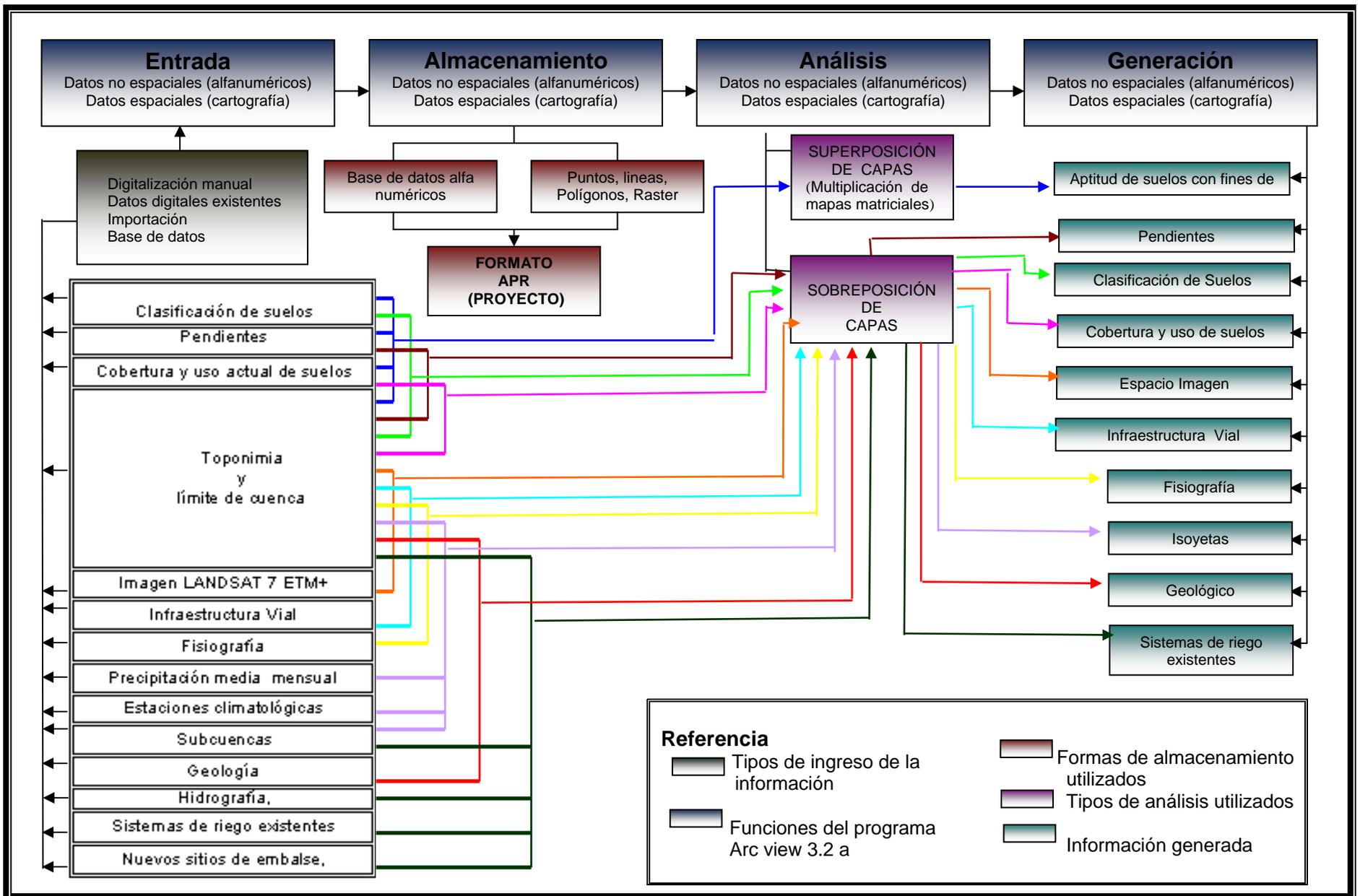


Figura 24. Secuencia de pasos y procesos para la Implementación del Sistema de Información Geográfica, empleando el programa Arc view 3.2a.

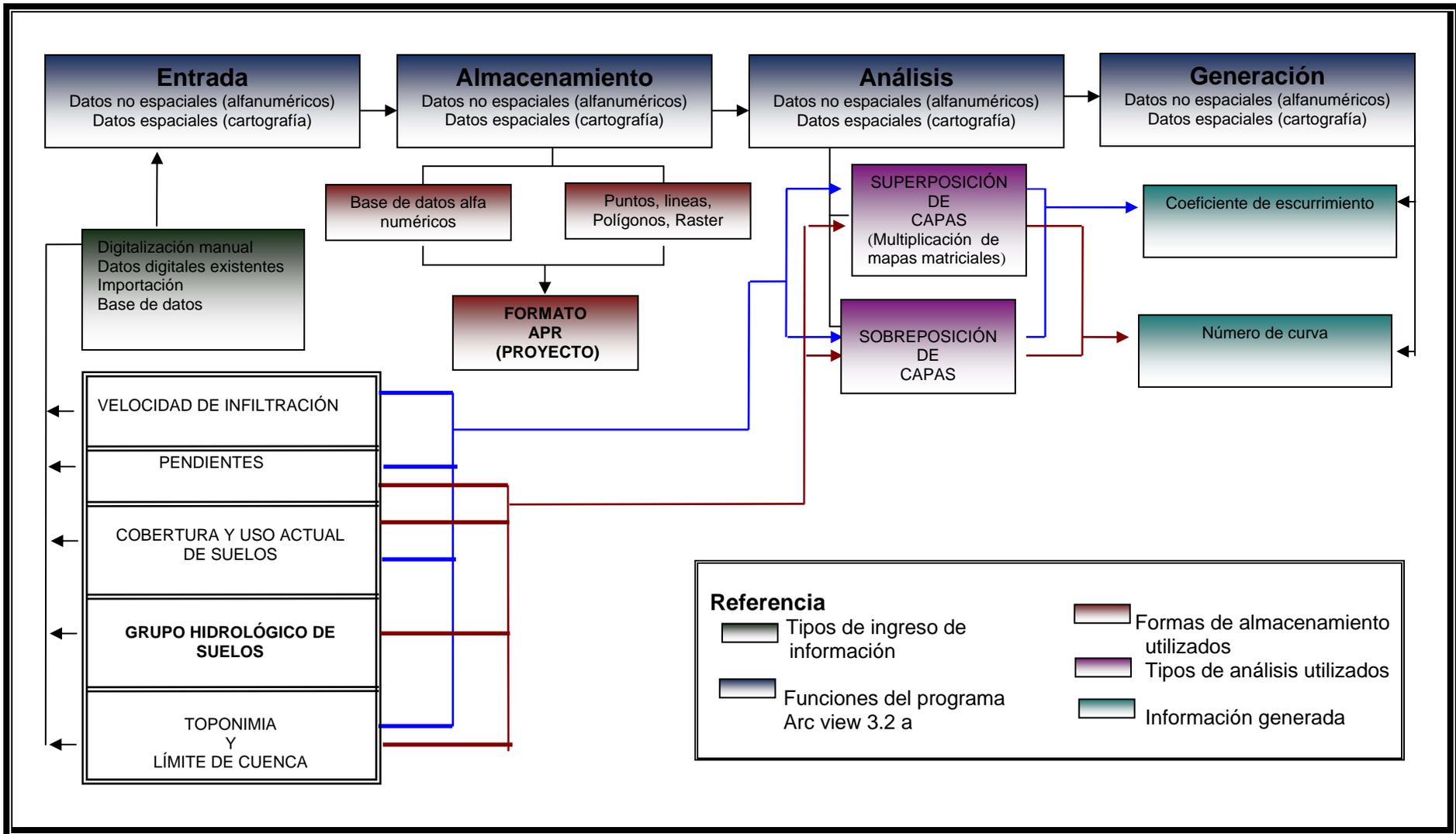


Figura 25. Secuencia de pasos y procesos para la Implementación del Sistema de Información Geográfica, empleando el programa Arc view 3.2a.

Las **Figuras 24 y 25**, detallan paso a paso, el proceso de elaboración de los mapas temáticos, a través de la implementación al “*Proyecto de identificación y validación de proyectos de riego con enfoque de cuenca*”, de un sistema de información geográfico, con base en el programa especializado Arc View 3.2a. Es así que se puede observar que tipo de información se introdujo al sistema, el tipo de almacenamiento de información, el proceso de análisis (superposición y sobreposición), las capas de información empleadas y los resultados obtenidos.

## **7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **7.1 Conclusiones.**

La percepción remota, los sistemas de información geográficos y los sistemas de posicionamiento global, son tecnologías actuales imprescindibles en la generación de datos e información, para la caracterización del componente biofísico de una cuenca.

#### **Sobre las características biofísicas de la cuenca del Río Todos Santos**

La Cuenca del Río Todos Santos, presenta 10 unidades fisiográficas, la clase que predomina son los Conos volcánicos con 10.97.72 Km<sup>2</sup>, que es el 50.43% de la superficie total de la cuenca,

Los Nevados Carabaya, Curumaya y Lliscaya, son los cerros con mayor altitud, con 5854, 5484 y 5834 m.s.n.m respectivamente. El Río Llisca Jauira, nace del Nevado Lliscaya, los nevados Curumaya y Carabaya drenan sus aguas al Río Todos Santos.

El grado de pendiente con mayor extensión superficial es el de 0 a 2%, denominada llana a casi llana con el 807.538 Km<sup>2</sup>, que equivale al 37.17% del total de la cuenca.

El 52 % de los suelos de la cuenca, son de Clase II, III y IV, es decir son moderadamente poco y muy poco aptas para riego, el restante 47% son de clase V y VI, estos suelos no son aptos para riego, por presentar problemas que no son posibles de corregir, como ser el grado de pendiente, problemas de inundación permanente y salinidad

Existen 14 clases de cobertura de la tierra, de estas el 46, 19 % de la superficie de la cuenca se encuentra cubierta por arbustos siempre verdes xeromorficos, micrófilos y gramíneas (Tolares). El 81.21% de la superficie de la cuenca, incluyendo la anterior mente descrita, es usada por el sector agropecuario, como áreas de pastoreo.

Las unidades geológicas encontradas en la cuenca, son de tipo terciario y cuaternario, las primeras son el resultado del enfriamiento y consolidación de magma (rocas ígneas), las segundas son sedimentos de material no consolidado o suelto.

Se han identificado 10 subcuencas, la subcuenca Jalsuri, Pisani, Carangas, Castilla Uma, Cebada Matos, Jalsuri, Choco Khollo, Sabaya y Todos Santos.

### **Sobre las características, de la situación del riego, en la Cuenca de Todos Santos**

Existen 23 sistemas de riego, 16 proceden de vertientes, 3 de pozos y solo 4 de ríos, el área bruta cultivable es de 797ha. Los cultivos que predominan son los de ajo, haba, cebolla, cebada, papa y quinua. La tecnología de producción agrícola es tradicional. El consumo hídrico en riego es de 250l/s en promedio de los ríos de la cuenca y de 0.2 a 40 l/s en pozos.

Las aguas del Río Todos Santos, son consideradas como moderadamente básicas, con un índice riesgo de salinidad medio. Las aguas de las vertientes y pozos son consideradas como medianamente ácidas.

Se han identificado, entre las demandas de la población, el proyecto de micro riego Pisani, los proyectos de embalse Cebada Matos, Carangas y Churicollo.

La zona tiene un muy alto riesgo a heladas y sequías, la salinización en la Cuenca de Todos Santos, afecta al 10.83% de su territorio y el 17.48% presenta grandes superficies de afloramientos salinos. La inundación temporal afecta al 8.86% de la superficie total de la cuenca, mientras que el 2.09% muestra inundación permanente. Existe presencia de cárcavas inactivas, ligeramente y moderadamente activas, erosión laminar y en surcos con grados de moderada, ligera y severa. La erosión eólica en la cuenca origina que grandes extensiones de tierras cultivables sean enterradas por arena, lo que dificulta posteriormente la conducción del agua.

### **Sobre el balance hídrico de la Cuenca del Río Todos Santos.**

El promedio del volumen de escorrentía superficial, producto de las precipitaciones medias mensuales y al 75% de probabilidad es de 1026,10 y 362,57 m<sup>3</sup>/mes/km<sup>2</sup> respectivamente. Presentándose el máximo volumen en el mes de enero y el mas bajo en el mes de julio.

El promedio de los caudales medios mensuales totales del afluente principal, producto de las precipitaciones medias mensuales y al 75% de probabilidad es de 2.02 y 1.47 m<sup>3</sup>/s respectivamente, alcanza su valor máximo en el mes de enero con 5 y 3.14 m<sup>3</sup>/s.

El promedio del déficit hídrico de la cuenca, producto de las precipitaciones medias mensuales y al 75% de probabilidad es de 69.55 y 95.24 mm/mes respectivamente, alcanzando el máximo valor en el mes de noviembre, coincidiendo con el máximo valor de evapotranspiración.

### **Sobre la implementación de un sistema de información geográfica al “*Proyecto de Identificación y Validación de Proyectos de Riego con Enfoque Cuenca*”**

Se implementó un sistema de información biofísico, con base en un programa especializado (Arc view 3.2a), que coadyuvará a la identificación y validación de proyectos de riego y planificación de acciones con enfoque cuenca.

Se elaboró once mapas temáticos estos son: mapa de la red vial, fisiográfico, espacio imagen, pendientes, suelos, aptitud de suelos con fines de riego, cobertura y uso actual de tierras, geológico, hidrográfico, nuevos sitios de embalse, isoyetas y coeficientes de escurrimiento.

La metodología propuesta por Zhel (1999), para la determinación automática de coeficientes de escurrimiento empleando los SIG, fue desarrollada sin ningún tipo de obstáculos por el programa Arc View 3.2 a.

## 7.2 Recomendaciones.

- Aplicar los datos obtenidos en el presente estudio, para identificar, validar proyectos de riego y planificar de mejor manera el uso, manejo y conservación de los recursos naturales.
- Aplicar esta metodología, a nivel de detalle mayor, con el objetivo de obtener información a nivel de subcuencas.
- Trabajar con imágenes de satélite más actualizadas y de otro tipo de sensor que puedan aportar más información al trabajo de interpretación visual.
- Hacer conocer este tipo de estudios a los planificadores tanto públicos como privados, para que tengan un mejor criterio para dar soluciones técnicas y efectivas.
- En zonas de cultivo se recomienda efectuar un estudio de fertilidad, variable importante en la planificación agrícola.
- Crear un programa de manejo y conservación de suelos.
- Capacitación en manejo del agua en parcela o riego parcelario.
- Realizar estudios de conservación y rehabilitación de bofedales.
- Elaborar programas y políticas de lucha contra la desertificación.
- Concientizar a la población sobre el uso de los recursos naturales, con el fin de aminorar la creciente deforestación de tolares.

## 8 LITERATURA CITADA

- AEROTERRA 2004, Pagina en línea, consultado el 20 de diciembre del 2004, disponible en: [http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook\\_toc.html](http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_toc.html) .
- Aguilo, A. Aramburu, M. Ayuso, C. Blanco, A. Calatayud, P. Ceñal, G. Cifuentes, P. Escribano, R. Francés, A. Glaria, G. González, A. Lacota, M. Muñoz, C. Ortega A. Otero, I. Soliz, M. 1991. Guía para la elaboración de estudios del medio físico: Contenido y Metodología. Edita: Secretaria General Técnica, Centro de Publicaciones, Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Imprime: Closas Oreoyo, S. L. Poligono Igarza Paracuellos de Jarama. Madrid, España. 56, 535.p. 3ed.
- Agreda, C. 2002. Memoria explicativa del Mapa de Cobertura y Uso Actual de Tierra. Superintendencia Agraria . 10p.
- Bosque, J. García, R. 2001. Métodos de Interpolación para la Elaboración de un Modelo Digital de Elevaciones. Editorial: Estudios geográficos, LXII, nº 245, pp. 605-620.
- Barragán. C.,Arias. B, (2000). Analisis de la Vulnerabilidad a la Inseguridad Alimentaria en Bolivia. ProyectoSINSAAT, Fao, UPAE. La Paz –Bolivia. Pp. 10-16,
- Castillo, E. (2001).Sistema de Información de Recursos de Tierras para la Planificación (SIRTPLAN). Proyecto FAO " Información Sobre Tierras y Aguas para un Desarrollo Agrícola Sostenible. Santiago, Chile, Mayo 2001  
[www.rlc.fao.org/proyecto/gcp/rla/126/jpn/](http://www.rlc.fao.org/proyecto/gcp/rla/126/jpn/)
- Chilón, E. 1996. Manual de Edafología, Ediciones CIDAT, La Paz – Bolivia. 280-284p.
- Chuvieco, E. 1996. Fundamentos de Teledetección Espacial, Madrid, España. 196 p. 3ed.
- Dardon, J Y C. Morales. 2002. La cuenca hidrográfica y su importancia para la gestión regional del desarrollo sustentable del altiplano occidental de Guatemala. Centro Pluricultural para la democracia (C.P.D.). Quetzaltenango, Guatemala. 3-6 p.
- Fallas, J. 2004. Modelos Digitales de Elevación para dos Microcuencas de la Quebrada Blanca, Río San Gerardo, Cantón Tilarán Guancaste, Costa Rica. Universidad Nacional. Laboratorio Regional en Manejo de Vida Silvestre y Escuela de Ciencias Ambientales. Costa Rica.1p.
- Faustino, J. 2004. Gestión de Cuencas Hidrográficas, Curso Internacional Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas en el Siglo XXI. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 4 p.
- Felicísimo, M. (s.f.). La utilización de los MDT, en los estudios del medio físico (en línea). Consultado 10 dic. 2005. Disponible: <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/>.

- Ferrer, M. Rodriguez, J. Estrela, T. 1995. Generación Automática de Número de Curva con Sistemas de Información Geográfica. Universidad Politecnica de Valencia. Centro de estudios Hidrograficos , CEDEX,MOPTMA. Valencia – España. Pag 43-58
- Flores, L. 2000. Determinación de Caudales Específicos por Subcuencas en la Cuenca Molino Mayu. Tesis de Maestría Profesional en “Levantamiento de Recursos Hídricos” (Manejo y Conservación de Cuencas). Universidad Mayor de San Simon. Centro de Levantamientos Aeroespaciales y aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales CLAS. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). International Institute for infraestructural,Hidraulic and Environmental Engineering (IHE).6p
- MACA – PRONAR (Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios – Programa Nacional de Riego ). 2004. Memoria del “Plan Departamental de Riego – Oruro”. Prefectura del Departamento de Oruro Viceministerio de Desarrollo Rural Dirección General de Riego y Suelos. Programa de Apoyo a la Descentralización en el Subsector Riego. Unidad Departamental de Riego y Suelos 1-10p.
- MACA – PSAC (Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios –. Programa de Apoyo a la Descentralización en el Subsector Riego). 2004. Guía para la Evaluación Ex ante de Proyectos de Riego y Microriego. 1-2p.
- Mehl, H Y Mies E. 1997. Aplicación de la teledetección y de los sistemas de información geográfica en la gestión de recursos naturales. Deutsches Zentrum Für Luft – und Raumfahrt e.V. (DLR) Centro Aeroespacial Alemán, Zentralstelle für Ernährung und Landwirtschaft (ZEL) Centro de Fomento de la Alimentación y la Agricultura. Alemania. 92, 98, 100, 388 p.
- Michel, T. 2003. Propuesta Metodológica para la Actualización del Mapa Forestal de Bolivia. Inventario Forestal Nacional y Programa de Control de los Recursos Forestales de Bolivia (INFOBOL). La Paz - Bolivia. 1,4,15,20p.
- Molina, J. Díaz, E. Condori, E. (2004). Balance Hídrico Microregional de Bolivia, Primeros Resultados. Congreso de Ingeniería Civil. Instituto de Hidráulica e Hidrología, Universidad Mayor de San Andrés. Área temática: Hidráulica e Hidrología. 1-12p.
- Montaño, H. Montaño, C. Gomez, R. Diaz, H. Gandarillas C. 2002. Calculo del área bajo riego optimo (ABRO). Componente de Asistencia Técnica del Programa Nacional de Riego. Edición Documentación CAT-PRONAR. Cochabamba - Bolivia. 1p.
- Mostajo., J. 2003. Definición y Clasificación de la Cartografía y su Relación con la Topografía. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz – Bolivia.

- PROMIC. (Programa Manejo Integral de Cuencas).2001. Diagnostico Biofísico para la Definición de Zonas de Intervención en la Cuenca Guardaña. Vision Mundial. Programa de Desarrollo del Area – Wiñaypaj. Prefectura - COSUDE- CTB. Oruro- Bolivia. 26-28p.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2003. Informe de Desarrollo Humano de los Departamentos de La Paz y Oruro. Consultado 5 de Noviembre. 2007. Disponible: <http://www.pnud.com>.
- Ricaldez J. (s.f) Uso Recomendable del Suelo. Aspectos Metodológicos. Proyecto Manejo de Cuencas Chimore-Ichilo-Yapacani. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación. Banco Interamericano de Desarrollo. MDSP-BID ATR / 929 / SF-BO. 3-25 p.
- Saavedra, A. 2000. Elaboración de una Base de Datos de Suelos, con Fines de Evaluación de Aptitud Agrícola, Aptitud para Riego y Riesgo de Erosión. Tesis de maestría profesional en nformación de Suelos para el Manejo de los Recursos Naturales. Universidad Mayor de San Simon. Centro de Levantamientos Aeroespaciales y aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales CLAS. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). International Institute for infraestructural,Hidraulic and Environmental Engineering (IHE). Pag. 1-27.
- Sabella, R. 2000. Guia general para la Utilización del Sitema de Posicionamiento Global por Satelite (GPS) y su Aplicación en Trabajos de Mapeo. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR), Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Santa Cruz –Bolivia.
- Sanabria, J. 2002. Manual. Fundamentos de Teledetección. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación. Proyecto BIDATR 929/SF-BO de Fortalecimiento Institucional al MDSP. Pag 14
- Sanchez, j. (2004). Apicacion del Metodo Racional. Departamento de Geologia. Universidad Salamanca. 1-6p. Consultado el 4 de Enero del 2005. Disponible: <http://web.usal.es/javisan/hidro/>
- Silva, J. 2004. Cartografia. Ministerio de Agricultura. Instituto de Recursos Naturales. Lima-Peru. P41.55
- Soria R.; Ortiz S; Islas G. Y Volkhe H. 1998. Sensores Remotos, Principios y Aplicaciones en la Evaluación de los Recursos Naturales, Experiencias en México Primera Edición. Publicación Especial 7. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (S.M.C.S). Chapingo, México. 22-93,48p.
- Valdez, V. 2003. Pasos en el Siglo XXI para mantener las Cuencas Hidrográficas (en línea). Panamá. Consultado 5 jun. 2006. Disponible: <http://www.monografias.com>.

- Vázquez, A. Torrez, C. Terán, R. Alfaro, J. Vílchez, G. Alcántara, J. Sevilla, J. Huanco, V. Moncada, E. Bsalón, V. 2000. Manejo de Cuencas Altoandinas. Universidad Nacional Agraria La Molina. Tomo I. Perú
- Villalpando, J. 1988. Notas de Curso Taller. Evaluacion de Cuerso Climaticos para la Agricultura en Bolivia. Apoyo Agrometeorologico a la Producción Agrícola. Proyecto Bol/86/029 /OMM/PNUD. Coroico, Yungas - La Paz - Bolivia. Pag 59 – 80
- Volante, J. Bianchi, A. 2003. Índice de Vegetación Normalizado Diferencial (NDVI) de las Yungas y del Chaco Semiárido en el Noroeste Argentino. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria (EEA). Salta – Argentina. Esta en línea en institutonacionalagropecuario
- Zehl, T. 1999. Manejo de Cuencas. Centro de Levantamientos Aeroespaciales y Aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales (CLAS). Universidad Mayor de San Simón Cochabamba – Bolivia.

# **A N E X O S**

## **A N E X O I: TABLAS**

---

**Tabla 1.-**Red meteorológica en la cuenca y alrededores.

**Tabla 2.-**Precitaciones media mensual Cuenca del Río Todo Santos.

**Tabla 3.-**Evaporación. (mm/día) – Estación de Todo Santos (mm/mes)

**Tabla 4.-**Temperaturas Medias, Mínimas y Máximas.

**Tabla 5.-**Ubicación de estaciones de aforo.

**Tabla 6.-**Registro de caudales mensuales (aforados método flotador) m<sup>3</sup>/s Rió Todo Santos

**Tabla 7.-**Caudales puntuales Cuenca Todos Santos.

**Tabla 8.-**Interpolación de Radiación Extraterrestre Ra Expresada en Equivalente de Evaporación mm/día

**Tabla 9.-**Determinación de la precipitación media mensual (Método de Polígonos de Thiessen).

**Tabla 10.-**Balance hídrico de la Cuenca del Río Todos Santos

**Tabla 1.- Red meteorológica en la cuenca y alrededores.**

No.	ESTACIÓN	PRECIPITACIÓN	PARÁMETROS Y PERIODO DE OBSERVACIÓN					ESTADO ACTUAL DE LA ESTACIÓN
			Temperaturas	Vientos	Humedad R.	Evaporación	Días con helada	
1	Todo Santos	1985 - 2001	1985 - 2001	1985 - 2001	1985 - 2001	1985 - 2001		En Funcionamiento
2	Huachacalla	1973 - 2001	1976 - 2001	1985 - 2001	1985 - 2001	1985 - 2001	1975 - 1980	En Funcionamiento
3	Sacabaya	1990 - 2001	1990 - 2001	1990 - 2001	1990 - 2001	1990 - 2001		En Funcionamiento
4	Coipasa	1981 - 1983						No funciona desde 1995

(A) Actualmente existe Est. Automática del SINSAT a partir del 2000  
 (B) Se implemento una Est. Automática en 2001 (UMSA - Inst. Hidrológica)  
 (C) En Tacagua había hasta 1986  
 (D) Automática de IRSA

FUENTE: SENAMHI Y SINSATT (año2004)

**Tabla 2.- Precitaciones media mensual Cuenca del Río Todo Santos**

No	ESTACIÓN	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	TOTAL
1	Todo Santos	1.77	0.00	1.05	0.86	1.77	9.23	22.83	90.34	49.39	54.76	3.89	0.00	236
2	Huachacalla	0.00	0.00	0.90	3.60	13.90	22.90	72.90	132.6	98.00	75.30	8.70	1.00	423
3	Sacabaya	1.90	0.00	0.00	0.90	5.60	10.80	27.00	60.20	42.30	37.20	4.10	0.10	193
4	Coipasa	0.00	0.00	1.00	2.00	7.00	6.00	30.00	63.00	58.00	46.00	2.00	0.00	214

FUENTE: SENAMHI Y SINSATT(año)

**Tabla 3.- Evaporación. (mm/día) – Estación de Todo Santos**

ESTACIÓN	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
Todo Santos	6.4	6.3	6.4	6.5	7.2	7.0	6.6	5.0	5.7	5.7	5.8	6.5

FUENTE: SENAMHI Y SINSATT

**Tabla 4.- Temperaturas Medias, Mínimas y Máximas.**

Temperaturas Medias Cuenca Todo Santos														
No.	ESTACIÓN	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	MEDIA
1	Todo Santos	4.4	4.0	5.1	6.3	7.6	7.9	10.1	9.8	9.8	9.6	8.8	7.0	7.54
2	Huachacalla	3.7	2.1	3.7	5.4	10.9	10.4	10.0	11.3	10.7	10.0	8.7	6.0	7.75
3	Coipasa (*)	3.5	3.2	4.4	6.7	9.2	10.0	10.9	10.6	10.7	10.1	9.0	6.1	7.90
4	Sacabaya (*)	4.1	3.0	4.0	6.2	9.0	9.6	10.2	10.0	9.5	9.4	8.2	6.0	7.40

Temperatura Mínima Cuenca Todo Santos														
No.	ESTACIÓN	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	MEDIA
1	Todo Santos	-11.4	-8.5	-10.7	-8.7	-7.5	-7.6	-5.4	-1.6	-1.1	-1.5	-3.9	-3.9	-6.3

Temperatura Máxima Cuenca Todo Santos														
No.	ESTACIÓN	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	MEDIA
1	Todo Santos	17.5	17.5	18.3	18.7	20.7	21.5	22.3	21.1	21.5	20.9	20.5	19.5	20.0

FUENTE: SENAMHI Y SINSATT

**Tabla 5.- Ubicación de estaciones de aforo**

.N°	ESTACIÓN	RIO DE AFORO	MÉTODO DE AFORO Y PERIODO DE OBSERVACIÓN			ESTADO ACTUAL DE LA ESTACIÓN
			AFORO CON MOLINETE	AFORO CON FLOTADOR	LIMNÍMETRO	
3	Todo Santos	Todo Santos		1967-1970/1977-1981		Sin funcionamiento

**Tabla 6.- Registro de caudales mensuales (aforados método flotador) m<sup>3</sup>/s Rió Todo Santos**

	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	PROMEDIO
Promedio	1,1	0,94	0,95	0,78	0,9	1,16	1,18	1,35	1,96	1,48	1,12	1,08	1,17

FUENTE: Estudios Básicos (2001).

**Tabla 7.- Caudales puntuales Cuenca Todos Santos.**

SECTOR	CAUDAL AFORADO (l/s)	OBSERVACIONES
Río Jalsuri	80	Afluente
Río Todos Santos (Población Todos Santos)	706	
Río Pizani	22	Afluente
Río Carangas	7	Afluente
Río Todos Santos (Churicollo)	459	

FUENTE: Elaboración Propia en base a mediciones de campo UDRS / MACA PSAC (2004)

**Tabla 8. Interpolación de radiación extraterrestre Ra, expresada en equivalente de evaporación mm/día.**

GRADOS	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
20,0	10,0	10,4	12,0	13,9	15,8	17,0	17,4	17,3	16,5	15,0	13,0	11,0
<b>19,0</b>	<b>10,2</b>	<b>10,6</b>	<b>12,2</b>	<b>14,0</b>	<b>15,8</b>	<b>16,9</b>	<b>17,3</b>	<b>17,2</b>	<b>16,5</b>	<b>15,1</b>	<b>13,1</b>	<b>11,2</b>
18,0	10,4	10,8	12,3	14,1	15,8	16,8	17,1	17,1	16,5	15,1	13,2	11,4

FUENTE: Elaboración Propia en base información de la FAO – Ra Hemisferio Sur.

**Tabla 9. Determinación de la precipitación media mensual (Método de Polígonos de Thiessen)**

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL METODO POLIGONOS DE TIESSSEN													
SUB_CUENCA	ESTACIÓN	ÁREA PARCIAL (Si)	ÁREA TOTAL (St)	Si/St	PRECIPITACIÓN ENERO (P.E)	P.E x Si/St	P.E	PRECIPITACIÓN FEBRERO(P.F)	P.F x Si/St	P.F	PRECIPITACIÓN MARZO(P.M)	P.M x Si/St	P.M
Jalsuri	Todos Santos	25,6790	25,6790	1,0000	90,3400	90,3400	<b>90,3400</b>	49,3900	49,3900	<b>49,3900</b>	54,7600	54,7600	<b>54,7600</b>
La Rivera	Todos Santos	82,2980	82,2980	1,0000	90,3400	90,3400	<b>90,3400</b>	49,3900	49,3900	<b>49,3900</b>	54,7600	54,7600	<b>54,7600</b>
Lliscaya	Todos Santos	260,5360	260,5360	1,0000	90,3400	90,3400	<b>90,3400</b>	49,3900	49,3900	<b>49,3900</b>	54,7600	54,7600	<b>54,7600</b>
Pizani	Todos Santos	181,2470	181,2470	1,0000	90,3400	90,3400	<b>90,3400</b>	49,3900	49,3900	<b>49,3900</b>	54,7600	54,7600	<b>54,7600</b>
Carangas	Todos Santos	173,3330	173,3330	1,0000	90,3400	90,3400	<b>90,3400</b>	49,3900	49,3900	<b>49,3900</b>	54,7600	54,7600	<b>54,7600</b>
Castilla Uma	Todos Santos	20,5560	20,5560	1,0000	90,3400	90,3400	<b>90,3400</b>	49,3900	49,3900	<b>49,3900</b>	54,7600	54,7600	<b>54,7600</b>
Cebada Mantos	Huachacalla	134,8190	367,9340	0,3664	132,6000	48,5875	<b>101,8113</b>	98,0000	35,9093	<b>66,2576</b>	75,3000	27,5916	<b>59,9479</b>
	Sacabaya	48,9970	367,9340	0,1332	60,2000	8,0167		42,3000	5,6330		37,2000	4,9538	
	Todos Santos	184,1180	367,9340	0,5004	90,3400	45,2071		49,3900	24,7153		54,7600	27,4025	
Choco Khollo	Todos Santos	97,6840	97,6840	1,0000	90,3400	90,3400	<b>90,3400</b>	49,3900	49,3900	<b>49,3900</b>	54,7600	54,7600	<b>54,7600</b>
Sabaya	Huachacalla	163,5780	393,7770	0,4154	132,6000	55,0831	<b>91,9143</b>	98,0000	40,7100	<b>74,6157</b>	75,3000	31,2802	<b>58,1721</b>
	Todos Santos	0,0280	393,7770	0,0001	90,3400	0,0064		49,3900	0,0035		54,7600	0,0039	
	Coipasa	230,1710	393,7770	0,5845	63,0000	36,8248		58,0000	33,9022		46,0000	26,8880	
Todos Santos	Huachacalla	87,3140	569,5700	0,1533	132,6000	20,3273	<b>96,3928</b>	98,0000	15,0232	<b>56,9758</b>	75,3000	11,5433	<b>57,7724</b>
	Todos Santos	473,3910	569,5700	0,8311	90,3400	75,0850		49,3900	41,0499		54,7600	45,5131	
	Coipasa	8,8650	569,5700	0,0156	63,0000	0,9806		58,0000	0,9027		46,0000	0,7160	
<b>Total/Promedio</b>		2.172,6140				96,3928	<b>92,2498</b>		56,9758	<b>54,3579</b>		57,7724	<b>55,9212</b>

Continuación de la tabla anterior

SUB_CUENCA	ESTACIÓN	AREA PARCIAL (Si)	AREA TOTAL (St)	Si/St	PRECIPITACIÓN ABRIL(P.A)	P.A x Si/St	PA	PRECIPITACIÓN MAYO(P.MY)	P.MY x Si/St	P.MY	PRECIPITACIÓN JUNIO(PJ)	Pj x Si/St	P.J
Jalsuri	Todos Santos	25,6790	25,6790	1,0000	3,8900	3,8900	<b>3,8900</b>	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>	1,7700	1,7700	<b>1,7700</b>
La Rivera	Todos Santos	82,2980	82,2980	1,0000	3,8900	3,8900	<b>3,8900</b>	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>	1,7700	1,7700	<b>1,7700</b>
Lliscaya	Todos Santos	260,5360	260,5360	1,0000	3,8900	3,8900	<b>3,8900</b>	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>	1,7700	1,7700	<b>1,7700</b>
Pizani	Todos Santos	181,2470	181,2470	1,0000	3,8900	3,8900	<b>3,8900</b>	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>	1,7700	1,7700	<b>1,7700</b>
Carangas	Todos Santos	173,3330	173,3330	1,0000	3,8900	3,8900	<b>3,8900</b>	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>	1,7700	1,7700	<b>1,7700</b>
Castilla Uma	Todos Santos	20,5560	20,5560	1,0000	3,8900	3,8900	<b>3,8900</b>	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>	1,7700	1,7700	<b>1,7700</b>
Cebada Mantos	Huachacalla	134,8190	367,9340	0,3664	8,7000	3,1879	<b>5,6805</b>	1,0000	0,3664	<b>0,3797</b>	0,0000	0,0000	<b>1,1387</b>
	Sacabaya	48,9970	367,9340	0,1332	4,1000	0,5460		0,1000	0,0133		1,9000	0,2530	
	Todos Santos	184,1180	367,9340	0,5004	3,8900	1,9466		0,0000	0,0000		1,7700	0,8857	
Choco Khollo	Todos Santos	97,6840	97,6840	1,0000	3,8900	3,8900	<b>3,8900</b>	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>	1,7700	1,7700	<b>1,7700</b>
Sabaya	Huachacalla	163,5780	393,7770	0,4154	8,7000	3,6140	<b>4,7834</b>	1,0000	0,4154	<b>0,4154</b>	0,0000	0,0000	<b>0,0001</b>
	Todos Santos	0,0280	393,7770	0,0001	3,8900	0,0003		0,0000	0,0000		1,7700	0,0001	
	Coipasa	230,1710	393,7770	0,5845	2,0000	1,1690		0,0000	0,0000		0,0000	0,0000	
Todos Santos	Huachacalla	87,3140	569,5700	0,1533	8,7000	1,3337	<b>4,5979</b>	1,0000	0,1533	<b>0,1533</b>	0,0000	0,0000	<b>1,4711</b>
	Todos Santos	473,3910	569,5700	0,8311	3,8900	3,2331		0,0000	0,0000		1,7700	1,4711	
	Coipasa	8,8650	569,5700	0,0156	2,0000	0,0311		0,0000	0,0000		0,0000	0,0000	
<b>Total/Promedio</b>		2.172,6140				4,5979	<b>4,2292</b>		0,1533	<b>0,0948</b>		1,4711	<b>1,5000</b>

Continuación de la tabla anterior

SUB CUENCA	ESTACIÓN	ÁREA PARCIAL (Si)	ÁREA TOTAL (St)	Si/St	PRECIPITACIÓN JULIO(P.JL)	PJL x Si/St	P.JL	PRECIPITACIÓN AGOSTO(PA)	PA x Si/St	PA	PRECIPITACIÓN SEPTIEMBRE(PS)	Ps x Si/St	PS
Jalsuri	Todos Santos	25,6790	25,6790	1,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>	1,0500	1,0500	<b>1,0500</b>	0,8600	0,8600	<b>0,8600</b>
La Rivera	Todos Santos	82,2980	82,2980	1,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>	1,0500	1,0500	<b>1,0500</b>	0,8600	0,8600	<b>0,8600</b>
Lliscaya	Todos Santos	260,5360	260,5360	1,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>	1,0500	1,0500	<b>1,0500</b>	0,8600	0,8600	<b>0,8600</b>
Pizani	Todos Santos	181,2470	181,2470	1,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>	1,0500	1,0500	<b>1,0500</b>	0,8600	0,8600	<b>0,8600</b>
Carangas	Todos Santos	173,3330	173,3330	1,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>	1,0500	1,0500	<b>1,0500</b>	0,8600	0,8600	<b>0,8600</b>
Castilla Uma	Todos Santos	20,5560	20,5560	1,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>	1,0500	1,0500	<b>1,0500</b>	0,8600	0,8600	<b>0,8600</b>
Cebada Mantos	Huachacalla	134,8190	367,9340	0,3664	0,0000	0,0000		0,9000	0,3298		3,6000	1,3191	
	Sacabaya	48,9970	367,9340	0,1332	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000		0,9000	0,1199	
	Todos Santos	184,1180	367,9340	0,5004	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>	1,0500	0,5254	<b>0,8552</b>	0,8600	0,4304	<b>1,8693</b>
Choco Khollo	Todos Santos	97,6840	97,6840	1,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>	1,0500	1,0500	<b>1,0500</b>	0,8600	0,8600	<b>0,8600</b>
Sabaya	Huachacalla	163,5780	393,7770	0,4154	0,0000	0,0000		0,9000	0,3739		3,6000	1,4955	
	Todos Santos	0,0280	393,7770	0,0001	0,0000	0,0000		1,0500	0,0001		0,8600	0,0001	
	Coipasa	230,1710	393,7770	0,5845	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>	1,0000	0,5845	<b>0,9585</b>	2,0000	1,1690	<b>2,6646</b>
Todos Santos	Huachacalla	87,3140	569,5700	0,1533	0,0000	0,0000		0,9000	0,1380		3,6000	0,5519	
	Todos Santos	473,3910	569,5700	0,8311	0,0000	0,0000		1,0500	0,8727		0,8600	0,7148	
	Coipasa	8,8650	569,5700	0,0156	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>	1,0000	0,0156	<b>1,0262</b>	2,0000	0,0311	<b>1,2978</b>
<b>Total/Promedio</b>		2.172,6140					<b>0,0000</b>		1,0262	<b>1,0190</b>		1,2978	<b>1,1852</b>

Continuación de la tabla anterior

SUB CUENCA	ESTACIÓN	ÁREA PARCIAL (Si)	ÁREA TOTAL (St)	Si/St	PRECIPITACIÓN OCTUBRE(P.O)	PO x Si/St	PO	PRECIPITACIÓN NOVIEMBRE(Pn)	PN x Si/St	PN	PRECIPITACIÓN DICIEMBRE(PD)	PD x Si/St	PD
Jalsuri	Todos Santos	25,6790	25,6790	1,0000	1,7700	1,7700	<b>1,7700</b>	9,2300	9,2300	<b>9,2300</b>	22,8300	22,8300	<b>22,8300</b>
La Rivera	Todos Santos	82,2980	82,2980	1,0000	1,7700	1,7700	<b>1,7700</b>	9,2300	9,2300	<b>9,2300</b>	22,8300	22,8300	<b>22,8300</b>
Lliscaya	Todos Santos	260,5360	260,5360	1,0000	1,7700	1,7700	<b>1,7700</b>	9,2300	9,2300	<b>9,2300</b>	22,8300	22,8300	<b>22,8300</b>
Pizani	Todos Santos	181,2470	181,2470	1,0000	1,7700	1,7700	<b>1,7700</b>	9,2300	9,2300	<b>9,2300</b>	22,8300	22,8300	<b>22,8300</b>
Carangas	Todos Santos	173,3330	173,3330	1,0000	1,7700	1,7700	<b>1,7700</b>	9,2300	9,2300	<b>9,2300</b>	22,8300	22,8300	<b>22,8300</b>
Castilla Uma	Todos Santos	20,5560	20,5560	1,0000	1,7700	1,7700	<b>1,7700</b>	9,2300	9,2300	<b>9,2300</b>	22,8300	22,8300	<b>22,8300</b>
Cebada Mantos	Huachacalla	134,8190	367,9340	0,3664	13,9000	5,0933		22,9000	8,3911		72,9000	26,7121	
	Sacabaya	48,9970	367,9340	0,1332	5,6000	0,7457		10,8000	1,4382		27,0000	3,5955	
	Todos Santos	184,1180	367,9340	0,5004	1,7700	0,8857	<b>6,7247</b>	9,2300	4,6188	<b>14,4481</b>	22,8300	11,4244	<b>41,7320</b>
Choco Khollo	Todos Santos	97,6840	97,6840	1,0000	1,7700	1,7700	<b>1,7700</b>	9,2300	9,2300	<b>9,2300</b>	22,8300	22,8300	<b>22,8300</b>
Sabaya	Huachacalla	163,5780	393,7770	0,4154	13,9000	5,7742		22,9000	9,5128		72,9000	30,2832	
	Todos Santos	0,0280	393,7770	0,0001	1,7700	0,0001		9,2300	0,0007		22,8300	0,0016	
	Coipasa	230,1710	393,7770	0,5845	7,0000	4,0916	<b>9,8659</b>	6,0000	3,5071	<b>13,0206</b>	30,0000	17,5356	<b>47,8205</b>
Todos Santos	Huachacalla	87,3140	569,5700	0,1533	13,9000	2,1308		22,9000	3,5105		72,9000	11,1754	
	Todos Santos	473,3910	569,5700	0,8311	1,7700	1,4711		9,2300	7,6714		22,8300	18,9749	
	Coipasa	8,8650	569,5700	0,0156	7,0000	0,1090	<b>3,7109</b>	6,0000	0,0934	<b>11,2753</b>	30,0000	0,4669	<b>30,6172</b>
<b>Total/Promedio</b>		2.172,6140				3,7109	<b>3,2692</b>		11,2753	<b>10,3354</b>		30,6172	<b>27,9980</b>

**Tabla 10. Balance hídrico de la Cuenca del Río Todos Santos**

ENERO																									
COEF. ESC. PARCIAL (CE)	CN	PREC. MEDIA MENSUAL Pmedia (mm)	PREC. CORREGIDA Pprom *APR Pc(mm)	PREC. CORR Pc (m)	PREC. PROM. DE ESC. (mm)	PREC. PROM. DE ESC (m)	PREC 75 % DE PROB P75% (mm)	PREC. 75% PROB. CORR P75%*APR Pc75%(mm)	PREC. 75% PROB. CORR Pc75%(m)	PREC 75% DE ESC. (mm)	PREC 75% DE ESC. (m)	PREC INFILTRAS	PREC. NFINTRAS(mm)	PREC. 75% INFILTRAS(mm)	Eto (mm/mes)	Pe (mm)	Pe 75% (mm)	DEFICIT (mm)	DEFICIT (mm) 75% de Provaviida	ÁREA (Km2)	ARF	ÁREA (m2)	VOL. ESC. (m3)	VOL.ESC. AL 75% (m3)	
0.00	0.00	92.25	0.00																	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0.10	10.00	92.25	81.22	0.08	8.12	0.01	45.30	39.88	0.0399	3.99	0.0040	0.90	73.10	35.90	105,4000	31.75	6.49	51.46	91.38	62.15	0.88	62147000.00	50476.00	24786.63	
0.15	15.00	92.25	75.16	0.08	11.27	0.01	45.30	36.91	0.0369	5.54	0.0055	0.85	63.89	31.37	105,4000	30.82	6.62	55.19	92.21	600.81	0.81	600809000.00	1016036.83	498932.74	
0.20	20.00	92.25	74.30	0.07	14.86	0.01	45.30	36.49	0.0365	7.30	0.0073	0.80	59.44	29.19	105,4000	31.97	7.20	55.39	92.08	828.26	0.81	828264000.00	2461704.59	1208839.06	
0.25	25.00	92.25	78.32	0.08	19.58	0.02	45.30	38.46	0.0385	9.61	0.0096	0.75	58.74	28.84	105,4000	35.37	8.35	52.21	91.00	184.06	0.85	184057000.00	900963.77	442425.22	
0.30	30.00	92.25	78.88	0.08	23.66	0.02	45.30	38.73	0.0387	11.62	0.0116	0.70	55.21	27.11	105,4000	37.40	9.25	51.25	90.47	149.46	0.86	149461000.00	1061006.75	521015.56	
0.35	35.00	92.25	80.49	0.08	28.17	0.03	45.30	39.53	0.0395	13.83	0.0138	0.65	52.32	25.69	105,4000	40.08	10.38	49.44	89.63	81.70	0.87	81701000.00	805570.58	395581.66	
0.40	40.00	92.25	79.55	0.08	31.82	0.03	45.30	39.06	0.0391	15.63	0.0156	0.60	47.73	23.44	105,4000	41.62	11.28	49.29	89.21	116.12	0.86	116123000.00	1478025.08	725795.63	
0.45	45.00	92.25	80.06	0.08	36.02	0.04	45.30	39.31	0.0393	17.69	0.0177	0.55	44.03	21.62	105,4000	44.04	12.49	48.00	88.38	96.12	0.87	96121000.00	1558241.15	765186.36	
0.50	50.00	92.25	84.80	0.08	42.40	0.04	45.30	41.64	0.0416	20.82	0.0208	0.50	42.40	20.82	105,4000	49.06	14.55	43.47	86.48	16.27	0.92	16269000.00	344902.76	169367.16	
0.55	55.00	92.25	88.69	0.09	48.78	0.05	45.30	43.55	0.0436	23.95	0.0240	0.45	39.91	19.60	105,4000	54.01	16.76	39.28	84.53	3.79	0.96	3786000.00	101578.18	49880.75	
0.60	60.00	92.25	96.05	0.10	57.63	0.06	45.30	47.17	0.0472	28.30	0.0283	0.40	38.42	18.87	105,4000	61.59	20.01	32.15	81.43	0.24	1.04	241000.00	8333.34	4092.15	
PROMEDIO	32.08	92.25	74.79	0.08	29.30	0.03	45.30	40.07	0.0401	14.39	0.0144		52.29	25.68	105,4000	41.61	11.22	47.92	88.80	194.45					
Total																				2164.73		2138979000.00	9786839.03	4805902.92	
Total (m3)																							9786839.03	4805902.92	
Total (m3/s)																							3.65	1.79	
FEBRERO																									
COEF. ESC. PARCIAL (CE)	CN	PREC. MEDIA MENSUAL Pmedia (mm)	PREC. CORREGIDA Pprom * APR Pc (mm)	PREC. CORR Pc (m)	PREC. PROM. DE ESC. (mm)	PREC. PROM. DE ESC (m)	PREC 75 % DE PROB P75% (mm)	PREC. 75% PROB. CORR P75%*APR Pc75%(mm)	PREC. 75% PROB. CORR Pc75%(m)	PREC 75% DE ESC. (mm)	PREC 75% DE ESC. (m)	PREC INFILTRAS	PREC. NFINTRAS(mm)	PREC. 75% INFILTRAS(mm)	Eto (mm/mes)	Pe (mm)	Pe 75% (mm)	DEFICIT (mm)	DEFICIT (mm) 75% de provaviida	ÁREA (Km2)	ARF	ÁREA (m2)	VOL. ESC. (m3)	VOL.ESC. AL 75% (m3)	
0.00	0.00																				25.75	0.91	25750000.00	0.00	0.00
0.10	10.00	54.36	47.86	0.05	4.79	0.00	13.60	11.97	0.0120	1.20	0.0012	0.90	43.07	10.78	89.6	18.71	0.24	-2.21	53.46	62.15	0.88	62147000.00	29742.81	7441.46	
0.15	15.00	54.36	44.29	0.04	6.64	0.01	13.60	11.08	0.0111	1.66	0.0017	0.85	37.64	9.42	89.6	18.16	0.31	7.55	57.92	600.81	0.81	600809000.00	598696.29	149789.96	
0.20	20.00	54.36	43.78	0.04	8.76	0.01	13.60	10.95	0.0110	2.19	0.0022	0.80	35.03	8.76	89.6	18.84	0.40	11.32	60.01	828.26	0.81	828264000.00	1450551.16	362918.57	
0.25	25.00	54.36	46.15	0.05	11.54	0.01	13.60	11.55	0.0115	2.89	0.0029	0.75	34.61	8.66	89.6	20.84	0.54	10.02	60.21	184.06	0.85	184057000.00	530889.87	132825.23	
0.30	30.00	54.36	46.48	0.05	13.94	0.01	13.60	11.63	0.0116	3.49	0.0035	0.70	32.53	8.14	89.6	22.04	0.70	12.35	61.79	149.46	0.86	149461000.00	625194.67	156419.68	
0.35	35.00	54.36	47.43	0.05	16.60	0.02	13.60	11.87	0.0119	4.15	0.0042	0.65	30.83	7.71	89.6	23.62	0.89	13.66	63.02	81.70	0.87	81701000.00	474679.76	118761.82	
0.40	40.00	54.36	46.87	0.05	18.75	0.02	13.60	11.73	0.0117	4.69	0.0047	0.60	28.12	7.04	89.6	24.53	1.09	17.34	65.07	116.12	0.86	116123000.00	870921.31	217898.91	
0.45	45.00	54.36	47.17	0.05	21.23	0.02	13.60	11.80	0.0118	5.31	0.0053	0.55	25.94	6.49	89.6	25.95	1.34	19.62	66.64	96.12	0.87	96121000.00	918188.37	229724.82	
0.50	50.00	54.36	49.97	0.05	24.98	0.02	13.60	12.50	0.0125	6.25	0.0063	0.50	24.98	6.25	89.6	28.91	1.73	18.29	67.05	16.27	0.92	16269000.00	203232.79	50847.54	
0.55	55.00	54.36	52.26	0.05	28.74	0.03	13.60	13.08	0.0131	7.19	0.0072	0.45	23.52	5.88	89.6	31.82	2.20	17.87	67.80	3.79	0.96	3786000.00	59854.60	14975.24	
0.60	60.00	54.36	56.60	0.06	33.96	0.03	13.60	14.16	0.0142	8.50	0.0085	0.40	22.64	5.66	89.6	36.29	2.88	14.89	67.86	0.24	1.04	241000.00	4910.39	1228.55	
PROMEDIO	32.08	54.36	48.08	0.05	17.27	0.02	13.60	12.03	0.0120	4.32	0.0043		30.81	7.71	89.6	24.52	1.12	12.79	62.80	194.45					
Total																				2164.73		2164729000.00	5766862.03	1442831.78	
Total (m3)																							5766862.03	1442831.78	
Total (m3/s)																							2.38	0.60	

COE. ESC= Coeficiente de escurrimiento  
 ARF = Coeficiente reductor de área  
 P.P = Precipitación promedio mensual  
 P.75 % = Precipitación al 75% de probabilidad  
 VOL. ESC.=Volumen escurrido

Continuación de la tabla anterior

MARZO																								
COEF. ESC. PARCIAL (CEI)	CN	PREC. MEDIA MENSUAL Pmedia (mm)	PREC. CORREGIDA Pprom *APR Pc(mm)	PREC. CORR Pc (m)	PREC. PROM. DE ESC. (mm)	PREC. PROM. DE ESC (m)	PREC 75 % DE PROB P75% (mm)	PREC. 75% PROB. CORR P75%*APR Pc75%(mm)	PREC. 75% PROB. CORR Pc75%(m)	PREC 75% DE ESC. (mm)	PREC 75% DE ESC. (m)	PREC INFILTRAS	PREC. NINFILTRAS(mm)	PREC. 75% INFILTRAS(mm)	Eto (mm/mes)	Pe (mm)	Pe 75% (mm)	DEFICIT (mm)	DEFICIT (mm) 75% de Provavilida	ÁREA (Km2)	ARF	ÁREA (m2)	VOL. ESC. (m3)	VOLESC. AL 75% (m3)
0,00																				25,75	0,91	25750000,00	0,00	0,00
0,10	10,00	55,92	49,24	0,05	4,92	0,00	20,70	18,23	0,0182	1,82	0,0018	0,90	44,31	16,40	89,9000	19,25	1,63	27,58	77,49	62,15	0,88	62147000,00	30598,21	11326,34
0,15	15,00	55,92	45,56	0,05	6,83	0,01	20,70	16,87	0,0169	2,53	0,0025	0,85	38,73	14,34	89,9000	18,68	1,74	33,57	78,74	600,81	0,81	600809000,00	615914,67	227989,13
0,20	20,00	55,92	45,04	0,05	9,01	0,01	20,70	16,67	0,0167	3,33	0,0033	0,80	36,03	13,34	89,9000	19,38	1,97	35,49	79,17	828,26	0,81	828264000,00	1492268,70	552383,41
0,25	25,00	55,92	47,48	0,05	11,87	0,01	20,70	17,57	0,0176	4,39	0,0044	0,75	35,61	13,18	89,9000	21,44	2,37	33,85	78,87	184,06	0,85	184057000,00	546158,15	202167,82
0,30	30,00	55,92	47,81	0,05	14,34	0,01	20,70	17,70	0,0177	5,31	0,0053	0,70	33,47	12,39	89,9000	22,67	2,72	34,70	79,04	149,46	0,86	149461000,00	643175,13	238079,96
0,35	35,00	55,92	48,79	0,05	17,08	0,02	20,70	18,06	0,0181	6,32	0,0063	0,65	31,71	11,74	89,9000	24,30	3,16	34,77	79,03	81,70	0,87	81701000,00	488331,44	180762,48
0,40	40,00	55,92	48,22	0,05	19,29	0,02	20,70	17,85	0,0179	7,14	0,0071	0,60	28,93	10,71	89,9000	25,23	3,55	36,54	79,31	116,12	0,86	116123000,00	895968,82	331654,96
0,45	45,00	55,92	48,53	0,05	21,84	0,02	20,70	17,96	0,0180	8,08	0,0081	0,55	26,69	9,88	89,9000	26,69	4,05	37,26	79,35	96,12	0,87	96121000,00	944595,26	349654,69
0,50	50,00	55,92	51,41	0,05	25,70	0,03	20,70	19,03	0,0190	9,51	0,0095	0,50	25,70	9,51	89,9000	29,74	4,87	35,17	78,78	16,27	0,92	16269000,00	209077,72	77392,94
0,55	55,00	55,92	53,77	0,05	29,57	0,03	20,70	19,90	0,0199	10,95	0,0109	0,45	24,19	8,96	89,9000	32,74	5,78	33,64	78,24	3,79	0,96	3786000,00	61576,01	22793,19
0,60	60,00	55,92	58,23	0,06	34,94	0,03	20,70	21,55	0,0216	12,93	0,0129	0,40	23,29	8,62	89,9000	37,33	7,10	29,93	77,13	0,24	1,04	241000,00	5051,61	1869,92
PROMEDIO	35,00	55,92	49,46	0,05	17,76	0,02	20,70	18,31	0,0183	6,58	0,0066		31,70	11,73	89,9000	25,22	3,54	33,86	78,65	194,45				
Total																				2164,73		2164729000,00	5932715,72	2196074,84
Total (m3)																							5932715,72	2196074,84
Total (m3/s)																							2,22	0,82
ABRIL																								
COEF. ESC. PARCIAL (CEI)	CN	PREC. MEDIA MENSUAL Pmedia (mm)	PREC. CORREGIDA Pprom *APR Pc(mm)	PREC. CORR Pc (m)	PREC. PROM. DE ESC. (mm)	PREC. PROM. DE ESC (m)	PREC 75 % DE PROB P75% (mm)	PREC. 75% PROB. CORR P75%*APR Pc75%(mm)	PREC. 75% PROB. CORR Pc75%(m)	PREC 75% DE ESC. (mm)	PREC 75% DE ESC. (m)	PREC INFILTRAS	PREC. NINFILTRAS(mm)	PREC. 75% INFILTRAS(mm)	Eto (mm/mes)	Pe (mm)	Pe 75% (mm)	DEFICIT (mm)	DEFICIT (mm) 75% de Provavilida	ÁREA (Km2)	ARF	ÁREA (m2)	VOL. ESC. (m3)	VOLESC. AL 75% (m3)
0,00																				25,75	0,91	25750000,00	0,00	0,00
0,10	10,00	4,23	3,72	0,00	0,37	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,90	3,35	0,00	78,0000	1,46	0,17	32,23	61,43	62,15	0,88	62147000,00	2314,06	0,00
0,15	15,00	4,23	3,45	0,00	0,52	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,85	2,93	0,00	78,0000	1,41	0,15	37,86	63,52	600,81	0,81	600809000,00	46580,02	0,00
0,20	20,00	4,23	3,41	0,00	0,68	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,80	2,73	0,00	78,0000	1,47	0,14	40,50	64,53	828,26	0,81	828264000,00	112856,38	0,00
0,25	25,00	4,23	3,59	0,00	0,90	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,75	2,69	0,00	78,0000	1,62	0,13	40,77	64,68	184,06	0,85	184057000,00	41304,51	0,00
0,30	30,00	4,23	3,62	0,00	1,08	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,70	2,53	0,00	78,0000	1,71	0,13	42,82	65,48	149,46	0,86	149461000,00	48641,65	0,00
0,35	35,00	4,23	3,69	0,00	1,29	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,65	2,40	0,00	78,0000	1,84	0,12	44,45	66,14	81,70	0,87	81701000,00	36931,23	0,00
0,40	40,00	4,23	3,65	0,00	1,46	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,60	2,19	0,00	78,0000	1,91	0,11	47,16	67,18	116,12	0,86	116123000,00	67759,78	0,00
0,45	45,00	4,23	3,67	0,00	1,65	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,55	2,02	0,00	78,0000	2,02	0,10	49,29	68,02	96,12	0,87	96121000,00	71437,27	0,00
0,50	50,00	4,23	3,89	0,00	1,94	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,50	1,94	0,00	78,0000	2,25	0,10	50,05	68,39	16,27	0,92	16269000,00	15812,00	0,00
0,55	55,00	4,23	4,07	0,00	2,24	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,45	1,83	0,00	78,0000	2,48	0,09	51,33	68,95	3,79	0,96	3786000,00	4656,83	0,00
0,60	60,00	4,23	4,40	0,00	2,64	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,40	1,76	0,00	78,0000	2,82	0,09	51,89	69,29	0,24	1,04	241000,00	382,04	0,00
PROMEDIO	35,00	4,23	3,74	0,00	1,34	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000		2,40	0,00	78,0000	1,91	0,12	44,39	66,15	194,45				
Total																				2164,73		2164729000,00	448675,77	0,00
Total (m3)																							448675,77	0,00
Total (m3/s)																							0,17	0,00

COE. ESC= Coeficiente de escurrimiento  
 ARF = Coeficiente reductor de área  
 P.P = Precipitación promedio mensual  
 P.75 % = Precipitación al 75% de probabilidad  
 VOL. ESC.=Volumen escurrido

Continuación de la tabla anterior

MAYO																																													
COEF. ESC. PARCIAL (CEI)	CN	PREC. MEDIA MENSUAL Pmedia (mm)	PREC. CORREGIDA Pprom *APR Pc(mm)	PREC. CORR Pc (m)	PREC. PROM. DE ESC. (mm)	PREC. PROM. DE ESC (m)	PREC 75 % DE PROB P75% (mm)	PREC. 75% PROB. CORR P75%*APR Pc75%(mm)	PREC. 75% PROB. CORR Pc75%(m)	PREC 75% DE ESC. (mm)	PREC 75% DE ESC. (m)	PREC INFILTRAS	PREC. Nfiltras (mm)	PREC. 75% INFILTRAS (mm)	Eto (mm/mes)	Pe (mm)	Pe 75% (mm)	DEFICIT (mm)	DEFICIT (mm) 75% de Provavilida	ÁREA (Km2)	ARF	ÁREA (m2)	VOL. ESC. (m3)	VOLESC. AL 75% (m3)																					
																				25.75	0.91	25750000.00	0.00	0.00																					
0.10	10.00	0.09	0.08	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.90	0.08	0.00	74.4000	0.03	0.00	71.02	74.40	62.15	0.88	62147000.00	51.90	0.00																					
0.15	15.00	0.09	0.08	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.85	0.07	0.00	74.4000	0.03	0.00	71.44	74.40	600.81	0.81	600809000.00	1044.61	0.00																					
0.20	20.00	0.09	0.08	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.80	0.06	0.00	74.4000	0.03	0.00	71.64	74.40	828.26	0.81	828264000.00	2530.94	0.00																					
0.25	25.00	0.09	0.08	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.75	0.06	0.00	74.4000	0.04	0.00	71.67	74.40	184.06	0.85	184057000.00	926.30	0.00																					
0.30	30.00	0.09	0.08	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.70	0.06	0.00	74.4000	0.04	0.00	71.83	74.40	149.46	0.86	149461000.00	1090.85	0.00																					
0.35	35.00	0.09	0.08	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.65	0.05	0.00	74.4000	0.04	0.00	71.96	74.40	81.70	0.87	81701000.00	828.23	0.00																					
0.40	40.00	0.09	0.08	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.60	0.05	0.00	74.4000	0.04	0.00	72.17	74.40	116.12	0.86	116123000.00	1519.60	0.00																					
0.45	45.00	0.09	0.08	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.55	0.05	0.00	74.4000	0.05	0.00	72.34	74.40	96.12	0.87	96121000.00	1602.07	0.00																					
0.50	50.00	0.09	0.09	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.50	0.04	0.00	74.4000	0.05	0.00	72.41	74.40	16.27	0.92	16269000.00	354.60	0.00																					
0.55	55.00	0.09	0.09	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.45	0.04	0.00	74.4000	0.06	0.00	72.51	74.40	3.79	0.96	3786000.00	104.44	0.00																					
0.60	60.00	0.09	0.10	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.40	0.04	0.00	74.4000	0.06	0.00	72.58	74.40	0.24	1.04	241000.00	8.57	0.00																					
PROMEDIO	35.00	0.09	0.08	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.0000		0.05	0.00	74.4000	0.04	0.00	71.96	74.40	194.45																									
Total																																						2164.73		2164729000.00	10062.10	0.00			
Total (m3)																																											10062.10	0.00	
Total (m3/s)																																											0.0038	0.00	
JUNIO																																													
COEF. ESC. PARCIAL (CEI)	CN	PREC. MEDIA MENSUAL Pmedia (mm)	PREC. CORREGIDA Pprom *APR Pc(mm)	PREC. CORR Pc (m)	PREC. PROM. DE ESC. (mm)	PREC. PROM. DE ESC (m)	PREC 75 % DE PROB P75% (mm)	PREC. 75% PROB. CORR P75%*APR Pc75%(mm)	PREC. 75% PROB. CORR Pc75%(m)	PREC 75% DE ESC. (mm)	PREC 75% DE ESC. (m)	PREC INFILTRAS	PREC. Nfiltras (mm)	PREC. 75% INFILTRAS (mm)	Eto (mm/mes)	Pe (mm)	Pe 75% (mm)	DEFICIT (mm)	DEFICIT (mm) 75% de Provavilida	ÁREA (Km2)	ARF	ÁREA (m2)	VOL. ESC. (m3)	VOLESC. AL 75% (m3)																					
					0.00		0.00	0.00												25.75	0.91	25750000.00	0.00	0.00																					
0.10	10.00	1.50	1.32	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.90	1.19	0.00	81.0000	0.52	0.06	80.41	80.94	62.15	0.88	62147000.00	820.75	0.00																					
0.15	15.00	1.50	1.22	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.85	1.04	0.00	81.0000	0.50	0.05	80.43	80.95	600.81	0.81	600809000.00	16520.93	0.00																					
0.20	20.00	1.50	1.21	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.80	0.97	0.00	81.0000	0.52	0.05	80.42	80.95	828.26	0.81	828264000.00	40027.74	0.00																					
0.25	25.00	1.50	1.27	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.75	0.96	0.00	81.0000	0.58	0.05	80.36	80.95	184.06	0.85	184057000.00	14649.83	0.00																					
0.30	30.00	1.50	1.28	0.00	0.38	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.70	0.90	0.00	81.0000	0.61	0.04	80.34	80.96	149.46	0.86	149461000.00	17252.15	0.00																					
0.35	35.00	1.50	1.31	0.00	0.46	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.65	0.85	0.00	81.0000	0.65	0.04	80.29	80.96	81.70	0.87	81701000.00	13098.72	0.00																					
0.40	40.00	1.50	1.29	0.00	0.52	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.60	0.78	0.00	81.0000	0.68	0.04	80.27	80.96	116.12	0.86	116123000.00	24032.94	0.00																					
0.45	45.00	1.50	1.30	0.00	0.59	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.55	0.72	0.00	81.0000	0.72	0.04	80.24	80.96	96.12	0.87	96121000.00	25337.27	0.00																					
0.50	50.00	1.50	1.38	0.00	0.69	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.50	0.69	0.00	81.0000	0.80	0.03	80.16	80.97	16.27	0.92	16269000.00	5608.18	0.00																					
0.55	55.00	1.50	1.44	0.00	0.79	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.45	0.65	0.00	81.0000	0.88	0.03	80.08	80.97	3.79	0.96	3786000.00	1651.68	0.00																					
0.60	60.00	1.50	1.56	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.40	0.62	0.00	81.0000	1.00	0.03	79.96	80.97	0.24	1.04	241000.00	135.50	0.00																					
PROMEDIO	35.00	1.50	1.33	0.00	0.44	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.0000		0.85	0.00	81.0000	0.68	0.04	80.27	80.96	194.45																									
Total																																								2164.73		2164729000.00	159135.70	0.00	
Total (m3)																																												159135.70	0.00
Total (m3/s)																																												0.06	0.00
COE. ESC= Coeficiente de escurrimiento ARF = Coeficiente reductor de área P.P = Precipitación promedio mensual P.75 % = Precipitación al 75% de probabilidad VOL. ESC.=Volumen escurrido																																													

Continuación de la tabla anterior

JULIO																									
COEF. ESC. PARCIAL (CEi)	CN	PREC. MEDIA MENSUAL Pmedia (mm)	PREC. CORREGIDA Pprom *APR Pc(mm)	PREC. CORR Pc (m)	PREC. PROM. DE ESC. (mm)	PREC. PROM. DE ESC (m)	PREC 75 % DE PROB P75% (mm)	PREC. 75% PROB. CORR P75%*APR Pc75%(mm)	PREC. 75% PROB. CORR Pc75%(m)	PREC 75% DE ESC. (mm)	PREC 75% DE ESC. (m)	PREC INFILTRAS	PREC. NIFILTRAS(mm)	PREC. 75% INFILTRAS(mm)	Eto (mm/mes)	Pe (mm)	Pe 75% (mm)	DEFICIT (mm)	DEFICIT (mm) 75% de Provavilida	ÁREA (Km2)	ARF	ÁREA (m2)	VOL. ESC. (m3)	VOLESC. AL 75% (m3)	
0,00					0,00		0,00	0,00												25,75	0,91	25750000,00	0,00	0,00	
0,10	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,90	0,00	0,00	68,2000	0,00	0,00	67,01	68,20	62,15	0,88	62147000,00	0,00	0,00	
0,15	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,85	0,00	0,00	68,2000	0,00	0,00	67,16	68,20	600,81	0,81	6008090000,00	0,00	0,00	
0,20	20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,80	0,00	0,00	68,2000	0,00	0,00	67,23	68,20	828,26	0,81	8282640000,00	0,00	0,00	
0,25	25,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,75	0,00	0,00	68,2000	0,00	0,00	67,24	68,20	184,06	0,85	1840570000,00	0,00	0,00	
0,30	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,70	0,00	0,00	68,2000	0,00	0,00	67,30	68,20	149,46	0,86	1494610000,00	0,00	0,00	
0,35	35,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,65	0,00	0,00	68,2000	0,00	0,00	67,35	68,20	81,70	0,87	817010000,00	0,00	0,00	
0,40	40,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,60	0,00	0,00	68,2000	0,00	0,00	67,42	68,20	116,12	0,86	1161230000,00	0,00	0,00	
0,45	45,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,55	0,00	0,00	68,2000	0,00	0,00	67,48	68,20	96,12	0,87	961210000,00	0,00	0,00	
0,50	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,50	0,00	0,00	68,2000	0,00	0,00	67,51	68,20	16,27	0,92	162690000,00	0,00	0,00	
0,55	55,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,45	0,00	0,00	68,2000	0,00	0,00	67,55	68,20	3,79	0,96	37860000,00	0,00	0,00	
0,60	60,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,40	0,00	0,00	68,2000	0,00	0,00	67,58	68,20	0,24	1,04	2410000,00	0,00	0,00	
PROM EDIO	35,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000		0,00	0,00	68,2000	0,00	0,00	67,35	68,20	194,45					
Total																				2164,73		2164729000,00	0,00	0,00	
Total (m3)																								0,00	0,00
Total (m3/s)																								0,00	0,00
AGOSTO																									
COEF. ESC. PARCIAL (CEi)	CN	PREC. MEDIA MENSUAL Pmedia (mm)	PREC. CORREGIDA Pprom *APR Pc(mm)	PREC. CORR Pc (m)	PREC. PROM. DE ESC. (mm)	PREC. PROM. DE ESC (m)	PREC 75 % DE PROB P75% (mm)	PREC. 75% PROB. CORR P75%*APR Pc75%(mm)	PREC. 75% PROB. CORR Pc75%(m)	PREC 75% DE ESC. (mm)	PREC 75% DE ESC. (m)	PREC INFILTRAS	PREC. NIFILTRAS(mm)	PREC. 75% INFILTRAS(mm)	Eto (mm/mes)	Pe (mm)	Pe 75% (mm)	DEFICIT (mm)	DEFICIT (mm) 75% de Provavilida	ÁREA (Km2)	ARF	ÁREA (m2)	VOL. ESC. (m3)	VOLESC. AL 75% (m3)	
0,00																				25,75	0,91	25750000,00	0,00	0,00	
0,10	10,00	1,02	0,90	0,08	0,09	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,90	0,81	0,00	83,7000	0,35	0,04	83,35	83,66	62,15	0,88	62147000,00	557,56	0,00	
0,15	15,00	1,02	0,83	0,08	0,12	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,85	0,71	0,00	83,7000	0,34	0,04	83,36	83,66	600,81	0,81	6008090000,00	11223,12	0,00	
0,20	20,00	1,02	0,82	0,08	0,16	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,80	0,66	0,00	83,7000	0,35	0,03	83,35	83,67	828,26	0,81	8282640000,00	27191,94	0,00	
0,25	25,00	1,02	0,87	0,08	0,22	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,75	0,65	0,00	83,7000	0,39	0,03	83,31	83,67	184,06	0,85	1840570000,00	9952,03	0,00	
0,30	30,00	1,02	0,87	0,08	0,26	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,70	0,61	0,00	83,7000	0,41	0,03	83,29	83,67	149,46	0,86	1494610000,00	11719,86	0,00	
0,35	35,00	1,02	0,89	0,08	0,31	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,65	0,58	0,00	83,7000	0,44	0,03	83,26	83,67	81,70	0,87	817010000,00	8898,32	0,00	
0,40	40,00	1,02	0,88	0,08	0,35	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,60	0,53	0,00	83,7000	0,46	0,03	83,24	83,67	116,12	0,86	1161230000,00	16326,24	0,00	
0,45	45,00	1,02	0,88	0,08	0,40	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,55	0,49	0,00	83,7000	0,49	0,02	83,21	83,68	96,12	0,87	961210000,00	17212,30	0,00	
0,50	50,00	1,02	0,94	0,08	0,47	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,50	0,47	0,00	83,7000	0,54	0,02	83,16	83,68	16,27	0,92	162690000,00	3809,79	0,00	
0,55	55,00	1,02	0,98	0,08	0,54	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,45	0,44	0,00	83,7000	0,60	0,02	83,10	83,68	3,79	0,96	37860000,00	1122,03	0,00	
0,60	60,00	1,02	1,06	0,08	0,64	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,40	0,42	0,00	83,7000	0,68	0,02	83,02	83,68	0,24	1,04	2410000,00	92,05	0,00	
PROM EDIO	35,00	1,02	0,90	0,08	0,32	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000		0,58	0,00	83,7000	0,46	0,03	83,24	83,67	194,45					
Total																				2164,73		2164729000,00	108105,24	0,00	
Total (m3)																								108105,24	0,00
Total (m3/s)																								0,04	0,00
COE. ESC= Coeficiente de escurrimiento ARF = Coeficiente reductor de área P.P = Precipitación promedio mensual P.75 % = Precipitación al 75% de probabilidad VOL. ESC.=Volumen escurrido																									

Continuación de la tabla anterior

SEPTIEMBRE																									
COEF. ESC. PARCIAL (CEI)	CN	PREC. MEDIA MENSUAL Pmedia (mm)	PREC. CORREGIDA Pprom *APR Pc(mm)	PREC. CORR Pc (m)	PREC. PROM. DE ESC. (mm)	PREC. PROM. DE ESC (m)	PREC 75 % DE PROB P75% (mm)	PREC. 75% PROB. CORR P75%*APR Pc75%(mm)	PREC. 75% PROB. CORR Pc75%(m)	PREC 75% DE ESC. (mm)	PREC 75% DE ESC. (m)	PREC INFILTRAS	PREC. NFINTRAS(mm)	PREC. 75% INFILTRAS(mm)	Eto (mm/mes)	Pe (mm)	Pe 75% (mm)	DEFICIT (mm)	DEFICIT (mm) 75% de Provavilida	ÁREA (Km2)	ARF	ÁREA (m2)	VOL. ESC. (m3)	VOL.ESC. AL 75% (m3)	
0,00					0,00		0,00	0,00												25,75	0,91	25750000,00	0,00	0,00	
0,10	10,00	1,19	1,04	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,90	0,94	0,00	90,0000	0,41	0,05	88,78	89,95	62,15	0,88	62147000,00	648,48	0,00	
0,15	15,00	1,19	0,97	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,85	0,82	0,00	90,0000	0,40	0,04	88,90	89,96	600,81	0,81	600809000,00	13053,40	0,00	
0,20	20,00	1,19	0,95	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,80	0,76	0,00	90,0000	0,41	0,04	88,93	89,96	828,26	0,81	828264000,00	31626,41	0,00	
0,25	25,00	1,19	1,01	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,75	0,75	0,00	90,0000	0,45	0,04	88,90	89,96	184,06	0,85	184057000,00	11575,01	0,00	
0,30	30,00	1,19	1,01	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,70	0,71	0,00	90,0000	0,48	0,04	88,91	89,96	149,46	0,86	149461000,00	13631,14	0,00	
0,35	35,00	1,19	1,03	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,65	0,67	0,00	90,0000	0,51	0,03	88,91	89,97	81,70	0,87	81701000,00	10349,46	0,00	
0,40	40,00	1,19	1,02	0,00	0,41	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,60	0,61	0,00	90,0000	0,53	0,03	88,94	89,97	116,12	0,86	116123000,00	18988,73	0,00	
0,45	45,00	1,19	1,03	0,00	0,46	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,55	0,57	0,00	90,0000	0,57	0,03	88,95	89,97	96,12	0,87	96121000,00	20019,29	0,00	
0,50	50,00	1,19	1,09	0,00	0,54	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,50	0,54	0,00	90,0000	0,63	0,03	88,90	89,97	16,27	0,92	16289000,00	4431,09	0,00	
0,55	55,00	1,19	1,14	0,00	0,63	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,45	0,51	0,00	90,0000	0,69	0,03	88,87	89,97	3,79	0,96	3786000,00	1305,01	0,00	
0,60	60,00	1,19	1,23	0,00	0,74	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,40	0,49	0,00	90,0000	0,79	0,02	88,78	89,98	0,24	1,04	241000,00	107,06	0,00	
PROMEDIO	35,00	1,19	1,05	0,00	0,35	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000		0,67	0,00	90,0000	0,53	0,03	88,89	89,97	194,45					
Total																				2164,73		2164729000,00	125735,08	0,00	
Total (m3)																								125735,08	0,00
Total (m3/s)																								0,05	0,00
OCTUBRE																									
COEF. ESC. PARCIAL (CEI)	CN	PREC. MEDIA MENSUAL Pmedia (mm)	PREC. CORREGIDA Pprom *APR Pc(mm)	PREC. CORR Pc (m)	PREC. PROM. DE ESC. (mm)	PREC. PROM. DE ESC (m)	PREC 75 % DE PROB P75% (mm)	PREC. 75% PROB. CORR P75%*APR Pc75%(mm)	PREC. 75% PROB. CORR Pc75%(m)	PREC 75% DE ESC. (mm)	PREC 75% DE ESC. (m)	PREC INFILTRAS	PREC. NFINTRAS(mm)	PREC. 75% INFILTRAS(mm)	Eto (mm/mes)	Pe (mm)	Pe 75% (mm)	DEFICIT (mm)	DEFICIT (mm) 75% de Provavilida	ÁREA (Km2)	ARF	ÁREA (m2)	VOL. ESC. (m3)	VOL.ESC. AL 75% (m3)	
0,00					0,00																25,75	0,91	25750000,00	0,00	0,00
0,10	10,00	3,27	2,88	0,00	0,29	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,90	2,59	0,00	105,4000	1,13	0,13	103,34	105,27	62,15	0,88	62147000,00	1788,77	0,00	
0,15	15,00	3,27	2,66	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,85	2,26	0,00	105,4000	1,09	0,11	103,49	105,29	600,81	0,81	600809000,00	36006,40	0,00	
0,20	20,00	3,27	2,63	0,00	0,53	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,80	2,11	0,00	105,4000	1,13	0,11	103,50	105,29	828,26	0,81	828264000,00	87238,09	0,00	
0,25	25,00	3,27	2,78	0,00	0,69	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,75	2,08	0,00	105,4000	1,25	0,10	103,39	105,30	184,06	0,85	184057000,00	31928,43	0,00	
0,30	30,00	3,27	2,80	0,00	0,84	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,70	1,96	0,00	105,4000	1,33	0,10	103,37	105,30	149,46	0,86	149461000,00	37600,05	0,00	
0,35	35,00	3,27	2,85	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,65	1,85	0,00	105,4000	1,42	0,09	103,31	105,31	81,70	0,87	81701000,00	28547,88	0,00	
0,40	40,00	3,27	2,82	0,00	1,13	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,60	1,69	0,00	105,4000	1,48	0,08	103,31	105,32	116,12	0,86	116123000,00	52378,38	0,00	
0,45	45,00	3,27	2,84	0,00	1,28	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,55	1,56	0,00	105,4000	1,56	0,08	103,27	105,32	96,12	0,87	96121000,00	55221,08	0,00	
0,50	50,00	3,27	3,01	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,50	1,50	0,00	105,4000	1,74	0,08	103,12	105,32	16,27	0,92	16289000,00	12222,69	0,00	
0,55	55,00	3,27	3,14	0,00	1,73	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,45	1,41	0,00	105,4000	1,91	0,07	102,97	105,33	3,79	0,96	3786000,00	3599,74	0,00	
0,60	60,00	3,27	3,40	0,00	2,04	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,40	1,36	0,00	105,4000	2,18	0,07	102,72	105,33	0,24	1,04	241000,00	295,32	0,00	
PROMEDIO	35,00	3,27	2,89	0,00	0,95	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000		1,85	0,00	105,4000	1,47	0,09	103,25	105,31	194,45					
Total																				2164,73		2164729000,00	346826,81	0,00	
Total (m3)																								346826,81	0,00
Total (m3/s)																								0,13	0,00
COE. ESC= Coeficiente de escurrimiento ARF = Coeficiente reductor de área P.P = Precipitación promedio mensual P.75 % = Precipitación al 75% de probabilidad VOL. ESC.=Volumen escurrido																									

Continuación de la tabla anterior

NOVIEMBRE																																													
COEF. ESC. PARCIAL (CEI)	CN	PREC. MEDIA MENSUAL Pmedia (mm)	PREC. CORREGIDA Pprom *APR Pc(mm)	PREC. CORR Pc (m)	PREC. PROM. DE ESC. (mm)	PREC. PROM. DE ESC (m)	PREC 75 % DE PROB P75% (mm)	PREC. 75% PROB. CORR P75%*APR Pc75%(mm)	PREC. 75% PROB. CORR Pc75%(m)	PREC 75% DE ESC. (mm)	PREC 75% DE ESC. (m)	PREC INFILTRAS	PREC. NFLTRAS (mm)	PREC. 75% INFILTRAS (mm)	Eto (mm/mes)	Pe (mm)	Pe 75% (mm)	DEFICIT (mm)	DEFICIT (mm) 75% de Provavilida	ÁREA (Km2)	ARF	ÁREA (m2)	VOL. ESC. (m3)	VOLESC. AL 75% (m3)																					
0,00							0,00	0,00												25,75	0,91	25750000,00	0,00	0,00																					
0,10	10,00	10,34	9,10	0,01	0,91	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,90	8,19	0,00	111,0000	3,56	0,41	104,85	110,59	62,15	0,88	62147000,00	5655,18	0,00																					
0,15	15,00	10,34	8,42	0,01	1,26	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,85	7,16	0,00	111,0000	3,45	0,36	105,28	110,64	600,81	0,81	6008090000,00	113833,75	0,00																					
0,20	20,00	10,34	8,32	0,01	1,66	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,80	6,66	0,00	111,0000	3,58	0,33	105,31	110,67	828,26	0,81	8282640000,00	275802,08	0,00																					
0,25	25,00	10,34	8,77	0,01	2,19	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,75	6,58	0,00	111,0000	3,96	0,33	104,96	110,67	184,06	0,85	1840570000,00	100941,31	0,00																					
0,30	30,00	10,34	8,84	0,01	2,65	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,70	6,19	0,00	111,0000	4,19	0,31	104,85	110,69	149,46	0,86	1494610000,00	118872,05	0,00																					
0,35	35,00	10,34	9,02	0,01	3,16	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,65	5,86	0,00	111,0000	4,49	0,29	104,66	110,71	81,70	0,87	817010000,00	90253,74	0,00																					
0,40	40,00	10,34	8,91	0,01	3,57	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,60	5,35	0,00	111,0000	4,66	0,27	104,65	110,73	116,12	0,86	1161230000,00	165593,54	0,00																					
0,45	45,00	10,34	8,97	0,01	4,04	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,55	4,93	0,00	111,0000	4,93	0,25	104,51	110,75	96,12	0,87	961210000,00	174580,71	0,00																					
0,50	50,00	10,34	9,50	0,01	4,75	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,50	4,75	0,00	111,0000	5,50	0,24	104,00	110,76	16,27	0,92	162690000,00	38641,88	0,00																					
0,55	55,00	10,34	9,94	0,01	5,47	0,01	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,45	4,47	0,00	111,0000	6,05	0,22	103,53	110,78	3,79	0,96	37860000,00	11380,52	0,00																					
0,60	60,00	10,34	10,76	0,01	6,46	0,01	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,40	4,30	0,00	111,0000	6,90	0,22	102,74	110,78	0,24	1,04	2410000,00	933,64	0,00																					
PROMEDIO	35,00	10,34	9,14	0,01	3,28	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,0000		5,86	0,00	111,0000	4,66	0,29	104,49	110,71	194,45																									
Total																																						2164,73		2164729000,00	1096488,40	0,00			
Total (m3)																																											1096488,40	0,00	
Total (m3/s)																																											0,42	0,00	
DICIEMBRE																																													
COEF. ESC. PARCIAL (CEI)	CN	PREC. MEDIA MENSUAL Pmedia (mm)	PREC. CORREGIDA Pprom *APR Pc(mm)	PREC. CORR Pc (m)	PREC. PROM. DE ESC. (mm)	PREC. PROM. DE ESC (m)	PREC 75 % DE PROB P75% (mm)	PREC. 75% PROB. CORR P75%*APR Pc75%(mm)	PREC. 75% PROB. CORR Pc75%(m)	PREC 75% DE ESC. (mm)	PREC 75% DE ESC. (m)	PREC INFILTRAS	PREC. NFLTRAS (mm)	PREC. 75% INFILTRAS (mm)	Eto (mm/mes)	Pe (mm)	Pe 75% (mm)	DEFICIT (mm)	DEFICIT (mm) 75% de Provavilida	ÁREA (Km2)	ARF	ÁREA (m2)	VOL. ESC. (m3)	VOLESC. AL 75% (m3)																					
0,00					0,00		9,50	8,61												25,75	0,91	25750000,00	0,00	0,00																					
0,10	10,00	28,00	24,65	0,02	2,47	0,00	9,50	8,36	0,0084	0,84	0,0008	0,90	22,19	7,53	114,7000	9,64	0,59	96,87	114,11	62,15	0,88	62147000,00	15319,55	5198,08																					
0,15	15,00	28,00	22,81	0,02	3,42	0,00	9,50	7,74	0,0077	1,16	0,0012	0,85	19,39	6,58	114,7000	9,35	0,64	98,19	114,06	600,81	0,81	6008090000,00	308368,80	104632,69																					
0,20	20,00	28,00	22,55	0,02	4,51	0,00	9,50	7,65	0,0077	1,53	0,0015	0,80	18,04	6,12	114,7000	9,70	0,74	98,34	113,96	828,26	0,81	8282640000,00	747131,27	253509,29																					
0,25	25,00	28,00	23,77	0,02	5,94	0,01	9,50	8,07	0,0081	2,02	0,0020	0,75	17,83	6,05	114,7000	10,73	0,91	97,39	113,79	184,06	0,85	1840570000,00	273443,94	92782,33																					
0,30	30,00	28,00	23,94	0,02	7,18	0,01	9,50	8,12	0,0081	2,44	0,0024	0,70	16,76	5,69	114,7000	11,35	1,06	97,16	113,64	149,46	0,86	1494610000,00	322017,24	109263,75																					
0,35	35,00	28,00	24,43	0,02	8,55	0,01	9,50	8,29	0,0083	2,90	0,0029	0,65	15,88	5,39	114,7000	12,16	1,25	96,67	113,45	81,70	0,87	817010000,00	244491,96	82958,63																					
0,40	40,00	28,00	24,14	0,02	9,66	0,01	9,50	8,19	0,0082	3,28	0,0033	0,60	14,49	4,92	114,7000	12,63	1,42	96,72	113,28	116,12	0,86	1161230000,00	448582,97	152208,80																					
0,45	45,00	28,00	24,30	0,02	10,93	0,01	9,50	8,24	0,0082	3,71	0,0037	0,55	13,36	4,53	114,7000	13,37	1,64	96,40	113,06	96,12	0,87	961210000,00	472928,68	160469,55																					
0,50	50,00	28,00	25,74	0,03	12,87	0,01	9,50	8,73	0,0087	4,37	0,0044	0,50	12,87	4,37	114,7000	14,89	1,99	95,06	112,71	16,27	0,92	162690000,00	104678,54	35518,50																					
0,55	55,00	28,00	26,92	0,03	14,81	0,01	9,50	9,13	0,0091	5,02	0,0050	0,45	12,11	4,11	114,7000	16,39	2,39	93,84	112,31	3,79	0,96	37860000,00	30829,14	10460,64																					
0,60	60,00	28,00	29,15	0,03	17,49	0,02	9,50	9,89	0,0099	5,93	0,0059	0,40	11,66	3,96	114,7000	18,69	2,97	91,70	111,73	0,24	1,04	2410000,00	2529,18	858,18																					
PROMEDIO	35,00	28,00	24,76	0,02	8,15	0,01	9,50	8,40	0,0084	3,02	0,0030		15,87	5,38	114,7000	12,63	1,42	96,21	113,28	194,45																									
Total																																								2164,73		2164729000,00	2970321,27	1007860,44	
Total (m3)																																												2970321,27	1007860,44
Total (m3/s)																																												1,11	0,38
COE. ESC= Coeficiente de escurrimiento ARF = Coeficiente reductor de área P.P = Precipitación promedio mensual P.75 % = Precipitación al 75% de probabilidad VOL. ESC.=Volumen escurrido																																													

## **A N E X O II: METODOLOGIAS EMPLEADAS**

---

**Método N° 1.**-Clases Mayores de Cobertura.

**Método N° 2.**-Ordenamiento Jerárquico de los Criterios Seleccionados para la  
Clasificación de la Cobertura Vegetada.

**Método N° 3.**-Parámetros para la Clasificación de Suelos por su Aptitud para el Riego.

**Método N° 4.**-Clasificación de suelos, según el grupo hidrológico de suelos del SCS

**Método N° 5.**-Tabla para la obtención del Número de Curva par condiciones medias  
de humedad

**Método N° 6.**-Parámetros para la Clasificación de Suelos por su Aptitud para el Riego

**Método 1. Clases Mayores de Cobertura.**

CUADRO 1

**Clases Mayores de cobertura con sus correspondientes fisionomías estructurales**

CLASES MAYORES	SUB CLASES	
1.- Vegetación terrestre natural y seminatural	Arboles Arbustos Herbáceas Dispersa	Bosque denso Bosque ralo Matorrales Matorrales Enanos Pastizales amacollados Pastizales cespitosos Forbias Arbustos dispersos Herbáceas dispersas
2.- Vegetación cultivada	Modalidades de cultivo	Cultivos en rotación Cultivos plurianuales Plantaciones forestales
3.- Vegetación acuática natural y seminatural	Formas Vegetativas	Herbáceas arraigadas Herbáceas flotantes
5.- Superficie artificial y áreas asociadas	Aspectos y forma exterior	Edificaciones Infraestructura de comunicación
6.- Superficie descubierta	Aspecto Superficial	Áreas estables Áreas inestables
7 y 8.- Cuerpos de agua y nieve natural y artificial	Apariencia y forma Exterior	Cuerpos de agua natural Cuerpos de agua artificial Campos de nieve natural



CUADRO 3

**ORDENAMIENTO JERARQUICO DE LOS CRITERIOS  
SELECCIONADOS PARA LA CLASIFICACION DE LA  
COBERTURA NO VEGETADA**

	CLASE	SUB CLASE	GRUPO	TIPO
<b>CLASE SUPERFICIE ARTIFICIAL Y AREAS ASOCIADAS</b>	4			
<b>SUBCLASE (ASPECTO EXTERNO Y FORMA)</b>				
Edificaciones		1		
Construcciones		2		
Sitios de extracción		3		
Depósitos		4		
Sitios históricos		5		
<b>GRUPO (VARIEDAD)</b>				
Ciudades			1	
Pueblos			2	
Comunicaciones			3	
Minas a cielo abierto			4	
Pozos Petrolíferos			5	
Canteras			6	
Rellenos			7	
Monumentos Arqueológicos			8	
Monumentos Paleontológicos			9	
<b>CLASE SUPERFICIE DESCUBIERTA (ERIAL)</b>	5			
<b>SUBCLASE (ASPECTO SUPERFICIAL)</b>				
Superficie Estable		1		
Superficie Inestable		2		
<b>GRUPO (VARIEDAD)</b>				
Afloramientos Rocosos			1	
Salares			2	
Depósitos de arena			3	
Depósitos de grava			4	
Cantos rodados			5	
Evaporitas			6	
Cieno			7	
Cárcavas			8	
Deslizamientos			9	
<b>CLASE CUERPOS DE AGUA Y NIEVE NATURAL Y ARTIFICIAL</b>	6			
<b>SUBCLASE (APARIENCIA Y FORMA EXTERNA)</b>				
Lagos y lagunas		1		2
Ríos		2		
Campos de nieve		3		
Represas		4		
<b>GRUPO (PERSISTENCIA Y DURACIÓN )</b>				
Permanente			1	
Temporal			2	
<b>TIPO (CALIDAD Y ORIGEN)</b>				
Glacial o neveros				1
Fluvial o escurrimiento				2
Artesiano o manantial				3

MEMORIA EXPLICATIVA

**Método 3.** Parámetros para la Clasificación de Suelos por su Aptitud para el Riego.

**CUADRO Nro 2 : PARAMETROS PARA LA CLASIFICACION DE SUELOS POR SU APTITUD PARA EL RIEGO**

CARACTERISTICAS DE LA TIERRA	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3	CLASE 4	CLASE 5 Y 6
	APTA	MODERADAMENTE APTA	POBREMENTE APTA	MUY POBREMENTE APTA	NO APTAS
TEXTURA DEL SUELO (20-30 cm. de profundidad)	Media	Moderadamente fina	Fina moderadamente gruesa	Muy fina Muy gruesa	Suelos con m s de 95% de arena grava y piedra
PROFUNDIDAD EFECTIVA (cm.) (A materiales permeables arena, ripio, grava, etc.)	Muy profundo a profundo > 150-90	Moderadamente profundo 90-50	Delgado 50-30	Muy delgado 30-20	Extremadamente delgado 20
A materiales semipermeables (claypan, fragipan, etc.)	> 150-120	120-80	80-60	60-40	40
A materiales impermeables (Harpans, materiales rocoso, etc)	> 150	150-20	120-90	90-60	60
CAPACIDAD DE RETENCION DE HUMEDAD	Buena (no secante)	Regular (Mod. secante)	Pobre (secante)	Muy pobre (secante)	Extremadamente pobre
Humedad aprovechable (en cm. de agua x dm. de suelo)	> 1.35	1.34-1.09	1.09-0.85	0.50	
Humedad aprovechable a 1.50 mts. de profundidad.	> 20.0	20.0-16.5	16.5-12.6	12.5-7.5	7.0
Normalmente aplicable a texturas	Media, Moderadamente fina, muy fina.	Moderadamente gruesa Media	Gruesa Muy gruesa	Gruesa, muy gruesa	Muy gruesa, grava piedra
PERMEABILIDAD (Expresado en cm/hora)	Moderada 2.0-6.25	Mod. lenta 0.5-2.0 Mod. rápida 6.25-1.25	Lenta 0.12-0.50 Rápida 12.50-25.0	Muy lento 0.12-0.25 Muy rápida 25.0-8.0	0.12 >38.0
Normalmente aplicable a texturas	Media	Moderadamente fina Moderadamente gruesa	Fina Gruesa	Muy fina Muy gruesa	

CARACTERISTICAS DE LA TIERRA	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3	CLASE 4	CLASE 5 Y 6
	APTA	MODERADAMENTE APTA	POBREMENTE APTA	MUY POBREMENTE APTA	NO APTAS
DRENAJE INTERNO	Medio (suelo saturado por pocos días 2-3 días)	Medio (id.anterior)	Lento (suelo saturado 3-5 días) Rápido (suelo saturado pocas horas)	medio lento (suelo saturado por 1 semana-10 días) Muy rápido (el suelo nunca está saturado)	Extremadamente lento (suelo saturado por semanas o meses)
NIVEL FREATICO (cm)	Profundo 150	Moderadamente profundo 150 - 120	Delgado 120 - 90	Muy delgado 90 - 60	Extremadamente delgado 60
INUNDACION	Inundación ocasional (3-5 años) No limitante	Inundación ocasional (3-5 años) No limitante	Inundación ocasional (3-5 años) No limitante	Inundación frecuente (1-3 años) Dañina	Inundación muy frecuente destructiva.
FERTILIDAD (Apreciación general de todas las características y reserva de minerales meteorizables)	Moderadamente alta o alta	Moderada	Baja	Muy baja	
SALINIDAD (CE en micromhos/cm por encima o por debajo de los 60 cm.)	No salino (0-400)	Ligeramente salino (400-800)	Moderadamente salinos (800-1200)	Severamente salinos (1200-1600)	Extremadamente salinos > 1600
Alcalinidad (%de PSI)	No alcalino 15 pH> 8.15)	Ligeramente alcalino 15-20 pH 8.5	Mod. alcalino 20-40 pH 9.0	Severamente alcalino 40-60 pH 9.0	Extremadamente alcalino 4.5
ACIDEZ	Ligeramente ácido pH 6.5-6.1	Moderad. ácido pH 6.0-5.6	Fuertemente ácido pH 5.5 - 5.1	Muy fuerte ácido pH 5.0-4.5	Extrem. ácido 4.5
CONTENIDO DE CO <sub>3</sub> Ca (% de carbonatos)	Ninguna limitación (1-15)	Cultivos ligeramente tolerante	Cultivos mod. tolerantes	Cultivos muy tolerantes	Para cultivos especiales
TOPOGRAFIA Pendiente (%)	Plano o casi plano 0-1	Suave 1-3	Moderada 3-5	Fuerte 5-10	Extremadamente fuerte > 10

**Método 4.** Tabla para la obtención del Número de Curva par condiciones medias de humedad.

GENERACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA CON GIS

Tabla 1. Número de curva para condiciones medias de humedad

USO DE LA TIERRA	PENDIENTE	A	B	C	D
Barbecho R	>= 3	77	68	89	93
Barbecho N	>= 3	74	82	86	89
Barbecho R/N	< 3	71	78	82	86
Cultivos en hilera R	>= 3	69	79	86	89
Cultivos en hilera N	>= 3	67	76	82	86
Cultivos en hilera R/N	< 3	64	73	78	82
Cereales de invierno R	>= 3	63	75	83	86
Cereales de invierno N	>= 3	61	73	81	83
Cereales de invierno R/N	< 3	59	70	78	81
Rotación de cultivos pobres R	>= 3	66	77	85	89
Rotación de cultivos pobres N	>= 3	64	75	82	86
Rotación de cultivos pobres R/N	< 3	63	73	79	83
Rotación de cultivos densos R	>= 3	58	71	81	85
Rotación de cultivos densos N	>= 3	54	69	78	82
Rotación de cultivos densos R/N	< 3	52	67	76	79
Pradera pobre	>= 3	68	78	86	89
Pradera media	>= 3	49	69	78	85
Pradera buena	>= 3	42	60	74	79
Pradera muy buena	>= 3	39	55	69	77
Pradera pobre	< 3	46	67	81	88
Pradera media	< 3	39	59	75	83
Pradera buena	< 3	29	48	69	78
Pradera muy buena	< 3	17	33	67	76
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal pobre	>= 3	45	66	77	83
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal media	>= 3	39	60	73	78
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal buena	>= 3	33	54	69	77
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal pobre	< 3	40	60	73	78
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal media	< 3	35	54	69	77
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal buena	< 3	25	50	67	76
Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) muy clara		56	75	86	91
Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) clara		46	68	78	83
Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) media		40	60	69	76
Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) espesa		36	52	62	69
Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) muy espesa		29	44	54	60
Rocas permeables	>= 3	94	94	94	94
Rocas permeables	< 3	91	91	91	91
Rocas impermeables	>= 3	96	96	96	96
Rocas impermeables	< 3	93	93	93	93

## Método 5. Clasificación de suelos, según el grupo hidrológico de suelos del SCS.

### GENERACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA CON GIS

El mapa de pendientes resultante puede obtenerse tanto en forma de porcentaje como en grados. En este último caso deberá reconvertirse a porcentajes.

Una vez obtenido este mapa, se ha de reclasificar en dos grupos: celdas con pendiente menor del 3 % y mayor o igual al 3 %. En la mayoría de los SIG esta operación puede hacerse fácilmente a través de las tablas de reclasificación. La estructura de dichas tablas variará según el SIG, aunque en esencia responden a un formato tal como el que se muestra a continuación:

0 hasta 2	1	Pendientes menores de 3%
3 hasta 1000	2	Pendientes iguales o mayores del 3%

Aplicando esta tabla se genera un nuevo mapa que tiene las siguientes categorías: 1 en todas aquellas celdas del mapa de pendientes inicial en las que la pendiente era menor del 3% ; 2 para aquellas celdas que tenían una pendiente igual o mayor al 3%; y 0, que significa que está fuera del área de análisis.

### Características hidrológicas

La siguiente variable que se utiliza para la obtención del número de curva mediante las tablas propuestas por Temez (1978) es la característica hidrológica. Dicho autor la hace equivalente a la forma de cultivar la tierra. Se divide en dos grupos:

N, el cultivo sigue las curvas de nivel, y  
R, el cultivo sigue la línea de máxima pendiente

Los valores del número de curva asociados a cada tipo no se diferencian mucho, por lo que en muchos casos se considera que toda el área de estudio tiende a cultivarse de una misma manera, a no ser que se tengan datos específicos.

### Mapa de tipos de suelo

Otra variable necesaria para determinar el número de curva es el mapa de tipos de suelo. Este mapa debe estar clasificado en los cuatro grupos que establece el SCS:

- A. En ellos el agua se infiltra rápidamente, aun cuando estén muy húmedos. Profundos y de texturas gruesas (arenosas o areno-limosas), están excesivamente drenados.
- B. Cuando están muy húmedos tienen una capacidad de infiltración moderada. La profundidad de suelo es de media a profunda y su textura es franco-arenosa, franca, franco-arcillosa o franco-limosa. Están bien o moderadamente drenados.

- C. Cuando están muy húmedos la infiltración es lenta. La profundidad de suelo es inferior a la media y su textura es franco-arcillosa, franco-arcillo-limosa o arcillo-arenosa. Son suelos imperfectamente drenados.
- D. Cuando están muy húmedos la infiltración es muy lenta. Tienen horizontes de arcilla en la superficie o próximos a ella y están pobremente o muy pobremente drenados. También se incluyen aquí los terrenos con nivel freático permanentemente alto y suelos de poco espesor (litosuelos).

Una forma de determinar a qué grupo pertenece cada suelo es a través de las publicaciones del M.O.P.T. (1992) y Porta et al. (1994), en las cuales se presentan unas tablas siguiendo la clasificación del Soil Taxonomy y de la FAO, respectivamente. En ellas se describen, además de características del entorno que ayudan a determinar con más exactitud el tipo de suelo en estudio (vegetación, clima, productividad agrícola, etc.), el tipo de drenaje que tienen los diferentes suelos. Acordé con esta característica se clasifica el suelo en las clases y descripciones A, B, C o D.

Esta capa de información se puede generar, básicamente, de dos formas: digitalizando el mapa de acuerdo a las unidades A, B, C y D, o, si ya se dispone de un mapa general de tipos de suelo en el SIG, se reclasifica el mapa mediante una tabla similar a la descrita para el mapa de pendientes.

### Mapas de usos del suelo

Aunque cada vez más se generan mapas de usos del suelo a partir de imágenes de satélite, en muchos estudios la fuente de información de esta variable sigue siendo el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos del área. Es por ello por lo que a continuación se propone una tabla de equivalencia entre los usos del suelo que aparecen en la leyenda de dicho mapa y los usos del suelo propuestos por el SCS para determinar el número de curva. Para introducir la información final en el SIG, al igual que con los tipos de suelo, o bien se digitaliza directamente el mapa con los usos del suelo del SCS, o bien se reclasifica el mapa de Cultivos y Aprovechamientos ya introducido en el SIG

### Equivalencia entre tablas de usos de suelo

Los mapas de Cultivos y Aprovechamientos de España publicados por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) se encuentran a escala 1:1.000.000, 1:200.000 y 1:50.000. El mapa a escala 1:1.000.000 utiliza una leyenda que incluye los diversos usos de suelo que se describen en los mapas de las otras dos escalas, por lo que se ha seleccionado la leyenda de este mapa para correlacionar los usos del suelo del