



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES**



**FACULTAD DE TECNOLOGIA – CARRERA DE TOPOGRAFIA Y GEODESIA**

**Centro de Investigaciones y Aplicaciones Geomáticas - CIAG**

**RESTAURACION HIDROLOGICA Y FORESTAL COMO MEDIDA  
CORRECTORA DE LA TORRENCIALIDAD DE LA CUENCA TAQUIÑA  
COCHABAMBA – BOLIVIA**

**(Aplicaciones SIG – simulaciones hidrológicas)**

**DOCUMENTO DE INVESTIGACION**

**Autor: José Luis Delgado Álvarez**

**Joselo7191@gmail.com**

**INVESTIGADOR - CIAG**

**Octubre – 2013**

## INDICE

	Pág.
1. Introducción.	1
1.1 Objetivos planteados en el estudio	3
1.1.1 Objetivo general	3
1.1.2 Objetivos específicos	3
1.2 Ubicación geográfica del área de estudio	4
1.3 Antecedentes generales del área de estudio	4
2. Marco conceptual	8
2.1 Gestión territorial	8
2.1.1 Contexto del territorio: dinámica económica, social y ambiental del territorio	11
2.1.2 Cuencas hidrográficas como unidad de gestión territorial	12
2.2 Restauración hidrológica y forestal	14
2.2.1 El bosque el clima.	15
2.2.2 El bosque y el agua.	15
2.2.3 Influencia del bosque sobre la infiltración.	16
2.2.4 Influencia del bosque sobre la escorrentía.	17
2.2.5 Influencia del bosque en la Evapotranspiración (ET).	17
2.2.6 El bosque y el suelo.	18
2.3 Tecnología y herramientas de modelizaciones para la gestión territorial e hidrológica.	18
2.3.1 Sistemas de Información Geográfica (SIG), y modelización espacial	18
2.3.2 Teledetección	19
2.3.3 Modelos de simulación hidráulica e hidrológica.	20
3. Metodología de trabajo	20
3.1 Metodología de trabajo	20
3.1.1 Fases y etapas de trabajo	20
3.1.1.1 Fase 1 ( <i>Diagnóstico</i> )	20
3.1.1.1.1 Delimitación de la cuenca como unidad de gestión territorial	20
3.1.1.1.2 Morfometría	22
3.1.1.1.3 Caracterización biofísica	23
3.1.1.1.4 Definición del uso actual de la tierra	25
3.1.1.1.5 Caracterización de los suelos y su capacidad de uso mayor	26
3.1.1.1.6 Caracterización hidrológica y definición de lluvia de proyecto para periodos de retorno de 20 y 50 años	27
3.1.1.1.7 Determinación del Número de Curva para el estado actual, el estado con restauración hidrológica forestal, y un estado de mayor deterioro de la cuenca	31
3.2.1 Fase 2. ( <i>Propuestas y Evaluaciones</i> )	33
3.2.1.1 Propuesta de uso de la tierra como efecto de la restauración hidrológico y forestal	34
3.2.1.2 Evaluaciones mediante simulaciones hidrológicas con el modelo HECHMS, sobre volúmenes y caudales para el estado actual y el estado con	36

medidas de restauración.

4. Resultados.	37
4.1 Hidrología superficial	37
4.2 Resultados de la modelizaciones hidrológicas de superficie	38
4.2.1 Evaluaciones de los caudales de las simulaciones, en los estados actuales y el estado con cuenca restaurada hidrológica forestalmente y estado deteriorado	41
4.3 Evaluación de riesgos potenciales de erosión.	44
5. Conclusiones y recomendaciones generales	45
5.1 Conclusiones.	45
5.2 Recomendaciones.	46
6 Bibliografía.	47

### ***Índice de figuras.***

	<b><i>Pág.</i></b>
Figura 1. Ubicación del área de estudio (fondo imagen satelital Google)	4
Figura 2. Delimitación de la Cuenca Taquiña (Fuente: elaboración propia)	21
Figura 3. Rangos de pendientes de la cuenca Taquiña (Fuente: elaboración propia)	22
Figura 4. Curva hipsométrica de la cuenca Taquiña (Fuente: elaboración propia)	23
Figura 5. Cobertura de uso actual de la tierra en la cuenca Taquiña	26
Figura 6. Cobertura Geomorfológica y de grupos hidrológicos de suelos	27
Figura 7. Curvas IDF para las estaciones metereológicas de la cuenca Taquiña (Fuente LHUMSS – 2006)	28
Figura 8. Pluviogramas con las tres lluvias de proyecto a utilizarse en el presente trabajo	31
Figura 9. Propuesta de uso de la tierra como medida de Restauración Hidrológico y Forestal (RHF)	36
Figura 10. Especificaciones para las simulaciones hidrológicas con HEC - HMS	38
Figura 11, caudales picos a las tres variantes de la cuenca y las tres variantes de precipitación de proyecto (Tr 20 años).	39
Figura 12, Resultados de caudales picos para TR 20 años, con las tres variantes de estado de cuenca y tres variantes de precipitación de proyecto.	39
Figura 13, caudales picos a las tres variantes de la cuenca y las tres variantes de precipitación de proyecto (Tr 50 años).	40
Figura 14, Resultados de caudales picos para TR 50 años, con las tres variantes de estado de cuenca y tres variantes de precipitación de proyecto.	41
Figura 15. Resultados de diagramas para lluvia, pérdidas y e hidrogramas para TR 20 años	42
Figura 16, relaciones de volúmenes de agua que ingresan y se evacuan de la cuenca en sus tres estados de manejo.	43
Figura 17. Resultados de diagramas para lluvia, pérdidas y e hidrogramas para TR 50 años	43
Figura 18. Cobertura de riesgo potencial de erosión hídrica de suelos.	45

## ***Índice de cuadros***

	Pág.
Cuadro 1. Estaciones metereológicas dentro la cuenca Taquiña.	24
Cuadro 2. Lluvia de proyecto por el método de bloques alternos, ponderado por la ocupación porcentual de cada estación metereológicas	29
Cuadro 3. Resumen de las tres lluvias de proyecto a utilizarse en el presente trabajo.	30
Cuadro 4. Determinación del NC para la cuenca Taquiña.	33

# RESTAURACION HIDROLOGICA Y FORESTAL COMO MEDIDA CORRECTORA DE LA TORRENCIALIDAD DE LA CUENCA TAQUIÑA, COCHABAMBA – BOLIVIA

José Luis Delgado A.  
Investigador – CIAG

## 1. Introducción.

La extensa y variada geografía de los más de un millón de kilómetros cuadrados con que cuenta el territorio nacional, desde los llanos amazónicos, pasando por los valles interandinos, la meseta altiplánica hasta la imponente cadena montañosa de nevados andinos, conlleva a la formación de una gran variedad de paisajes, cada uno de ellos respondiendo a condiciones edafoclimáticas y ambientales también diferentes, que condicionan de manera determinante las formaciones de hábitats tanto de flora y fauna, ofreciendo una gran biodiversidad, que lejos de ser una desventaja, más bien debe considerarse como una oportunidad para lograr el desarrollo integral de las diferentes regiones y del país.

Esta gran riqueza en formaciones de zonas ecológicas, junto a las condiciones favorables para el desarrollo de actividades principales como el agrícola, pecuario y forestal entre otros, hoy en día debería habernos llevado a momentos en que la seguridad alimentaria tendría que estar garantizada para todos los habitantes del país, y de contar además con excedentes productivos transformados en divisas para el país, como productos exportables.

Para haber logrado estas condiciones que van al logro de una mejor calidad de vida para todos los bolivianos, necesariamente se habría tenido también que trabajar de manera ordenada y responsable, respetando principios de conservación y usos sostenibles de los recursos naturales, incentivando, fomentando y planificando las actividades productivas a nivel macro, meso y micro, regulando la producción con el mercados tanto internos como externos y evitando competencias desleales como el contrabando, los acaparamientos ilícitos de tierras y los malos usos de los recursos naturales en general.

La explosión demográfica tan acelerada en la que vivimos hoy en día, evidentemente está haciendo que cada vez también sean mayores las necesidades en producir alimentos, así como las condiciones necesarias para que todos podamos vivir en condiciones mínimas; consiguientemente, estamos en el momento en que hay que repensar las cosas mirando a futuro, a través de la correcta planificación del uso de nuestros recursos naturales de manera sostenible, en armonía con el medio ambiente; caso contrario, los pronósticos de crisis alimentaria para los próximos decenios serán realidades muy difíciles de soportarlas.

Dos de los recursos naturales más importantes para el ser humano, sin lugar a duda son el suelo y el agua. El suelo como un sistema trifásico constituido de sólidos, líquidos y gases, producto de la meteorización de un material parental, bajo la acción de elementos físicos y químicos que desintegran y descomponen la roca madre en el tiempo, a través de un proceso denominado “pedogenético”, dando lugar a la formación de diferentes tipos de suelos, así en miles de años, se

habrán formado suelos, con aptitudes y capacidades productivas diferentes; siendo que la formación de un suelo ocurre en un muy largo tiempo (miles de años), deberá corresponder que el manejo de estos sean de manera racional, donde la conservación y la sostenibilidad del mismo sea prioritario. Por otra parte, el recurso agua es considerado como el elemento vital para el ser humano, siendo que la cantidad y la calidad de este, se ve reflejado de la calidad de todo el medio natural; sin agua, la vida y las actividades productivas no podrían desarrollarse ni mantenerse de manera sostenible.

En este sentido, la planificación hidrológica debe ser la base de la ordenación del territorio, puesto que el agua es el elemento de mayor importancia para las actividades humanas; por lo tanto, la ingeniería de hidrología y gestión de agua que se presenta para este estudio, es el elemento base para integrar otras ciencias y técnicas (de tipo social y económico), que permitirán conformar una visión integral de la gestión territorial, tomando en este caso como unidad de análisis la cuenca hidrográfica, entendida este como un sumidero de agua, donde la facilidad de medir entre todo lo que entra y sale especialmente en términos hidrológicos, facilitan el estudio, y la propuesta de modelos de gestión, para la restauración hidrológico y forestal, la producción y consecuentemente la mitigación de los cambios climáticos.

En el último decenio, se siente de manera creciente la necesidad de provisión de elementos vitales como el agua (cada día mas escaso), primordial para el desarrollo de las regiones, se trata entonces de realizar estudios de disponibilidades y demandas de este recurso, y ver las opciones de poder garantizar la provisión de este líquido elemento en los momentos y cantidades requeridas, como también las propuestas para evitar situaciones de riesgos causados por escorrentías e inundaciones; así como todas las implicancias sociales y económicas que estos conllevan.

En regiones como la zona de estudio calificada como “tórrida a ústica”, con precipitaciones estacionales de verano del orden de los 540 mm aproximadamente concentrada en cuatro meses, ocurre que existen eventos pluviométricos de intensidades medias a altas, donde por las condiciones inadecuadas de usos y cobertura de la tierra, hace que un gran porcentaje de esta lluvia se constituya en escurrimiento superficial, con un importante arrastre de sedimentos sólidos como efecto de la erosión de suelos.

Ante estas condiciones, este trabajo plantea formular un estudio que evalúe el comportamiento hidrológico de la Cuenca Taquiña para un evento pluviométrico con intensidad máxima para un periodo de retorno de 20 y 50 años, bajo las condiciones actuales de uso y manejo de suelos, y otra en las que se propone cambios drásticos en el uso de la tierra, como efecto de medidas de restauración hidrológico y forestal en la cuenca objeto de este estudio. Se plantea la restauración como un elemento que permita la mayor infiltración y retención de agua en el suelo para un evento pluviométrico, en desmedro del escurrimiento superficial, lo que vendría a constituir una cosecha de agua.

Ahora bien, porque elegir la cuenca Taquiña, por la razón de que por su ubicación geográfica presenta una morfología donde la presencia de valles y mesetas interandinos, hacen de esta

región una zona con altos potenciales de producción agrícola, pecuaria y forestal; por otra parte, esta es una cuenca cabecera del valle de Cochabamba (una de la mayores y mas pobladas ciudades de Bolivia), constituyendo una zona de recarga de acuíferos, un pulmón natural, y una fuente potencial de producción de alimentos; características que por la mala gestión de esta cuenca, lejos de prestar estos servicios benéficos de manera efectiva, es un problema por el arrastre y deposición de sedimentos en la ciudad de Cochabamba, el empobrecimiento de la capacidad productiva de sus tierras por efecto de procesos de erosión y el desbordes e inundaciones causado por la torrencialidad de su río principal en la parte baja de la cuenca.

Finalmente, hay que remarcar que uno de los mayores problemas con que actualmente tiene que lidiar la ciudad de Cochabamba (ubicada en los deltas y el valle aguas abajo de la desembocadura de todas las cuenca de la Cordillera del Tunari – Ver figura 1), es que lluvias con duraciones mayores a los 50 minutos y de intensidades medias, causa grandes problemas aguas abajo por el gran arrastre de sedimentos (las calles de la región de los deltas quedan con grandes cantidades de sedimentos de porte medio y grueso), que causa taponamiento en los desagües e inundaciones en consecuencia.

## **1.1 Objetivos planteados en el estudio**

### **1.1.1 Objetivo general**

Proponer un modelo de gestión de tierras para la cuenca Taquiña, como medida de restauración hidrológica y forestal, para la corrección de la torrencialidad de la misma.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Desarrollar modelos digitales biofísicos y morfométricos para la cuenca Taquiña.
- Definir eventos pluviométricos con intensidades máximas para periodos de retorno de 20 y 50 años.
- Definir el uso actual y tipos de suelos para el área de estudio.
- Proponer un modelo de uso de la tierra como medida para la restauración hidrológico y forestal de la cuenca de estudio
- Evaluar y comparar el comportamiento hidrológico de la cuenca para los eventos pluviométricos definidos, con relación a los usos de tierra actual y el propuesto en la restauración hidrológico y forestal.

En este sentido, este trabajo presentará evaluaciones de escurrimientos para lluvias de intensidades máximas para periodos de retorno de 20 y 50 años, con las siguientes variables:

- i) Se evaluará el escurrimiento en función del uso actual de la tierra y sus características de suelo
- ii) Se evaluara el escurrimiento en función a un estado total de deterioro de uso de tierras que podría darse en la cuenca, como efecto del uso irracional que podría darse en el futuro como efecto antrópico dañino.

- iii) Se evaluará el escurrimiento en función a un estado de ordenamiento y gestión de cuenca como medida para la restauración hidrológica y forestal, a través de una propuesta de uso de la tierra.
- iv) Para estos tres casos, se evaluará con precipitaciones de intensidades máximas para periodos de retorno de 20 y 50 años. Además también de incluir en este análisis, una suposición de que pudiese darse un incremento de un 10% en el pluviograma para los Tr de 20 y 50 años.
- v) Finalmente, para la condición de uso de la tierra con restauración hidrológica y forestal (punto iii), asumiremos una variante de retención de precipitación por parte de la vegetación, misma que producirá una modificación en el histograma de las lluvias de proyecto con las que se trabajaran.

## 1.2 Ubicación geográfica del área de estudio

Ubicada en la cordillera del Tunari, vertiente norte del valle central de la ciudad de Cochabamba, la cuenca Taquiña tiene un área de 1949,49 hectáreas y un perímetro de 22.21 kilómetros; Constituyéndose en un área geográfica muy importante para la ciudad de Cochabamba, considerada como una fuente de recarga de los acuíferos, un pulmón natural y un área de producción de alimentos importante para la ciudad de Cochabamba. (Ver figura 1).

Geográficamente corresponde al Departamento de Cochabamba, Provincia Cercado y Municipio de Cochabamba, con un rango altitudinal que va desde los 2932 hasta los 4545 msnm, hace que en esta se presenten condiciones fisiográficas y climáticas variadas, que hacen de su potencial productivo también variado.

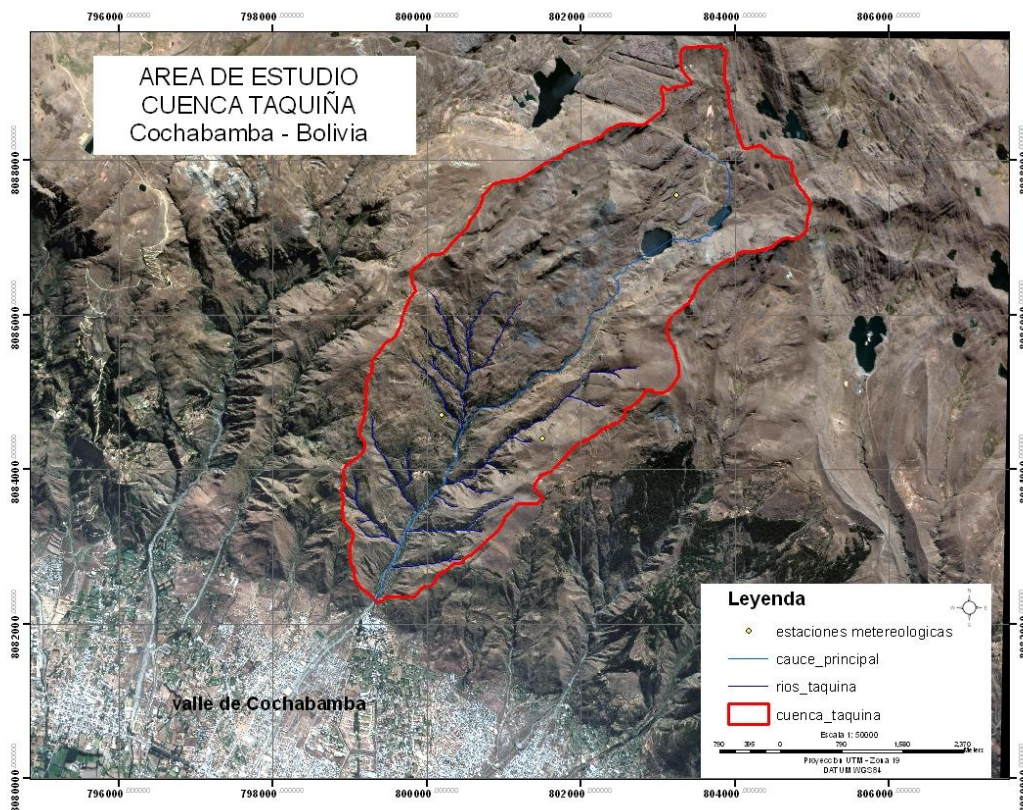


Figura 1. Ubicación del área de estudio (fondo imagen satelital Google).



### **1.3 Antecedentes generales del área de estudio**

Como ya se mencionó líneas arriba, la cuenca Taquiña pertenece al Parque Nacional Tunari, es un área que cuenta con una población importante dedicada a la agropecuaria temporal, y que ocupa un 0.5% del área total del Parque Nacional. (Promic 1996)

#### **Creación**

Fue declarado Parque Nacional por DS 6045 del 30-03-1962, Ley 253 del 04-11-1963 y DS 15872 del 06-08-1978. Se ampliaron sus límites mediante Ley 1262 del 13-09-1991, se encuentra entre las coordenadas geográficas (65°55' – 66°44' Longitud Oeste, 16°55' – 17°34' Latitud Sur). Tiene una superficie de 326366.6 hectáreas

#### **Clima**

El clima es templado (mesotérmico) en las laderas con temperaturas promedio de 12 °C, una máxima de 22 °C y una mínima de -5 °C, con niveles de precipitación anual inferiores a los 600 mm, típicos de la región de Valles Secos Interandinos. En la zona montañosa alta, el clima es frígido y húmedo con una temperatura promedio de 6.5 °C, con precipitación anual promedio de 1.200 mm aproximadamente.

#### **Altitud**

El rango altitudinal oscila entre los 2.200 y 4.400 msnm (2932 a 4545 para la cuenca Taquiña). El Parque ocupa la región de Valles Secos Mesotérmicos y la Cordillera del Tunari, comprendiendo un ecosistema con diversidad de zonas de vida. La región presenta las características propias de zonas cordilleranas y valles interandinos, con un sistema de cuencas que abastecen de agua a las tierras agrícolas y a la ciudad de Cochabamba.

#### **Hidrografía y recursos hídricos**

El agua fluye por las cuencas y microcuencas de la Cordillera formando dos vertientes principales: la vertiente Norte cuyas aguas aportan a dos sistemas hidrográficos de la gran cuenca del río Amazonas que son los ríos Beni al Noroeste y el río Mamoré al Noreste a través del río Chapare; y la vertiente Sur conformada por las micro cuencas de la ladera Sur del Parque, que aportan sus aguas a la cuenca del río Rocha y a los depósitos subterráneos de los valles por infiltración, siendo que la cuenca Taquiña pertenece a esta última.

Los recursos hídricos y las zonas de infiltración de acuíferos del Parque permiten la generación de condiciones de vida para los habitantes del Área y de sus inmediaciones, mismos que al complementarse con las masas vegetales existentes, equilibra el clima y el medio ambiente del sistema de valles central y bajo de la región.

#### **Flora**

Corresponde a las subregiones biogeográficas Altoandinas y de Puna, así como a los Valles Secos Interandinos.

En el conjunto de la Cordillera del Tunari se presentan dos zonas fitogeográficas, mismas que se manifiestan en la cuenca Taquiña también:

- La región de las laderas que corresponde a los valles y las montañas semiáridas de la cadena montañosa. La vegetación de la primera zona se caracteriza por un estrato arbóreo xerofítico, con las siguientes especies: el molle (*Schinus molle*), Chirimolle (*Fagara coco*), el algarrobo (*Prosopis juliflora*), el Lloke (*Kageneckia lanceolata*), la Chacotea (*Dodonaea viscosa*) el k'inhi (*Acacia macracantha*), el aliso (*Alnus acuminata*), la kishuara (*Buddleja hypoleuca*) y la thola (*Baccharis dracunculifolia*).
- La región de montaña comprende tierras del piso Altoandino Semihúmedo, caracterizado por pajonales de ladera y cinturones de árboles y arbustos en las áreas más bajas. Las especies más representativas son la kewiña (*Polylepis besseri*) y la kishuara de puna (*Buddleja coriacea*). Entre los bosquesillos de kewiña, destaca la subespecie (*Polylepis besseri subtusalbida*), exclusiva de la Cordillera del Tunari.

Por otra parte, en la ladera Sur del Área existen algunas áreas con bosques implantados de pinos y eucaliptos, trabajo de forestación realizado tanto para estabilizar las pendientes y zonas de torrenteras, como para mantener el equilibrio ambiental de los valles.

### **Fauna**

Se han registrado 30 especies de mamíferos, 163 especies de aves, dos especies de reptiles y dos de anfibios. En los bosques de kewiña (*Polylepis spp.*) del área se registraron cuatro aves endémicas: *Oreotrochilus adela*, *Aglaeactis pamela*, *Asthenes heterura* y *Compsospiza garleppi*. Esta última especie se halla en peligro de extinción. También habitan las especies *Sicalis luteocephala*, *Saltator rufiventris*, *Oreomanes fraseri*, *Diglossa carbonaria*, que son vulnerables, y *Leptastenura yanacensis* que tiene una alta prioridad para la investigación y conservación.

### **Turismo**

Actualmente se explotan tres áreas turísticas, de gran importancia para la población local principalmente, estas son: (de manera general para el Parque Nacional Tunari)

- El área recreacional que existe en el km 10 de la masa boscosa ubicada la norte de la ciudad de Cochabamba, cuyo acceso se la realiza a partir de la oficina central del mismo. Esta área cuenta además con tres cabañas, cerca de 10 km de senderos ecológicos y dos cascadas, además del atractivo que representan los bosques de pino, eucalipto y principalmente de Kehuiña.
- Las cabañas de Cruzan, ubicadas a 15 de la ciudad de Cochabamba en el Municipio de Tiquipaya, cuenta con 3 senderos ecológicos cada uno con características particulares y un paseo a través de los sistemas agrícolas ancestrales de la comunidad.
- Las aguas termales de Liriuni, ubicadas a 20 km de la ciudad de Cochabamba en el Municipio de Quillacollo. Se pueden ir a través de dos carreteras; la primera es hacia Quillacollo por la Carretera principal, la segunda y última es hacia Tiquipaya desde Cruce Taquiña.

Para el área específica de la cuenca Taquiña, no existe actividad alguna para este rubro, sin que eso signifique que no exista el potencial.

### **Población en el área y su Zona de amortiguación externa**

Existen aproximadamente 100 comunidades campesinas, tanto aymaras y quechuas organizadas en subcentrales y sindicatos, contando con una población total de alrededor de 100.000 habitantes, siendo que dentro la cuenca Taquiña existen unas cinco comunidades que son dueñas prácticamente de toda el área.

### **Población actual y Demografía**

La población actual en el Parque Nacional Tunari asciende a unas 100.000 personas aproximadamente, de las cuales cerca del 80% corresponde a gente que viven en las comunidades campesinas, el restante 20% corresponde a los habitantes de los asentamientos no regularizados ubicados en el límite sur del PNT (cota 2750).

Las comunidades campesinas desarrollan sus actividades en torno a sus centros poblados de las comunidades, por lo que gran parte del área del PNT se encuentra deshabitada.

### **Principales Estrategias de vida**

En el parque, las principales estrategias de vida de las comunidades campesinas esta alrededor del cultivo de la tierra, a través de la producción de papa, trigo, quinua, cebada, habas, arbejas principalmente y uno que otro cereal, como también el pastoreo principalmente de ovejas.

Por otro lado, las comunidades cercanas a las grandes ciudades como son las de cercado (Cochabamba) caso de la cuenca Taquiña, Sacaba y Tiquipaya, una gran parte de la población de estas comunidades se dedican a trabajos de construcción, de chóferes de taxis o micros y las mujeres se dedican a la venta de flores y verduras.

El límite sur del Parque (cota 2750), es el que actualmente tiene mayor importancia de manejo en cuanto a la zona de amortiguamiento, puesto que existen 73 asentamientos humanos no regularizados, estos asentamientos se incrementan debido a la falta de información ya que el límite de la cota no es un límite fisiográfico claramente demarcado, existiendo el riesgo inminente de incremento de asentamientos humanos en las laderas bajas de la cuenca, siendo la cuenca Taquiña una de las mayores afectadas.

### **Características sociales de la población**

La población es de origen Quechua y Aimara en las partes altas, campesino mestizo y migrantes de los centros mineros y urbanos de las ciudades de Oruro, Potosí y principalmente La Paz en la zona sur del Parque (cota 2750), para entender el efecto de los asentamientos de estos migrantes, es necesario mencionar los diversos tipos o formas de tenencia de la tierra que se presentan en el área, especialmente las adquiridas por las comunidades campesinas a partir de la Reforma Agraria (Propiedad Comunitaria Rústica y Pequeña Propiedad Rural), cuyos propietarios se dedican a la agricultura, pastoreo y/o funciones comunales.

## **Administración y recursos**

La administración del Área de la cuenca Taquiña, se realiza por la Gobernación del Departamento de Cochabamba. En la actualidad, se está procediendo a institucionalizar la gestión del PN Tunari (involucra a la cuenca Taquiña), lo que comprende la elaboración de normas, preparación de Plan de Manejo y selección del director de Área Protegida y del equipo técnico.

El Parque Nacional Tunari y la cuenca Taquiña en particular, es un área con alto valor acuífero, florístico, faunístico y ecológico de especies de la zona de valles y puna de Bolivia. El número de especies vegetales aunque no grande en número pero si significativo, para la conservación en estos ecosistemas tan deteriorados y fragmentados.

También se debe recalcar que en el área, las comunidades campesinas preservan sus usos, costumbres y servidumbres en el manejo de sus territorios comunales, contando los comunarios con capacidades, conocimiento tecnológico y bases culturales para la protección de su entorno natural. Esta estrategia de vida ha permitido la conservación de germoplasmas nativos, particularmente de tubérculos y cereales, además de la adaptación de otras especies cultivadas para el consumo humano.

## **Accesibilidad**

Por su cercanía a la ciudad de Cochabamba, el PN Tunari y la cuenca Taquiña, tiene un potencial interesante para desarrollar actividades de ecoturismo y educación ambiental.

El Área es de fácil acceso por el sector Sur, pues su límite es próximo a la carretera La Paz – Cochabamba – Santa Cruz.

La presión más fuerte sobre el Parque proviene del proceso de crecimiento de la ciudad de Cochabamba que deviene en el asentamiento de núcleos poblacionales en áreas de importancia ambiental como son las zonas de recarga de acuíferos. ([http://es.wikipedia.org/wiki/Parque Nacional Tunari](http://es.wikipedia.org/wiki/Parque_Nacional_Tunari))

## **2. Marco conceptual**

En este capítulo, se repasan algunos conceptos y la manera nuestra de ver los diferentes temas que hacen al presente trabajo.

### **2.1 Gestión territorial**

Este concepto de territorio que usamos en el presente, se refiere a un proceso de apropiación social del espacio, y corresponde a un abordaje cada vez más interdisciplinario de las experiencias de planificación y desarrollo territorial, así como a la creciente importancia de la participación ciudadana en dichos procesos.

De esta forma, la gestión territorial supone un proceso de ampliación del control, manejo y poder de decisión del uso de los recursos que existen en un determinado espacio por parte de sus actores (Rosa et al., 2003, citado por Gómez et al 2005). Por lo tanto no basta delimitar

administrativa o geográficamente un territorio, sino que es necesario también tomar en cuenta la capacidad de influir y controlar los medios, instrumentos y recursos para la toma de decisiones estratégicas sobre el uso de los recursos del espacio territorial.

Precisamente en las áreas rurales, los procesos de gestión territorial tienen dos rasgos fundamentales. Por un lado, el territorio está definido como resultado de la apropiación del espacio por parte de sus habitantes y la construcción de arreglos institucionales a escala territorial y microregional. Por otra parte, aunque esos territorios incluyen a menudo concentraciones urbanas, en su dinámica, inciden fuertemente los procesos rurales y el manejo de los recursos naturales.

En esta línea, se identifican al menos 3 elementos que constituyen un proceso de gestión territorial: **a)** Identidad territorial construida desde los habitantes del territorio, que responde a un proceso de apropiación de un espacio particular; **b)** Institucionalidad territorial endógena, que tiene la capacidad de lanzar propuestas y acciones de carácter estratégico en tanto que se plantean objetivos de mediano y largo plazo. Implica la posibilidad del control, manejo y poder de decisión sobre el uso y distribución de los recursos que existen en un determinado espacio por parte de sus actores, así como la interlocución entre los actores territoriales y las instituciones de escala regional, nacional o internacional, gubernamentales o no gubernamentales; y **c)** Instrumentos de manejo territorial y se expresan en estrategias colectivas (ordenamiento territorial, establecimiento de corredores biológicos, manejo de riesgos, estrategias productivas, ecoturismo, manejo de cuencas, conservación de suelo y agua, manejo de bosques, etc.), y acciones específicas por medio del establecimiento de normas y reglas que definen las relaciones entre los actores y la distribución y uso de los recursos.

El proceso de construcción de estos elementos no es necesariamente lineal, están mutuamente condicionados y se basa en las experiencias cotidianas de las comunidades y sus percepciones respecto de su problemática, sus recursos naturales, sus expectativas y capacidades.

El concepto de gestión territorial, permite entender los procesos que se orientan a la búsqueda permanente de soluciones para el mejoramiento de los medios de vida, en este proceso se van configurando los tres elementos: Identidad, Institucionalidad e Instrumentos, que son a su vez el producto de la combinación de la acción colectiva, el capital social disponible y el grado de acceso y control de los recursos requeridos para impulsar el desarrollo del territorio. (Gómez I et al).

En este sentido, la restauración hidrológica y forestal implica la temática de gestión territorial, ya que a través de esta se planteará medidas de asignaciones de uso de la tierra y sus recursos naturales, por lo que implantar ya estas medidas de manera efectiva, deberá contar necesariamente con la firme decisión y apoderamiento del mismo por parte de los comunarios y dueños del espacio territorial de la cuenca Taquiña.

### ***Estrategias de medios de vida – el vivir bien***

La teoría de los Medios de Vida Sostenible (vivir bien), describe los puntos principales de cómo este marco puede ayudar a la identificación de la pobreza (partiendo del supuesto que la gente en el área de estudio es pobre, cosa que no es del todo evidente).

La pobreza es entendida por diferentes elementos económicos, sociales, políticos y culturales que agudizan la impotencia, aislamiento, precario acceso al dinero, vulnerabilidad y debilidad física de los hogares. Siendo esta multifacética y compleja, cuyas causas están interrelacionadas.

Entonces para abordar la pobreza se necesita de un enfoque integral que haga énfasis en las personas y no en los recursos, servicios y/o estructuras. El éxito de la reducción de la pobreza depende de si los medios de vida de las personas han mejorado de forma sostenible y se concentra en el impacto que ejercen las políticas y las instituciones sobre los pueblos, familias y sus percepciones sobre la pobreza.

Este marco de medios de vida sostenible para el vivir bien, permite reconocer múltiples influencias sobre la vida de las personas rurales, identifica variadas estrategias en materia de medios de vida, analiza las fortalezas más que las necesidades, reconoce el potencial inherente a cada persona/comunidad y se trabaja para superar limitaciones. Da importancia de cómo los medios de vida son influenciados por las políticas y las instituciones, facilita el análisis y comprensión de los medios de vida de las poblaciones menos favorecidas. Tiene cinco componentes básicos como activos: **sociales** (redes sociales, participación), **humanos** (salud, educación, habilidades, experiencia, capacidad laboral), **físicos** (casa, equipo agrícola, carreteras, acceso a información tecnológicas), **financieros** (ahorros, ingresos, acceso a crédito, pensiones) y **naturales** (tierra, animales, cultivos, agua, pesca, bosques, frutos silvestres, biodiversidad, acceso a los recursos naturales).

Estos activos a menudo son intercambiables y ayudan a determinar las opciones y metas de medios de vida, mismos que se encuentran en un estado de constante cambio.

Las estrategias se entienden por la variedad y combinación de diferentes actividades y decisiones que los pueblos realizan para cubrir sus necesidades en diferentes momentos y alcanzar sus metas de medios de vida. Estas metas pueden ser: **económicas** (mayores ingresos), **bienestar** (autoestima, inclusión social, igualdad de género, seguridad física, empoderamiento, mantenimiento de cultura, costumbres y tradiciones), **vulnerabilidad** (mayor grado de respuesta a tendencias, choques, temporalidades y mitigaciones en general), **uso de recursos naturales** (menor degradación de recursos naturales) y **seguridad alimentaria** (asegurar una dieta adecuada para la familia).

Este marco ayuda a entender y analizar que los medios de vida y, en este caso los medios de vida rurales, tienen múltiples actividades con diversas fuentes de ingreso y combinaciones, lo que se refleja en la gran heterogeneidad de los productores rurales, con diferentes dotaciones de

recursos naturales, humanos y financieros y dispares niveles de acceso a instituciones y mercados (CEPAL, 1999 Citado por Gómez I. et al 2005).

La situación social de las familias campesinas, depende de una combinación de factores externos (política macroeconómica y agraria, situación de los mercados, precios internacionales) e internos (formas de uso de recursos, organizaciones y experiencia).

Investigaciones recientes indican que los pobres rurales están manejando los procesos externos (impactos de la globalización), para construir capacidades internas en personas y en espacios territoriales que les permiten enfrentar y responder no sólo a la globalización, sino a asegurar sus estrategias de medios de vida (Bebbington y Batterbury, 2001; Rocheleau et al., 2001, citado por Gómez I. et al 2005).

En ese sentido es importante resaltar el rol de los actores rurales (organizaciones campesinas, indígenas, movimientos campesinos, ONG, programas de desarrollo, redes de intercambio, etc.), en la modificación de la gestión de los recursos naturales y de los espacios rurales; y es en ese espacio, la importancia vital de vincular esas estrategias de medios de vida con la gestión territorial permitiendo la sostenibilidad de los medios de vida, en función de las metas a alcanzar.

Esto facilita argumentar que los medios de vida rurales no pueden ser entendidos independientemente de los procesos, y que más bien aportan a la institucionalidad a partir de las cuales fluyen recursos, ideas, información y mercancías.

### **2.1.1 Contexto del territorio: dinámica económica, social y ambiental del territorio**

En tiempos de la colonia, el área del PNT ha sido dominio de la raza Quechua, manejado como pisos ecológicos altos y medios (altiplanos y valles), en los que se desarrollaban actividades diversas de tipo agrícola y pecuario, además de ser esta la puerta de entrada hacia las tierras bajas de la Amazonía (extremo noreste), de donde los quechuas extraían productos de origen tropical.

En tiempos de la República de Bolivia, estas áreas llegan a ser propiedades de los denominados hacendados (terratenientes), quienes poseían las tierras y a sus campesinos en calidad de pongos, mismos que tenían la obligación de trabajar gratuitamente para el “patrón”, a cambio de un lugar donde vivir, y un pequeño pedazo de tierra para que lo trabaje para si mismo, una especie de esclavitud.

Entre los años 1961 a 1963, en Bolivia se produce una revolución que entre sus principales productos se tiene la “reforma agraria”, en la que se elimina el pongueaje, las haciendas de los patrones terratenientes pasan a propiedad de los campesinos que los habitaban bajo el lema de que “la tierra es de quien la trabaja”; proceso muy violento que termino con la vida de muchas familias de hacendados. Para operativizar esta reforma agraria, el estado boliviano creo el Consejo Nacional de Reforma Agraria y el Instituto Nacional de Colonización (CNRA e INC respectivamente), como instancias estatales encargadas de normar y regularizar la distribución de tierras de las haciendas entre los campesinos, otorgándoles títulos de propiedad a nivel de comunidades.

El calor de la revolución y las constantes disputas sobre la tierra, hizo que el estado se olvidara de que una vez los campesinos poseían las tierras, otorgarles la asistencia necesaria para que la producción al menos no se detenga o mejore; se dio una condición de que los campesinos al contar con la tierra no sabían que es lo que tenían que hacer, lo que repercutió negativamente en la producción y la productividad de las tierras.

Años siguientes y hasta la década de los setenta, hay un auge minero en Bolivia, lo que hace que muchos campesinos abandonen sus tierras para irse a trabajar en las minas; ya en los años ochenta, se da una crisis de minerales, y el estado nacional debe cerrar y despedir muchos mineros, mismos que retornan a sus tierras, pero sin políticas claras de fomento al agro.

A nivel organizacional, los pobladores de la región están reunidos en comunidades, y estas a la vez en sindicatos; el sindicato es una forma de organización muy enraizada en la minería, después del cierre de las minas en los años ochenta, esta forma organizacional toma aún mucha más fuerza, debido principalmente a que ante la ausencia de estado en el campo, son estas organizaciones quienes toman el control de la gestión de sus territorios para satisfacer sus múltiples necesidades, esta forma organizacional hoy en día, es una fuerza muy importante en la toma de decisiones a todo nivel.

Por el carácter montañoso donde se encuentra el área de estudio (PNT – Cuenca Taquiña), las áreas productivas para el agro, se encuentran reducidas a los pequeños valles fluviales y glaciales, donde la mecanización se ve restringida solo a la tracción humana y animal, bajo un sistema de producción temporal.

Bajo estas condiciones, la casi única fuente de empleo laboral existente son las actividades agropecuarias, donde resaltan los cultivos de tubérculos (papa principalmente), hortalizas, granos y la cría extensiva de ganado camélido en las alturas, y de ganado vacuno y ovino en las partes medias y bajas. La gran amplitud altitudinal de la cuenca Taquiña (2932 a 4545 msnm aproximadamente), hace de esta región una gran variedad edafoclimática, que hace también a la variada opción de productividad de sus tierras. Otra actividad muy importante, es la forestería comunitaria, actividad iniciada en los años setenta, con un gran desarrollo hasta los años noventa con un gran apoyo de la cooperación internacional, habiéndose establecido una importante masa boscosa, hoy en día considerado como el principal pulmón de la ciudad de Cochabamba, especialmente en las cuencas vecinas del área de estudio.

### **2.1.2 Cuencas hidrográficas como unidad de gestión territorial**

Actualmente, los Gobiernos se están apoyando en “conceptos” que han sido rescatados de experiencias reales llevadas a cabo en diferentes partes del mundo, y que buscan una gestión que asegure la conservación y sostenibilidad de los bienes y servicios que ofrecen las cuencas.

Es así como se está trabajando en muchos países de la región, la gestión integrada de cuencas hidrográficas como se indica, integra las cuencas al desarrollo sostenible de la población. Siendo los activos de capital natural como la tierra y el agua, el nexo entre el manejo de recursos



naturales de la cuenca y el uso y aprovechamiento de esos recursos para mejorar los medios de vida y la seguridad alimentaria de la población.

De esta manera, el reto es integrar a los programas socioeconómicos de las diferentes instituciones nacionales, la gestión de cuencas, y garantizar que las acciones cumplan con los objetivos de conservación de los recursos naturales y con un desarrollo socio económico sostenible.

Otro concepto importante e implementado en la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible (Johannesburgo, 2002), es la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH). Para el año 2006, avanzaba su implementación en 22 países de ALC, y en el último Foro Mundial del Agua (2009), realizado en Estambul, se ratificó considerar el GIRH, como una estrategia para que los países determinen una asignación apropiada del agua.

La GIRH, considera el agua como un recurso, facilitando su distribución entre los diferentes usos, con el fin de optimizar su beneficio en lugar de que únicamente se utilice para un usuario en particular. También se ha aplicado este concepto de manera que integre el agua a otros recursos, incorporando los aspectos técnicos, institucionales, sociales, ambientales y políticos.

En este mismo evento, se destacó seguir enfocando la institucionalidad hacia los Organismos de Cuenca, como un espacio vinculante del gran número de agentes involucrados.

Pero para que estos sistemas de gestión por cuencas sea funcional, además de disponer de organizaciones, con participación de los actores que intervienen en una cuenca, deben tener autoridad sobre las decisiones, recursos financieros asegurados y apoyo técnico. Uno de los objetivos es minimizar los conflictos que generan la competencia por el agua, la ocupación y explotación inorgánica de los recursos naturales de la cuenca, así como reducir los impactos ambientales y los riesgos de la población, frente a fenómenos y eventos climáticos extremos.

Ahora bien, ¿qué es lo que cabalmente debemos entender por cuenca?, a este efecto y de los muchos autores retenemos el siguiente: “se denomina cuenca vertiente, o cuenca de drenaje de un cauce en una sección dada de su curso, a la superficie de terreno limitada por el contorno a partir del cual la precipitación caída drena por esa sección” (Ministerio de Medio Ambiente de España, 1998).

A este sentido, si el suelo fuese impermeable, se evidenciaría que las cuencas estarían definidas topográficamente por la línea divisoria. Sin embargo, en los suelos permeables la cuenca vertiente real puede diferir de la cuenca topográfica, pero de manera general a no ser que se trate de cuencas muy pequeñas, se admite en la mayoría de los casos, que las cuencas vertientes coinciden con las cuencas topográficas.

El funcionamiento de una cuenca se asemeja al de un colector que recibe la precipitación pluvial y nival, y la convierte en escurrimiento en un porcentaje muy variable, dependiendo de las condiciones físicas y biológicas de la misma; en este sentido, desde el punto de vista hidrológico,

no solo interesa los volúmenes totales de precipitación que inciden en la cuenca, sino la distribución cualitativa y cuantitativa de la precipitación en el tiempo y el espacio (hidrogramas).

En la mayoría de los casos de estudios, y para la aplicación de diferentes modelos hidrológicos, es necesario dividir la cuenca en una serie de unidades menores, denominadas "*unidades de respuesta hidrológica*", mismas que presentan ciertas condiciones de homogeneidad que facilitan los diagnósticos y las evaluaciones. Estas unidades bien podrían ser sub cuencas, o bien tramos intermedios de las mismas.

Desde el punto de vista de su funcionamiento, las cuencas vertientes se pueden caracterizar por su morfología, por la naturaleza de su suelo y su cobertura vegetal característica, mismos que hacen identificables y comparables a las cuencas. La influencia de estos factores, están muy relacionadas al escurrimiento superficial, constituyéndose en elementos de análisis y gestión de cuencas hidrográficas; existiendo una serie de factores e índices para el caso.

## **2.2 Restauración hidrológica y forestal**

Los dos a tres últimos decenios en el que vivimos, el problema de la desertificación de los suelos se ha ido profundizando, dejando como consecuencia una serie de problemas de falta de alimentos, ya sea por la reducción de las áreas cultivables o por su pérdida de productividad, problema aún más acentuado por la explosión demográfica geométricamente creciente.

La desertificación vista solamente como un efecto de la erosión de los suelos, es causado principalmente por las malas acciones y malas prácticas de manejo de tipo antrópico, ya que donde antes había masas boscosas, mismas que mantenían un balance hidrológico, biológico y pedológico favorable al medio ambiente, han sido quitados sin medidas protectoras o al menos mitigadoras, que con el tiempo hicieron de este balance totalmente negativo, llegando en casos extremos a la sequía, que viene acompañada de la pérdida biológica y la fertilidad de los suelos. Efecto mucho más acentuado en regiones donde el paisaje muestra condiciones de torrencialidad por condiciones topográficas (pendientes elevadas e irregulares), y condiciones climáticas y ecológicas, como es el caso del área de estudio que nos atañe.

Precisamente, las condiciones adversas deficitarias de vegetación, hacen que las precipitaciones al no ofrecer resistencia al impacto de caída y al escurrimiento, hidráulicamente se formen flujos torrenciales, sinónimo de flujo rápido o supercrítico (relación entre la fuerza inercial y gravitatoria expresada en el número de froude sea mayor a 1), con una elevada carga de sedimentos correspondientes a la carga de lavado y la carga de materiales del lecho; la primera correspondiente a los efectos de la erosión en sus diferentes facetas (laminar, en surcos y/o cárcavas), y la segunda producida por la acción del agua sobre el contorno, dada la fuerza tractiva encauzada en la esorrentía.

En el transcurso de los siglos pasados, se ha especulado mucho sobre el papel de la vegetación, y principalmente del bosque como sistemas más estabilizado, en la conservación del suelo y agua; pero ha sido en este siglo que se han aclarado y establecido los conceptos básicos que permiten

elevanto a la categoría de ciencia, las intuiciones y conocimientos que establecían las interrelaciones entre estos recursos naturales.

Hay que recordar los estudios e investigaciones desarrolladas por Penman, Colman, Geiger, etc., el decenio hidrológico internacional de UNESCO (1965 – 1975), y el simposium sobre hidrología forestal (Universidad de Pensilvania, USA 1965), en el que se definieron las áreas de estudio de la hidrología forestal, influencias de la vegetación sobre el clima, sobre el agua (régimen hidrológico y calidad) y sobre el suelo; la cuenca torrencial (escorrentías, caudales, sedimentos); la restauración hidrológico forestal de cuencas (acciones mecánicas y biológicas e hidrotecnias de corrección de cauces); prevención y defensa contra aludes. (Citado por Ministerio de España 1998).

El reconocimiento explícito de la importancia de la vegetación en la conservación de los recursos que la hacen posible y la condicionan, el suelo y el agua, introduce una compleja casuística de interrelaciones y mutuas dependencias; cabe en cierto modo preguntarse si no habría que modificar el clásico planteamiento de que las posibilidades del suelo y el agua propician una vegetación feraz y bien desarrollada, por el de si es esta vegetación la que motiva unos recursos de suelo y agua, de la máxima calidad.

En muchos lugares como España por ejemplo, su Ley de aguas (1985), y el reglamento para la planificación hidrológica (1988), establecen la obligatoriedad de que los planes hidrológicos de cuencas, vayan acompañados de los de restauración hidrológica forestal y conservación de suelos.

Todo esto, hace ver la evidencia de la importancia estratégica del rol de la vegetación en la gestión de cuencas, mismas que relevan su importancia especialmente en las partes medias y altas, donde generalmente las condiciones de precipitaciones y de topografía, son las más propicias para la erosión y la escorrentía.

La formación de una masa boscosa, depende de ciertas condiciones climáticas, ecológicas y edáficas; cuando estas condiciones faltan, simplemente el bosque no existe, y en su lugar se encuentran otros tipos de formaciones de vegetación.

A este respecto, el sistema de clasificación de zonas de vida ecológica (Holdridge por ejemplo), manifiestan sociedades vegetativas que podrían existir bajo ciertas condiciones climáticas en ausencia del hombre; asumiendo que el suelo es un producto formado por el clima principalmente (se asocia al clima la biota existente, así como la pedogénesis en el tiempo).

El bosque en este sentido, es la formación vegetal más evolucionada y de mayores exigencias, sobre todo respecto al clima: basta observar en este sentido las grandes masas de tipos de bosques existentes en el mundo, y su directa asociación con el clima (temperaturas y precipitaciones)

### 2.2.1 El bosque el clima.

Gangullo J.M. (1990), dice que el micro clima del bosque, al que prefiere llamar “ecoclima”, en comparación con el de un sitio descubierto es: menos luminoso (con reducción de hasta un 90% dependiendo de la densidad y frondosidad del bosque); menos caluroso con una disminución de hasta cuatro grados centígrados en la temperatura media anual; menos ventoso con una reducción de la velocidad del viento hasta una cuarta parte; más húmedo con un incremento de hasta 10% de humedad; en definitiva unas condiciones totalmente diferentes, lo que permite que la vida también se desarrolle de una manera totalmente diferente.

### 2.2.2 El bosque y el agua.

El balance hídrico aplicado a una cuenca como la relación:  $INPUT - OUTPUT = ds/dt$ , expresado como el principio de conservación de masa, y  $ds/dt = \Delta S$  (almacenamiento en el suelo), que en el largo tiempo tiende a cero, expresa que la ecuación del balance hídrico quede expresado como:

$$P = I + Q + ET$$

Donde: P es la precipitación, I es la infiltración, Q es la escorrentía y ET es la evapotranspiración.

Un análisis de la influencia de la vegetación sobre la precipitación, tiene que ver con el origen de las precipitaciones, en la interceptación y la condensación de la lluvia por la vegetación, además de las condiciones internas como los rocíos y escarchas.

Respecto al origen de las precipitaciones, en las de tipo ciclónico la vegetación no tiene influencia apreciable a escala de cuencas (Horton). En las regiones de clima cálido, en el día se producen grandes cantidades de evaporación de agua, por lo que la presencia de masas boscosas sin lugar a duda puedan aumentar esta en alguna medida (el bosque retiene mayor humedad), incluso llegando a intensificar las precipitaciones convectivas; las precipitaciones orográficas, se ven influenciadas por la vegetación de doble manera: por un lado los bosques aumentan la altura efectiva, y en consecuencia los desniveles que han de remontar los vientos, por otro lado está el efecto de fricción que ejercen los bosques, reduciendo la velocidad de los vientos, produciendo un movimiento ascensional del aire cargado de humedad, que favorece las precipitaciones.

En cuanto a la interceptación de la vegetación, entendida como aquella parte de la precipitación que no llega al suelo y es retenida ya sea en las hojas, ramas o tronco de los árboles, la significancia de esta será función del tipo de vegetación arbórea, su edad, el estado de saturación de humedad y las características de intensidad de la precipitación propiamente dicha. Algunas experiencias (Ausseinac 1981 – Brechtel 1987), han concluido que hasta un 16% de las precipitaciones pueden ser retenidas en el estrato aéreo de los árboles, desde donde escurren lentamente hacia el suelo, o simplemente es evaporada al espacio. En este sentido, la importancia de la vegetación como elemento regulador del proceso de erosión, aparte de sus demás bondades como aportante de materia orgánica al suelo, y su función radicular de retener el suelo; cumple la función de reducir la energía cinética de las gotas de lluvia, que al chocar primero con la

vegetación, estas se atomizan reduciéndose a gotas muy pequeñas, que caen sobre el suelo sin producir desprendimiento de suelo (efecto splash).

En razón a la influencia del bosque sobre la condensación interna del agua, el rocío, escarchas y precipitaciones horizontales se entiende como la condensación interna, que es el efecto por el cual en el suelo se fija vapor atmosférico, dado que la temperatura del suelo en el bosque es más baja que la del aire; por lo que la vegetación del bosque favorece esta condensación, aparte del efecto de la vegetación y el aporte de materia orgánica al suelo, que provee condiciones más favorables de porosidad, espacios donde se produce esta condensación. En cuanto al efecto sobre el rocío y la escarcha, esto se da porque el bosque generalmente mantiene altos índices de humedad relativa (generalmente mayor al 75%); por otra parte, el bosque mantiene una superficie de contacto más fría que las de saturación; y finalmente, por los vientos muy suaves que se dan al interior de los bosques.

### **2.2.3 Influencia del bosque sobre la infiltración.**

El agua que penetra en el suelo, primeramente llena los espacios vacíos (porosidad), cumplido el cual la velocidad de penetración del agua dependerá de la facilidad con que este pueda moverse a través del perfil del suelo. En este sentido, la infiltración es la velocidad con que el agua puede moverse al interior de un perfil de suelo (cm/hora); siendo esta infiltración una característica de las propiedades físicas del suelo (textura, porosidad, contenido de materia orgánica, estructura entre otros).

Bajo estas condiciones, se evidencia que los suelos con masas boscosas, ofertan estas condiciones físicas de manera sobre saliente, llegándose a constatar experimentalmente, que estas velocidades de infiltración, fácilmente puede duplicarse en un espacio boscoso, con relación a otro sitio dedicado a la agricultura; consiguientemente, la capacidad de almacenamiento de agua en un suelo con cubierta boscosa, será mucho mayor al de un suelo dedicado a la explotación agrícola.

### **2.2.4 Influencia del bosque sobre la escorrentía.**

El papel fundamental que desempeña la vegetación, principalmente los bosques, sobre la escorrentía es el de modificar la forma en que esta agua acceden a los cauces, disminuyendo drásticamente las aportaciones de superficie, y aumentando considerablemente las subterráneas.

A este respecto, la disminución de las escorrentías superficiales e incremento del almacenamiento de agua en el suelo, el bosque tiene una espectacular eficiencia, donde se conjugan varios factores a este respecto; la mayor capacidad de infiltración que guarda más agua en el suelo, la intercepción de la precipitación que disminuye la intensidad de las lluvias y distribuye su agua a lo largo del tiempo, la mayor rugosidad de la superficie y los mayores obstáculos del contorno por los árboles, producen una fuerte disminución de la velocidad de desplazamiento de las aguas (se estima que se puede reducir esta velocidad a una cuarta parte en relación a un suelo raso), lo que implica un retraso importante en los tiempos de concentración a nivel de cuencas, disminuye el caudal punta de las descargas, así como los volúmenes totales.

Entre los varios métodos de estimación de la escorrentía de una precipitación, todos ellos coinciden en tomar en consideración en su análisis el tipo de suelo y la vegetación existente mínimamente; el método de “*Numero de Curva*” por ejemplo (Soil Conservation Service. U.S.A.), evidencia la influencia de la cubierta vegetal tanto en los grupos hidrológicos del suelo, como en las condiciones hidrológicas de la infiltración, que fundamentalmente definen ese número de curva.

Otras consecuencias del máximo interés, es el rol del bosque en el control de las escorrentías superficiales, consistente en las posibilidades de reducir los caudales originados por precipitaciones de alta intensidad, que frecuentemente son causas de violentas avenidas e inundaciones catastróficas; experiencias realizadas por el Soil Conservation Service y del Bureau of Land Reclamation de EE.UU. (citado por el Ministerio de Medio Ambiente de España 1998), establecen que los bosques pueden reducir los caudales puntas de eventos pluviométricos, hasta en un 59%, comparado una cuenca con cubierta boscosa y otra dedicada a los cultivos.

### **2.2.5 Influencia del bosque en la Evapotranspiración (ET).**

En la salida de agua de un estado líquido a vapor, en los bosques hay una drástica reducción, por lo que la vaporización directa del agua del suelo se minimiza; en contra parte, la pérdida de agua por transpiración dada la importante actividad fisiológica del bosque se incrementa, además de la vaporización directa de agua que se da de la copa de los árboles (siempre comparando un bosque con un área dedicada a los cultivos).

Entendida la evapotranspiración, como la suma de pérdidas de agua como efecto de la evaporación más la transpiración, se constata de manera general que: la ET, es variable dependiendo de la masa vegetativa que contenga un sitio, al igual que las especies, su densidad y edad de la vegetación; sin embargo y comparativamente con un suelo de arbustos, de hiervas o cultivos, los bosques tienen menor transpiración, y consiguientemente menor evapotranspiración.

### **2.2.6 El bosque y el suelo.**

Visto el suelo como el producto de un proceso pedogenético, en el que interactúan la geología, el clima, los agentes biológicos (flora y fauna) y el tiempo, la influencia del bosque sobre el suelo está dado principalmente porque este propicia condiciones más favorables para la mayor actividad biológica por una parte, sus sistemas radiculares se constituyen en conductos por los cuales se transportan los materiales, además que dado la gran cantidad de desechos vegetales que deja el bosque sobre el suelo, por una parte favorece a un microclima que facilita la actividad biológica sobre el suelo, y por otra el de aportar grandes cantidades de materia orgánica, que una vez descompuesta por la actividad biológica, este es integrada al suelo a través del proceso de percolación, llegándose así a formar diferentes tipos de horizontes de suelos, ricos en humus. De este modo, un suelo así tendrá una mayor capacidad de infiltración y de retención de humedad, reduciéndose así las posibilidades de que se produzcan escurrimientos superficiales.

En cuanto a la protección y/o conservación de suelos, el bosque es factor fundamental de lucha contra el proceso de erosión de suelos (ya sean estas de tipo hídrico o eólico). La cubierta vegetal se presenta como un agente extraordinariamente eficaz en la disipación de la energía cinética de las gotas de lluvia como ya se había dicho anteriormente, destacándose en este papel tanto la cubierta vegetal próxima al suelo o en contacto con él, así como los restos de vegetación, ya que solo en un bosque sin sotobosque esta eficiencia es reducida, dado que un dosel de bosque desde los ocho a diez metros de altura, permite que las gotas de lluvia al caer, recuperen en gran medida su energía cinética.

Esta disipación de energía, reduce considerablemente la capacidad de las lluvias de producir desagregación de las partículas de suelos (peds), por lo que los suelos se mantienen íntegros sin partículas desprendidas que podrían ser fácilmente arrastradas por el escurrimiento superficial.

### **2.3 Tecnología y herramientas de modelizaciones para la gestión territorial e hidrológica.**

#### **2.3.1 Sistemas de Información Geográfica (SIG), y modelización espacial**

Entendido los Sistemas de Información Geográfica como: *“Un conjunto de herramientas constituidas por hardware, software con capacidades de adquirir, almacenar, manipular y representar datos en un contexto espacial”* (Eastman 1994), tomamos esta como una herramienta que por sí misma no tiene respuesta a nada, sino que más bien será esta utilizada con tres fines específicos; la sistematización de datos e información espacial, la interrelación de datos de diferentes temáticas a través de modelizaciones de análisis espacial, y finalmente la representación de estas modelizaciones, ya sea a través de mapas con todas sus propiedades geodésicas, y/o relaciones de reportes y estadísticas.

Para una correcta interpretación y propuesta de gestión territorial, hay una serie de disciplinas técnicas que entran en juego (biofísicos, sociales, culturales, económicos y fisiográficos principalmente); la única herramienta posible para integrar las contribuciones de cada una de estas disciplinas en un problema con contexto espacial, son precisamente los SIG, a través del desarrollo y la utilización de modelos matemáticos, en los cuales los algoritmos utilizados crean puentes necesarios para unir las diferentes especialidades y llegar a propuestas de soluciones a los diferentes problemas planteados.

El uso de modelos cada vez más complejos, se ha hecho posible gracias al desarrollo en principio de las herramientas informáticas, que a través de programas específicos (SIG), permiten el tratamiento matemático rápido y seguro de una infinidad de datos. El problema fundamental de los análisis espaciales, es encontrar el modelo que mejor represente el problema analizado, donde la pertinencia del modelo desarrollado, es evaluado en términos de las altas correlaciones que deban existir entre resultados previstos por el modelo, y lo que sucede en realidad con el tema tratado.

La elección final del modelo a aplicarse en el problema planteado, dependerá también del uso que se le va a asignar, y el grado de detalle que el análisis requiere; en general, los modelos a aplicarse

son predictivos además de descriptivos, la función descriptiva es la de especificar la forma de trabajar del sistema con un grado de precisión dado (escalas); en cambio la función predictiva, trata de decidir lo que se debe hacer en el sistema para cubrir los objetivos dados. En fin, para un mejor análisis de variables, se buscarán modelos que expresen las relaciones espaciales y sus aplicaciones prácticas, con objetivos propios, y que busquen la simplicidad y facilidad en su manejo, en la manera que sea posible.

En el trabajo de gestión territorial a nivel de cuencas hidrográficas, el trabajo de los SIG estarán relacionadas a las siguientes etapas de trabajo: Inventarios, valorizaciones de los temas inventariados (hasta aquí lo que corresponde al diagnóstico), establecimiento de las relaciones del uso del territorio y finalmente la generación de escenarios, análisis de sensibilidades y evaluaciones para la toma de decisiones (evaluaciones y propuestas).

### **2.3.2 Teledetección**

*“Estudio a distancia, sin entrar en contacto con el objeto analizado”*, es una síntesis de las muchas conceptualizaciones de la teledetección (traducción francófona y sensoramiento remoto de la traducción anglófona); es una técnica o arte, que permite obtener datos principalmente del uso de la tierra y los cambios que se van dando en el tiempo, mediante la captura ya sea de fotografías aéreas y/o imágenes satelitales en series multitemporales.

Bajo esta conceptualización, la teledetección se ha convertido en una fuente muy importante de captura de datos para la alimentación de los SIG, pues mediante esta técnica podemos obtener información actualizada y en forma multitemporal, que permite visualizar y analizar los usos y cambios en el uso de la tierra que se va dando en el tiempo.

### **2.3.3 Modelos de simulación hidráulica e hidrológica.**

Dado que la hidrología es uno de los temas principales en el estudio planteado, vamos a concentrarnos en el uso del modelo HEC HMS.

HEC-HMS, es un programa que también trabaja en plataforma SIG (ARCGIS), que permite realizar simulaciones hidrológicas y sus respectivos análisis de sensibilidad de eventos pluviométricos. *(No entraremos en detalles del software, cualquier referencia del mismo puede constatarse en sus manuales y múltiples artículos existentes en la WEB)*

## **3. Metodología de trabajo**

### **3.1 Metodología de trabajo**

#### **3.1.1 Fases y etapas de trabajo**

Metodológicamente, el trabajo se ha dividido en dos fases, mismas que corresponden a: una primera de diagnóstico y una segunda de propuestas y la tercera a evaluaciones.



### **3.1.1.1 Fase 1 (Diagnóstico)**

Esta primera fase, esta relacionada inicialmente a la identificación del área de estudio (Cuenca Taquiña), mediante un procedimiento semi automatizado de delimitación de cuencas desarrollado por el módulo "SWAT" del SIG "ARCGIS", para cuyo efecto se tuvo que elaborar un Modelo Numérico Altitudinal (MNA), que describa un continuo de la Topografía de toda la región que cubre esta cuenca.

Posterior a esta delimitación se procederá a la determinación de las características morfométricas de la cuenca (tomando como base de datos el MNA); la caracterización biofísica, la determinación del uso actual en base a la interpretación de una imagen satelital, la caracterización de suelos y la determinación de la capacidad de uso de la tierra; la caracterización hidrológica y determinación de las lluvias con intensidades máximas para periodos de retorno de 20 y 50 años, para terminar con las determinaciones de los "Número de Curvas", como metodología de determinar las "perdidas" del balance hídrico característico de la cuenca.

#### **3.1.1.1.1 Delimitación de la cuenca como unidad de gestión territorial**

Una cuenca hidrográfica es una unidad natural definida por la existencia de la divisoria de las aguas en un territorio dado. Las cuencas hidrográficas son unidades morfográficas superficiales, sus límites quedan establecidos por la divisoria geográfica principal de las aguas de las precipitaciones también conocido como "parteaguas". El parteaguas en teoría, es una línea imaginaria que une los puntos de máximo valor de altura relativa entre dos laderas adyacentes pero de exposición opuesta, desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de emisión, en la zona hipsométricamente más baja.

Al interior, las cuencas se pueden delimitar o subdividir en sub-cuencas o cuencas de orden inferior. Las divisorias que delimitan las sub-cuencas se conocen como parteaguas secundarios. Por lo tanto, la delimitación de cuencas implica una demarcación de áreas de drenaje superficial en donde las precipitaciones (principalmente las pluviales) que caen sobre éstas tienden a ser drenadas hacia un mismo punto de salida.

Metodológicamente, la delimitación de la cuenca Taquiña se generó de la siguiente manera:

- Se trabaja con hojas topográficas del área (escala 1: 50000), tomando las curvas de nivel con intervalos de 20 metros.
- A través de un proceso de interpolación (Kriging), aplicando el software SURFER, se genera el Modelo Numérico Altitudinal (MNA), ver figura 2 inciso A).

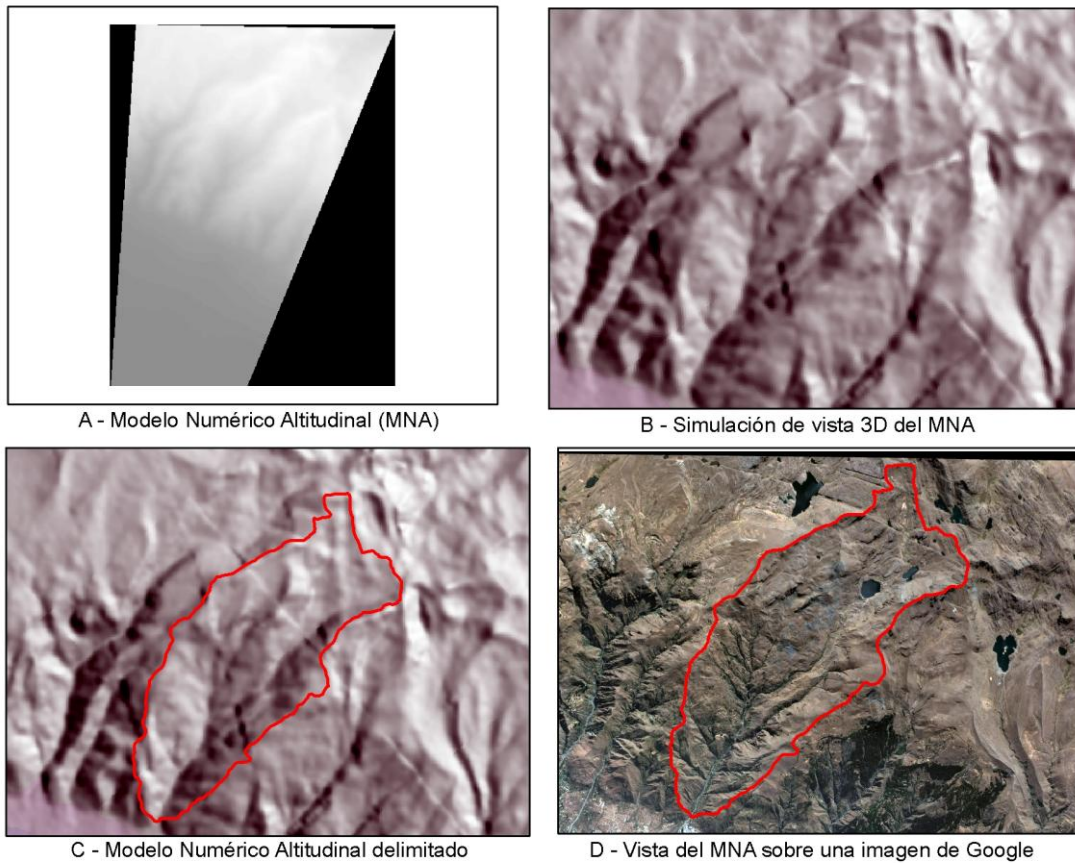


Figura 2. Delimitación de la Cuenca Taquiña (Fuente: elaboración propia)

- Este MNA se pasa por un filtro (3x3) para el alisado de la topografía y se genera una vista 3D aplicando SURFER. (ver figura 2 inciso B).
- Con la aplicación SWAT de ARCGIS, tomando como input el MNA, se procede con la delimitación de la cuenca Taquiña (ver figura 2 inciso C y D)
- Finalmente, para afinar algunos detalles, se procede a sobreponer el perímetro de la cuenca sobre una imagen de Google (resolución espacial de 2 m), con lo que se da por delimitada la cuenca sujeto de este estudio (ver figura 2 inciso D).

### 3.1.1.1.2 Morfometría

Dentro las características morfométricas determinada para la cuenca Taquiña tenemos:

<u>Dimensiones:</u> - Área de la cuenca	1949,4957 hectáreas
Perímetro de la cuenca	22205.63 metros
Relieve	Altura mínima 2932 m.s.n.m
	Altura máxima 4545 m.s.n.m
	Altura media 3738.5 m.s.n.m
	Rango altitudinal 1613 m.

### Pendientes:

Rango pend. (%)	Num. Pixeles	porcentaje
menor a 8	474	2.32
8 a 15	1363	6.68
15 a 35	6888	33.75
35 a 45	4273	20.93
45 a 60	4638	22.72
mayor a 60	2775	13.60
<b>TOTAL</b>	<b>20411</b>	<b>100.00</b>

- Pendiente mínima 0.57%
- Pendiente máxima 118.65 %
- Pendiente media 39.33%
- Std Dev 18.47

Morfométricamente las pendientes mayores se ubican alrededor de los ríos, lo que denota el poder incisivo de erosión que tienen los mismos, como efecto de su torrencialidad (Ver figura 3)

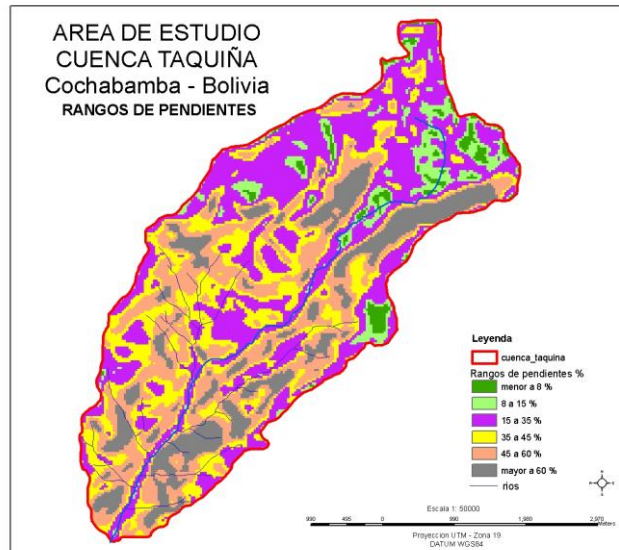


Figura 3. Rangos de pendientes de la cuenca Taquiña (Fuente: elaboración propia)

### Curva hipsométrica.

La curva hipsométrica, es una relación que de manera general muestra el perfil topográfico de la cuenca, y mete en relación la altura de la cuenca definida en rangos versus el porcentaje de área que estas ocupan. (Ver figura 4)

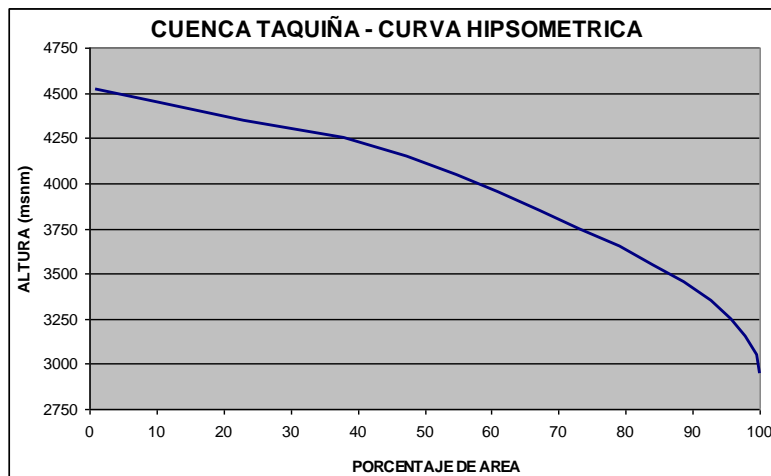


Figura 4. Curva hipsométrica de la cuenca Taquiña (Fuente: elaboración propia)

Esta figura nos muestra que en las partes altas de la cuenca las pendientes son suaves (desde la parte mas alta hasta los 4000 m.s.n.m aproximadamente), desde los 4000 a los 3500 aproximadamente, comienza a incrementarse las pendientes, siendo que desde los 3500 para abajo, las pendientes se hacen mucho mas pronunciadas.

### Tiempo de concentración (TC).

Un parámetro que se determina en base a la morfometría (pendiente media de la cuenca), y la longitud del cauce principal para la cuenca; definida como el tiempo que transcurre en recorrer la gota de agua que cae en el lugar mas lejano hasta la salida de la cuenca.

Para este caso, se ha usado la fórmula desarrollada por TEMEZ para determinar este parámetro usando el modelo:

$$T_c = 0.3 \left( \frac{L}{J^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Donde:

L = longitud del cauce principal (Km.) = 8.779 Km.

J = Pendiente media de la cuenca (%) = 0.156

Tc = tiempo de concentración (horas)

De donde el cálculo de Tc = 2.23 horas = 133.8 minutos.

**Para este trabajo asumiremos un Tc = 130 minutos, con un intervalo de tiempo cada 10 minutos.**

### **3.1.1.1.3 Caracterización biofísica**

En el tema de caracterización biofísica, dos elementos tomaremos en consideración: el clima y la vegetación característica de la cuenca Taquiña.

Clima. De manera general, en la cuenca Taquiña se cuenta con tres estaciones metereológicas automatizadas, mismas que fueron instaladas a principios de los años 90, contándose con registros de los años 1992 al 2003 (estas estaciones fueron parte de programas de cooperación de COSUDE, mismas que a partir del año 2004 a 2005 dejaron de funcionar porque fueron hurtadas según autoridades encargadas de los mismos). Ver Cuadro 1.

Estación	incidencia en la cuenca		Temperatura media anua °C	Precipitación total anual (mm)	Altura m.s.n.m
	m²	%			
Taquiña	8141203.19	41.76	6.4	855.4	4191
Janamayu	4112254.28	21.09	9.6	815.4	3842
Linkhupata	7241499.86	37.15	11.6	610.0	3493
<b>TOTALES</b>	<b>19494957.33</b>	<b>100.00</b>			

Cuadro 1. Estaciones metereológicas dentro la cuenca Taquiña (Fuente: Promic 2008).

En este cuadro se puede apreciar en la tercera columna, la incidencia de cada una de estas estaciones en la cuenca (determinada a partir de un análisis espacial por el método de Thiessen),

las columnas posteriores muestran datos de temperatura media anual, precipitación total anual y la posición altitudinal de cada uno de estas.

En términos de humedad del suelo, la cuenca presenta dos zonas bien diferenciadas, en las partes bajas y medias corresponde a regimenes ústicos y en las partes altas regimenes údicos (significa que entre 4 a 6 meses al año el suelo es húmedo para ústico, y entre 6 a 8 meses al año húmedo para el údico). En términos de regimenes de temperatura, en la parte alta es frígido, en la parte media méxico y en la parte baja ya en la salida de la cuenca al valle de Cochabamba se hace este térmico (Ver figura 4, la distribución de las tres estaciones metereológicas). Las precipitaciones se concentran entre 3 a 4 meses, con lluvias en lo general de intensidades medias y de cortas duraciones, dada las características topográficas de altas pendientes y suelos desprovistos de vegetación, hace que los escurrimientos superficiales sean importantes, que hacen que los ríos presenten caudales de tipo torrencial.

En relación a la vegetación dominante de la Cuenca Taquiña; La región de las laderas que corresponde a los valles y las montañas semiáridas de la cadena montañosa (parte baja de la cuenca Taquiña). La vegetación se caracteriza por un estrato arbóreo xerófito, con las siguientes especies: el molle (*Schinus molle*), Chirimolle (*Fagara coco*), el algarrobo (*Prosopis juliflora*), el Lloke (*Kageneckia lanceolata*), la Chacotea (*Dodonaea viscosa*) el k'inhi (*Acacia macracantha*), el aliso (*Alnus acuminata*), la kishuara (*Buddleja hypoleuca*) y la thola (*Baccharis dracunculifolia*).

La región de montaña, comprende tierras del piso Altoandino Semihúmedo (parte alta de la cuenca Taquiña), caracterizado por pajonales de ladera y cinturones de árboles y arbustos en las áreas más bajas. Las especies más representativas son la kewiña (*Polylepis besseri*) y la kishuara de puna (*Buddleja coriacea*). Entre los bosques de kewiña, destaca la subespecie (*Polylepis besseri subtusalbida*), exclusiva de la Cordillera del Tunari.

En términos de fauna, se han registrado 30 especies de mamíferos, 163 especies de aves, dos especies de reptiles y dos de anfibios. En los bosques de kewiña (*Polylepis spp.*) del área se registraron cuatro aves endémicas: *Oreotrochilus adela*, *Aglaeactis pamela*, *Asthenes heterura* y *Compsospiza garleppi*. Esta última especie se halla en peligro de extinción. También habitan las especies *Sicalis luteocephala*, *Saltator rufiventris*, *Oreomanes fraseri*, *Diglossa carbonaria*, que son vulnerables, y *Leptasthenura yanacensis* que tiene una alta prioridad para la investigación y conservación.

#### **3.1.1.1.4 Definición del uso actual de la tierra**

La definición del uso actual de la tierra, corresponde a la interpretación de una imagen satelital y el conocimiento que el autor cuenta sobre el área de trabajo, donde se ha determinado 10 categorías de uso actual de la tierra, denotando que las categorías pastoriles son las predominantes (60% aproximadamente), seguida de áreas con presencia de afloramientos rocosos y pedregosidad (18% aproximadamente), áreas cubiertas de bosque nativo (10% aproximadamente), áreas de cultivos (8% aproximadamente), y otras áreas que completan el 100% de la cuenca Taquiña.

Esta caracterización de uso actual de la tierra, denota la aptitud del uso de las mismas, siendo que las áreas de pastoreo se encuentran principalmente en las partes medias y altas, donde la cría de ganado ovino y de camélidos andinos es una actividad primaria de los pobladores de la región.

Por otra parte, hay que remarcar que cerca de la región de estudio (cuenca vecina al este), se encuentran plantaciones importantes de bosques principalmente de especies de pinos y eucaliptos, que denotan las amplias posibilidades de implantar bosques similares dentro la cuenca Taquiña, como medida de restauración hidrológica y forestal, acción correctora de la torrencialidad de la cuenca de estudio.

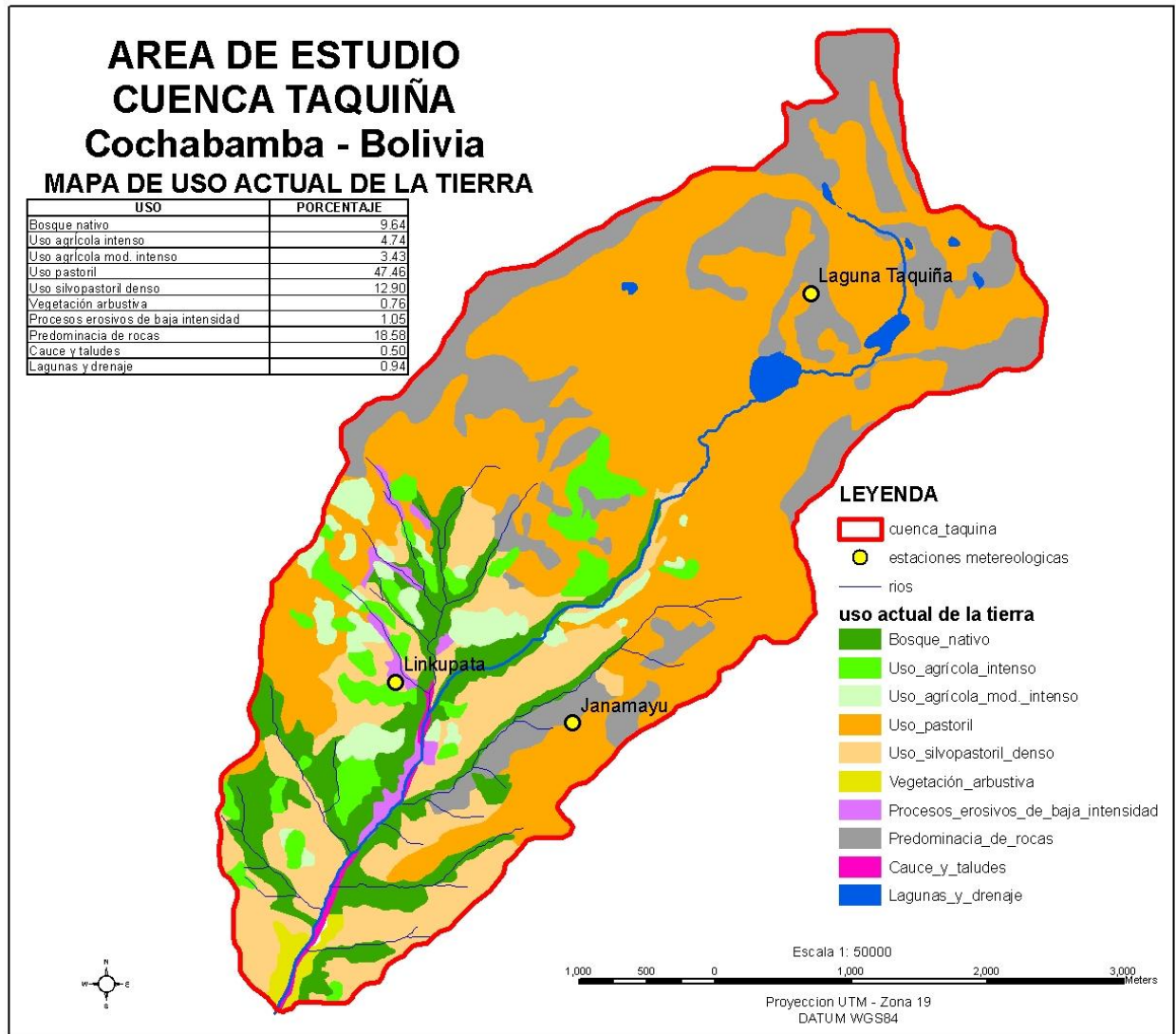


Figura 5. Cobertura de uso actual de la tierra en la cuenca Taquiña (Fuente: Elaboración propia)

### 3.1.1.1.5 Caracterización de los suelos y su capacidad de uso mayor

Desde el punto de vista taxonómico de clasificación de suelos (USDA), estos están comprendidos en el grupo de los ORTHENTS (ustorthents y udorthents), cuyas características principales son:

- Suelos de textura media, con un horizonte orgánico (A) débilmente desarrollado de un espesor variable entre 20 a 40 centímetros, seguidos de un horizonte de transición (AB y en algunos casos un horizonte bien diferenciado B) de textura media a pesada, y en

los lugares de pendientes elevadas este se presenta como un horizonte AC. Este segundo horizonte va hasta los 70 a 80 centímetros, para luego ya presentar un horizonte C.

- Suelos con estructura masiva con abundante presencia de raíces finas a media, pedregosidad superficial e interna moderada y de reacción ligeramente ácida (pH entre 5.5 a 6.5) (datos de la experiencia y conocimiento del área de trabajo).

Bajo esta simplificada descripción, y en base al MNA e interpretación de imagen satelital, se ha determinado una cobertura que describe la morfología y los grupos hidrológicos de suelos, a objeto de tomarlos en cuenta para la determinación de los NUMEROS DE CURVA, como factor determinativo de las pérdidas en el balance hídrico. (Ver figura 6)

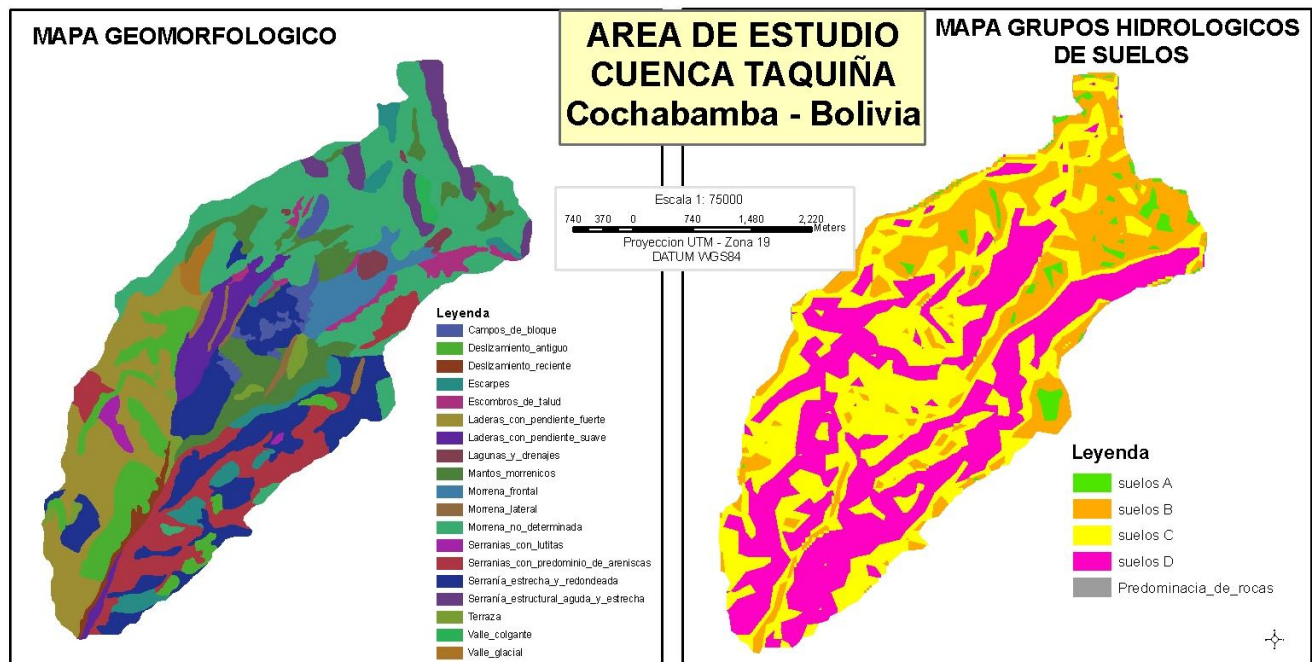


Figura 6. Cobertura Geomorfológica y de grupos hidrológicos de suelos (Fuente: Elaboración propia)

### 3.1.1.1.6 Caracterización hidrológica y definición de lluvia de proyecto para periodos de retorno de 20 y 50 años

Para tomar el evento pluviométrico de proyecto para este análisis, se ha recurrido a las Curvas IDF desarrolladas para periodos de retorno de 20 y 50 años, (se ha analizado datos de un periodo de tiempo correspondiente a 11 años 1992 – 2003 – Trabajo desarrollado por el Proyecto PROMIC en colaboración con el LH de la UMSS).

En este sentido, se ha recopilado de un informe del LHUMSS -PROMIC, teniendo las siguientes curvas para TR de 20 y 50 años, para las tres estaciones meteorológicas que se encuentran en la cuenca Taquiña. (Ver figura 7)

Con estos datos de la figura 7 y las ponderaciones de área porcentual que cada una de ellas abarca (ver tabla 1), se ha procedido a determinar las lluvias de proyecto, mediante la técnica de bloques alternos, que se trata sin duda el más extendido de los métodos sintéticos para obtener una lluvia

de proyecto a partir de la curva IDF. El hietograma producido por medio de este procedimiento, especifica la precipitación en un número ( $n$ ) de intervalos de tiempo ( $t$ ), para una lluvia de duración total  $T_d = n \cdot t$ . Una vez seleccionado el periodo de retorno deseado, se toman los datos de intensidad de precipitación de la curva IDF para duraciones  $t, 2t, 3t \dots$ , así como la precipitación total obtenida multiplicando las intensidades por las duraciones de lluvia. Estos quedan definidos como: (Ver cuadro 2). Remarcando que el tiempo de concentración determinado es de 130 minutos ( $T_c = 130$  minutos)

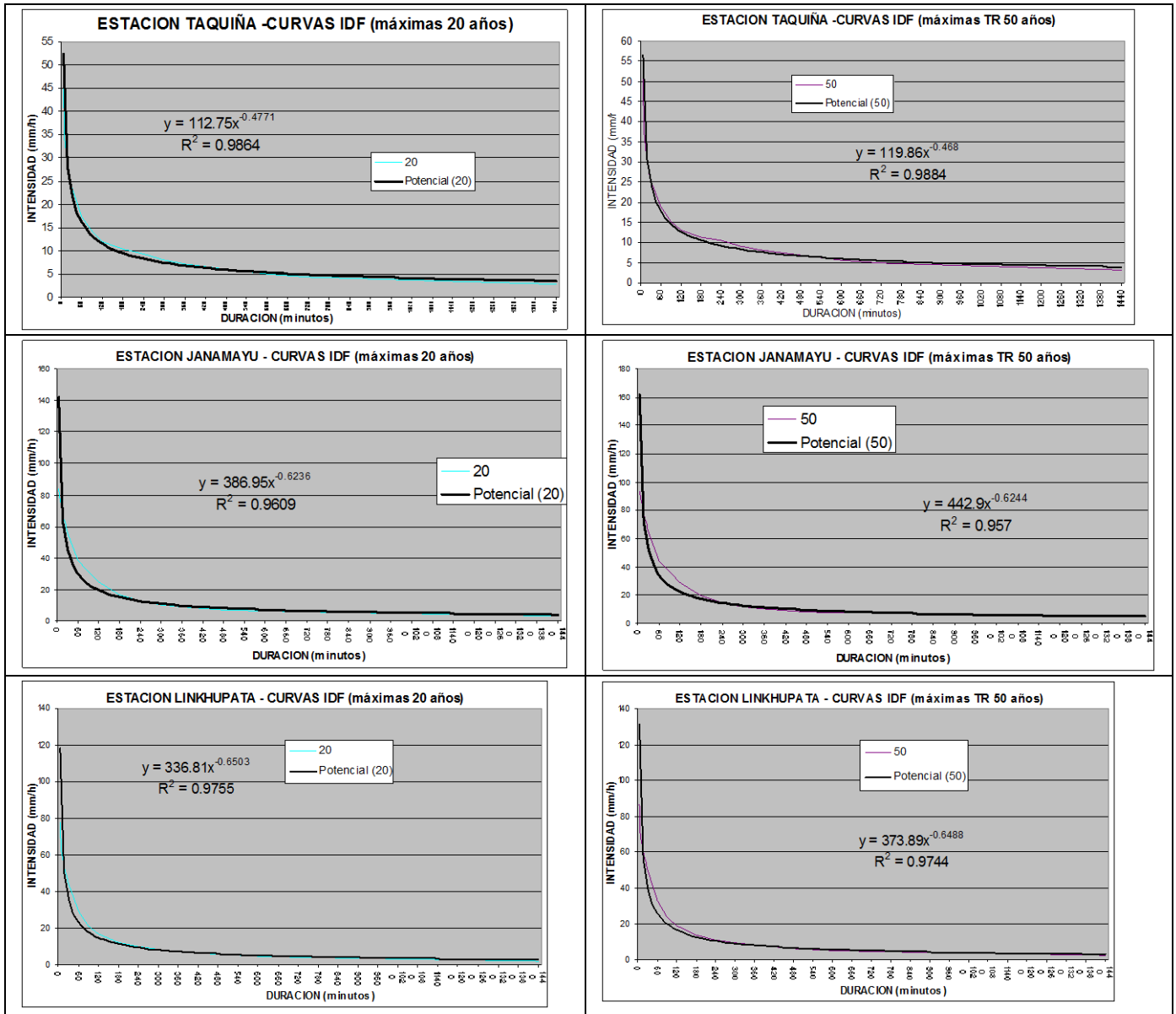


Figura 7. Curvas IDF para las estaciones meteorológicas de la cuenca Taquiña (Fuente LHUMSS – PROMIC 2006)



TR 20 años	Estaciones			Ponderaciones Estaciones			Ponderado total (mm)	Intensidad ponderada (mm/hr)
	Janamayu (mm)	Linkupata (mm)	Taquiña (mm)	Janamayu (21.09%)	Linkupata (37.15%)	Taquiña (41.76%)		
10	1.26	0.90	1.02	0.27	0.33	0.43	1.03	6.15
20	1.42	1.02	1.12	0.30	0.38	0.47	1.14	6.87
30	1.65	1.19	1.25	0.35	0.44	0.52	1.31	7.86
40	2.00	1.45	1.45	0.42	0.54	0.61	1.57	9.41
50	2.65	1.95	1.81	0.56	0.73	0.75	2.04	12.23
60	4.57	3.44	2.74	0.96	1.28	1.14	3.39	20.32
70	15.34	12.56	6.26	3.24	4.67	2.62	10.52	63.10
80	3.28	2.44	2.13	0.69	0.91	0.89	2.49	14.92
90	2.27	1.66	1.60	0.48	0.61	0.67	1.76	10.57
100	1.80	1.30	1.34	0.38	0.48	0.56	1.42	8.54
110	1.52	1.09	1.18	0.32	0.41	0.49	1.22	7.32
120	1.33	0.95	1.07	0.28	0.35	0.45	1.08	6.48
130	1.20	0.85	0.98	0.25	0.32	0.41	0.98	5.87

TR 50 años	Estaciones			Ponderaciones Estaciones			Ponderado total (mm)	Intensidad ponderada (mm/hr)
	Janamayu (mm)	Linkupata (mm)	Taquiña (mm)	Janamayu (21.09%)	Linkupata (37.15%)	Taquiña (41.76%)		
10	1.43	1.01	1.15	0.30	0.37	0.48	1.16	6.95
20	1.62	1.14	1.26	0.34	0.42	0.53	1.29	7.75
30	1.87	1.33	1.41	0.39	0.49	0.59	1.48	8.87
40	2.27	1.63	1.63	0.48	0.60	0.68	1.77	10.59
50	3.02	2.19	2.02	0.64	0.81	0.84	2.29	13.76
60	5.21	3.86	3.03	1.10	1.43	1.27	3.80	22.79
70	17.53	13.99	6.80	3.70	5.20	2.84	11.73	70.40
80	3.74	2.73	2.37	0.79	1.01	0.99	2.79	16.75
90	2.58	1.86	1.79	0.54	0.69	0.75	1.98	11.89
100	2.05	1.46	1.51	0.43	0.54	0.63	1.60	9.62
110	1.73	1.23	1.33	0.37	0.46	0.56	1.38	8.26
120	1.52	1.07	1.20	0.32	0.40	0.50	1.22	7.32
130	1.36	0.95	1.11	0.29	0.35	0.46	1.10	6.63

Cuadro 2. Lluvia de proyecto por el método de bloques alternos, ponderado por la ocupación porcentual de cada estación meteorológicas (Fuente: Elaboración propia en base a datos Promic)

Por otra parte y tal como se menciona en los objetivos planteados en este trabajo, se han incluido dos variantes en la determinación de la lluvia de proyecto para los dos Tr (20 y 50 años). La primera esta relacionada a suponer un incremento de 10% en la lluvia de proyecto; la segunda asume que como se ha producido una modificación drástica en el uso de la tierra como efecto del plan de restauración hidrológico y forestal, existe un importante efecto de retención de agua por la vegetación, lo que provocará que haya un disminución de la lluvia que cae sobre el suelo hasta cierto tiempo (hasta los 110 minutos de lluvia), siendo que posteriormente esta precipitación

retenida en el follaje escurre en su totalidad al suelo, haciendo que la precipitación se prolongue un poco mas allá de los 130 minutos (hasta los 160 minutos).

En este sentido, las tres lluvias de proyecto a utilizarse en este trabajo queda definido como: (Ver cuadro 3 y Figura 8).

#### Intensidades para la lluvia de proyecto mm/hr

duración (min)	Tr 20 años			Tr 50 años		
	Ponderado total (mm/hr)	incrementado un 10% (mm/hr)	con retención (mm/hr)	Ponderado total (mm/hr)	incrementado un 10% (mm/hr)	con retención (mm/hr)
10	6.15	6.77	5.54	6.95	7.65	6.26
20	6.87	7.55	6.18	7.75	8.52	6.97
30	7.86	8.65	7.08	8.87	9.75	7.98
40	9.41	10.35	8.84	10.59	11.65	9.96
50	12.23	13.46	11.50	13.76	15.13	12.93
60	20.32	22.35	19.10	22.79	25.07	21.42
70	63.10	69.41	59.32	70.40	77.44	66.18
80	14.92	16.41	14.62	16.75	18.43	16.42
90	10.57	11.62	10.35	11.89	13.08	11.65
100	8.54	9.39	8.37	9.62	10.59	9.43
110	7.32	8.05	7.17	8.26	9.08	8.09
120	6.48	7.13	10.18	7.32	8.05	11.45
130	5.87	6.45	8.64	6.63	7.29	9.73
140			1.85			2.08
150			0.74			0.83
160			0.18			0.24

#### Lluvia en milímetros

duración (min)	Tr 20 años			Tr 50 años		
	Ponderado total (mm)	incrementado un 10% (mm)	con retención (mm)	Ponderado total (mm)	incrementado un 10% (mm)	con retención (mm)
10	1.03	1.13	0.92	1.16	1.27	1.04
20	1.14	1.26	1.03	1.29	1.42	1.16
30	1.31	1.44	1.18	1.48	1.63	1.33
40	1.57	1.72	1.47	1.77	1.94	1.66
50	2.04	2.24	1.92	2.29	2.52	2.15
60	3.39	3.73	3.18	3.80	4.18	3.57
70	10.52	11.57	9.89	11.73	12.91	11.03
80	2.49	2.73	2.44	2.79	3.07	2.74
90	1.76	1.94	1.73	1.98	2.18	1.94
100	1.42	1.57	1.39	1.60	1.76	1.57
110	1.22	1.34	1.20	1.38	1.51	1.35
120	1.08	1.19	1.70	1.22	1.34	1.91
130	0.98	1.08	1.44	1.10	1.22	1.62
140			0.31			0.35
150			0.12			0.14
160			0.03			0.04

Cuadro 3. Resumen de las tres lluvias de proyecto a utilizarse en el presente trabajo (Fuente: Elaboración propia).

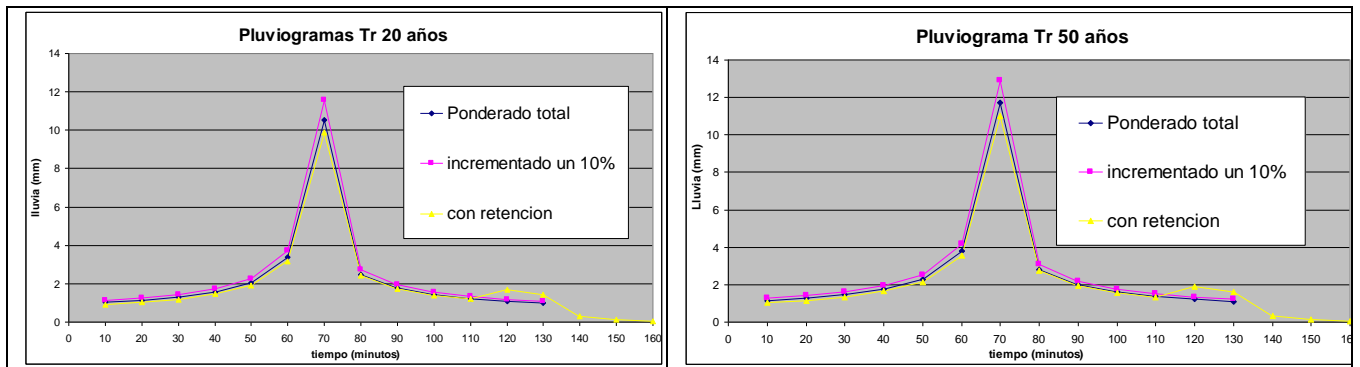


Figura 8. Pluviogramas con las tres lluvias de proyecto a utilizarse en el presente trabajo

### 3.1.1.1.7 Determinación del Número de Curva para el estado actual, el estado con restauración hidrológica forestal, y un estado de mayor deterioro de la cuenca

La búsqueda de una relación simple entre la precipitación ( $P$ ) y el escurrimiento ( $Q$ ) directo, ha sido una de las tareas básicas de los modeladores de los procesos hidrológicos en cuencas o en parcelas experimentales; el SCS (Soil Conservation Service del U. S. Department of Agriculture, actualmente llamado NRCS o Natural Resources Conservation Service) planteó en la década de los cuarenta (Mockus, 1949), una aproximación práctica a la relación entre la precipitación y el escurrimiento directo.

De estos desarrollos emergió el denominado método del número de curva (**NC**) del SCS (1972), que actualmente es usado por el NRCS (2004) y muchas otras instituciones nacionales e internacionales.

El modelo del *NC*, establece una relación empírica entre el escurrimiento directo  $Q$  (mm) y la precipitación  $P$  (mm), a escala diaria, como:

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia + S)}, \quad P \geq Ia$$

$$Q = 0, \text{ de otra forma} \quad (1)$$

Donde,  $Ia$  (mm) es la abstracción inicial antes del escurrimiento (almacenamientos superficiales, intercepción por la vegetación, evapotranspiración, infiltración antes de la saturación del suelo y otros factores) y  $S$  (mm) es un parámetro de retención, el cual varía espacialmente por cambios en el tipo y uso del suelo, manejo y pendiente; así como por cambios temporales en la humedad del suelo. El parámetro  $Ia$  generalmente se expresa en función de  $S$ :

$$Ia = kS \quad (2)$$

Donde, el valor de  $k$  es puesto generalmente como 0.2 (SCS, 1972; NRCS, 2004) y  $S$  es estimado como:

$$S = 25.4 \left( \frac{1000}{NC} - 10 \right) \quad (3)$$

Donde,  $NC$  (0 a 100) adimensional, es función de la humedad antecedente del suelo, la pendiente del terreno, el uso del suelo y sus prácticas de manejo principalmente. La Ecuación 1 permite establecer una relación funcional entre  $P$  y  $Q$  que se utilizan en forma práctica, ya que depende sólo de  $NC$  que se puede estimar a partir de información disponible (mapas temáticos de uso actual de la tierra, geomorfológicos, modelos numéricos altitudinales y de suelos por ejemplo), de las cuencas hidrográficas; que pueden hoy en día con relativa facilidad ser obtenidas a partir del sensoramiento remoto y los sistemas de información geográfica.

Muy criticado pero a la vez también muy utilizada esta metodología, en el presente trabajo se determina el **NC** para la cuenca Taquiña en función al uso actual de la tierra, la geomorfología, las pendientes del terreno y el tipo hidrológico de suelos tal como se los presenta en las figura 5 y 6. En estos se ha procedido a interceptar estas coberturas y la construcción de tablas de ponderaciones de asignaciones del **NC**, para determinar un solo valor de este para toda la cuenca en estudio. (Ver Cuadro 4.)

De este cuadro, podemos apreciar que el **NC** determinado para la Cuenca Taquiña en las condiciones actuales de uso de la tierra, cobertura y suelos existente corresponde a un valor de **83.18**; Para la condición futura que podría darse dado un cambio drástico en el uso de la tierra mediante un programa de restauración hidrológico y forestal, correspondería a un **NC** de **67.95** (las características e implicancias del programa de restauración hidrológico y forestal se detalla mas adelante); finalmente tal como se menciona en los objetivos, asumimos una tercera condición, en la que suponemos que el mal uso de tierras en la cuenca se acentúa en detrimento de la capacidad de retención de humedad por parte de suelo y consiguientemente favoreciendo el mayor escurrimiento superficial, se ha determinado un **NC** de **86**.

Determinación del NC para las condiciones actuales de la cuenca Taquiña					
uso de suelo actual	tipo de suelo (grupo hidrológico)	NC (asignado)	área_ha	% de área	NC (ponderado)
lagunas	lagunas	100	27.970	0.014	1.44
Bosque nativo	A	50	0.130	0.000	0.00
Bosque nativo	B	68	12.600	0.006	0.44
Bosque nativo	C	79	88.780	0.046	3.61
Bosque nativo	D	85	85.920	0.044	3.76
predominancia de rocas	A	70	11.500	0.006	0.41
predominancia de rocas	B	85	121.220	0.062	5.31
predominancia de rocas	C	90	143.840	0.074	6.67
predominancia de rocas	D	95	82.510	0.043	4.04
Procesos erosivos de baja intensidad	B	80	3.100	0.002	0.13
Procesos erosivos de baja intensidad	C	88	7.410	0.004	0.34
Procesos erosivos de baja intensidad	D	89	9.900	0.005	0.45
Uso agrícola intenso	B	91	3.970	0.002	0.19
Uso agrícola intenso	C	86	49.870	0.026	2.21
Uso agrícola intenso	D	90	38.370	0.020	1.78
Uso agrícola moderadamente intenso	B	80	4.110	0.002	0.17
Uso agrícola moderadamente intenso	C	87	41.760	0.022	1.87
Uso agrícola moderadamente intenso	D	91	20.870	0.011	0.98
Uso pastoril	A	52	25.140	0.013	0.67
Uso pastoril	B	73	245.660	0.127	9.24
Uso pastoril	C	83	330.720	0.170	14.14
Uso pastoril	D	88	321.070	0.165	14.56
Uso silvopastoril denso	B	62	10.890	0.006	0.35
Uso silvopastoril denso	C	75	95.760	0.049	3.70
Uso silvopastoril denso	D	82	143.450	0.074	6.06
Vegetación arbustiva	B	79	2.860	0.001	0.12
Vegetación arbustiva	C	89	6.970	0.004	0.32
Vegetación arbustiva	D	92	4.780	0.002	0.23
<b>TOTALES</b>			1941.130	1.000	<b>83.18</b>

Determinación del NC para condiciones de la cuenca restaurada hidrológica y forestal					
Uso de suelo propuesto	grupo suelo	área	% área	NC	NC ponderado
agricultura extensiva	A	98.955	0.0510	60	3.06
agricultura intensiva	B	68.150	0.0351	65	2.28
bosque de producción	B	21.939	0.0113	52	0.59
bosques de protección	C	9.592	0.0049	55	0.27
bosques silvopastoriles	B	305.968	0.1576	56	8.83
bosques nativos de altura	C	801.335	0.4128	70	28.90
pastizales alto andinos	B	255.147	0.1314	55	7.23
áreas con afloramientos rocosos	D	359.874	0.1854	85	15.76
lagunas y/o cuerpos de agua	0	20.170	0.0104	100	1.04
<b>TOTALES</b>		1941.130			<b>67.95</b>

Cuadro 4. Determinación del NC para la cuenca Taquiña.

### **3.2.1 Fase 2. (Propuestas y Evaluaciones)**

Una vez contando con todo el diagnóstico y la determinación de los parámetros hidrológicos, pasamos a la etapa de propuestas y evaluaciones:

- Inicialmente contamos ya con la determinación del pluviograma (histograma) de la lluvia de proyecto, que corresponde a intensidades máximas de precipitaciones para periodos de retorno de 20 y 50 años.
- Se tiene determinado el tiempo de concentración para la cuenca de estudio.
- Se tiene definido la morfometría, geomorfología, uso actual de la tierra y suelos para el área de estudio.

Consiguientemente, aquí se trata inicialmente dadas unas condiciones actuales de uso y ocupación de la cuenca, proponer un cambio drástico en este, a objeto de motivar una restauración hidrológica y forestal como instrumento de ordenamiento espacial de la cuenca, con el fin de reducir la torrencialidad de la cuenca, reducir la erosión de los suelos y crear condiciones medio ambientales más favorables para el desarrollo de la biodiversidad.

Posteriormente, realizar las respectivas evaluaciones de torrencialidad para las condiciones actuales, condición mejorada con restauración hidrológica y forestal, y finalmente una condición de deterioro total de la cuenca.

En este sentido, a continuación se presenta la propuesta e implicancias de la restauración hidrológica y forestal.

#### **3.2.1.1 Propuesta de uso de la tierra como efecto de la restauración hidrológico y forestal**

La propuesta de un programa de restauración hidrológica y forestal se base en tres principios:

- Usar las tierras en sus verdaderas capacidades de uso mayor, definidas por características fisiográficas y edafoclimáticas.
- Bajo este primer argumento, se trata de re asignar usos de la tierra adecuadas en los sitios adecuados, en concordancia con los requerimientos de la gente que habita en el espacio de trabajo.
- Se estima que una restauración hidrológica y forestal para este caso, ocurrirá en el largo plazo (15 a 20 años)

En este sentido, la restauración hidrológica y forestal ocasionará efectos y/o impactos principales como ser:

#### **Impactos económicos y sociales.**

- Un primer impacto importante de tipo económico, es la generación de empleo local y regional (ya sea como mano de obra no profesional, calificada y profesional).
- Se recuperarán suelos útiles para diversos usos: agrarios, pastoreo, forestal, recreacional, urbanístico, etc.
- Los suelos al ser usados en su capacidad de uso y con técnicas adecuadas, elevarán su productividad, consiguientemente los ingresos de los habitantes.

- El buen manejo de suelos y su mejoría edafológica, incurrirá en posibilidades de diversificar la producción, siempre en el marco de la capacidad de uso mayor.
- Impactos favorables sobre el paisaje desde el punto de vista recreacional y/o ecoturístico, ofertando una nueva opción de ingresos económicos para sus habitantes.

#### **Impactos geofísicos.**

- Un primer impacto, está referido sin duda sobre las relaciones de erosión y sedimentación, reduciéndose considerablemente el fenómeno de erosión.
- El efecto amortiguador y atomizador de la energía cinética de las lluvias por parte de la vegetación, es un factor muy importante para reducir el efecto "SPLASH" de las gotas de lluvia, que al impactar directamente sobre el suelo desprende agregados de suelo y los hace disponibles para ser arrastrados por el escurrimiento superficial.
- La mayor oferta de materia orgánica por parte de la vegetación como desechos al suelo, favorece el proceso pedogenético, mejorando la fertilidad y las características físicas del suelo (especialmente la capacidad de retención de humedad e infiltración), lo que va en contra del escurrimiento superficial y la erosión de los suelos.

#### **Impactos sobre el clima y el agua.**

- Incremento en la humedad y disminución de la temperatura, creándose microclimas favorables para el medio ambiente.
- Reducción de las velocidades de los vientos, evitando el efecto dañino de estos como la erosión eólica y la contaminación circundante.
- Mayor cantidad de agua retenida en el suelo disponible para la flora y fauna.
- Mayor cantidad de agua percolada hacia los acuíferos de la región, restaurando de esta manera las áreas de recarga natural de estos.
- Reducción drástica de la escorrentía superficial, como efecto de la mayor capacidad de retención de humedad por parte del suelo.

#### **Impactos sobre la flora y la fauna.**

- Las condiciones favorables de microclimas y de suelos, favorece la biodiversidad.
- La biodiversidad favorece procesos de regeneraciones naturales (agentes polinizantes y/o propagadores de semillas)
- LA flora en general causa retrasos en la llegada del agua de lluvia al suelo (hace del pluviograma más extendido en el tiempo y disminuye los picos de los mismos.
- Los sistemas radicales, la fauna del suelo, la incorporación de materia orgánica favorecen la infiltración y la capacidad de retención de humedad en el suelo.

Como podrá apreciarse, todos estos impactos hacen que las posibilidades de escurrimiento superficial sean reducidas, contribuyendo de esta manera a la disminución de la torrencialidad de la cuenca en cuestión, produciendo mayor almacenamiento de agua en el suelo, lo que se está llamando "cosechas de agua".

En este sentido, y evaluando las características biofísicas de la cuenca, se ha propuesto un cambio de uso de la tierra enmarcados en una restauración hidrológica y forestal, misma que mostraría

sus efectos en los 15 a 20 años de iniciado el mismo. (Asumiendo que esta se desarrolla de manera eficiente con el apoderamiento del mismo por parte de los actores locales). La propuesta de este plan se presenta en la Figura 9.

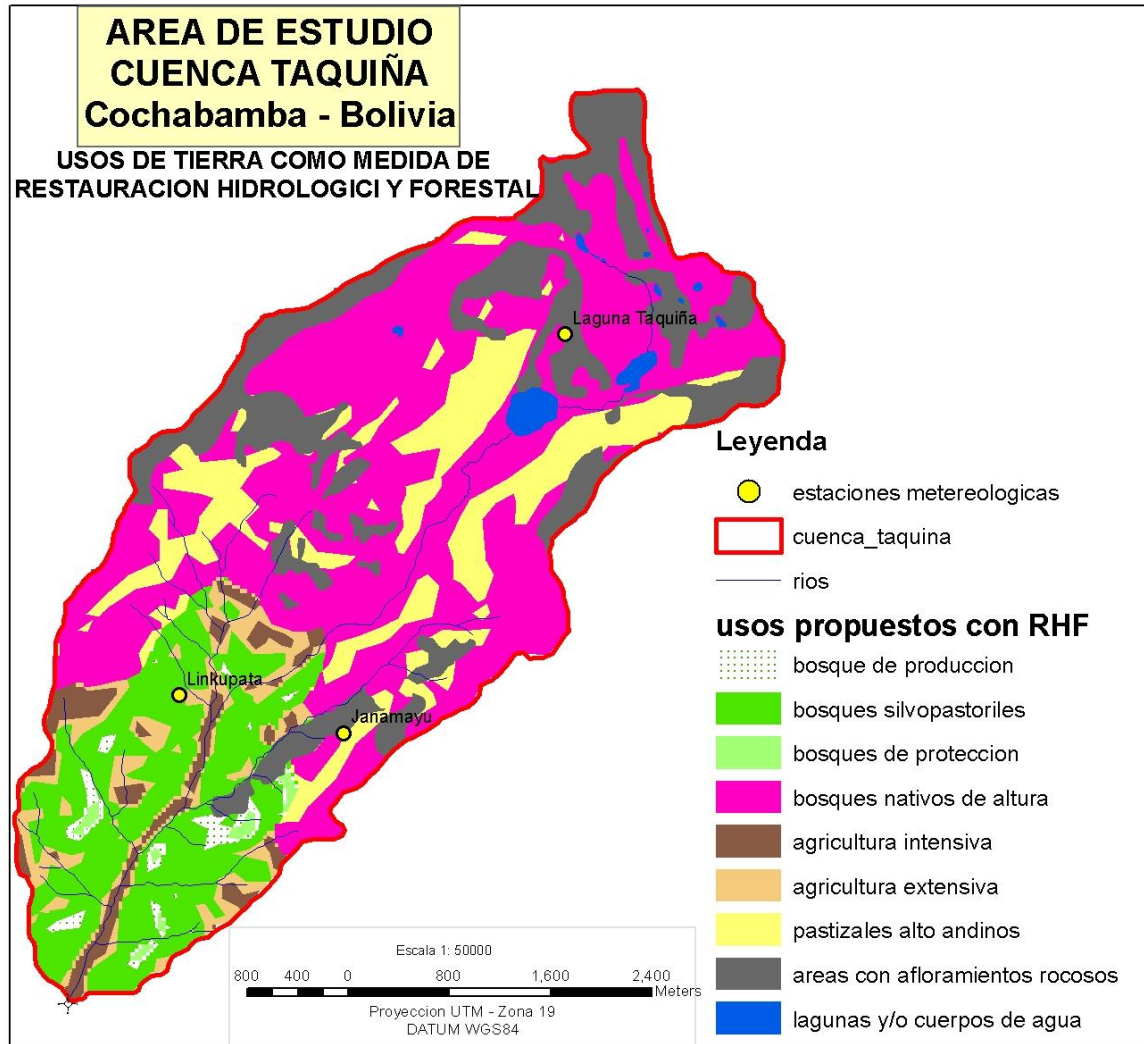


Figura 9. Propuesta de uso de la tierra como medida de Restauración Hidrológico y Forestal (RHF) (Fuente: Elaboración propia)

Entonces, en base a este uso de tierra propuesta, se ha determinado el Número de Curva para esta (NC), misma que corresponde a 67.95 (Ver cuadro 4)

### 3.2.1.2 Evaluaciones mediante simulaciones hidrológicas con el modelo HEC-HMS, sobre volúmenes y caudales para el estado actual y el estado con medidas de restauración.

Bajo todo lo analizado líneas arriba, se procede a correr las simulaciones hidrológicas aplicando el modelo HEC-HMS, con los siguientes datos sistematizados:

- Área de la cuenca 19.495 Km<sup>2</sup>.



- Tiempo de concentración 130 minutos
- Lluvia de proyecto con dos tiempos de retorno (Tr): 20 y 50 años.
- Tres histogramas para cada uno de los Tr (Ver Cuadro 3)
- Tres condiciones de uso de la tierra, que derivan en tres determinaciones de Número de Curva como método de evaluación de escurrimiento superficial (NC): 83.18 (para las condiciones actuales de uso de la tierra), 67.95 (para condiciones de restauración hidrológico forestal) y 86 (para un estado deteriorado de la cuenca).
- Se ha considerado un LagTime de 45.5 minutos (Lag Time = 0.35 Tc).
- La evapotranspiración potencial se la considera no significativa, por lo que se toma valor cero para este parámetro, al igual que la consideración de un caudal base.

Los resultados y comparaciones entre las diferentes condiciones y sus comparaciones se desarrollan en capítulo siguiente.

#### **4. Resultados.**

A propósito de los objetivos de este trabajo, se ha desarrollado un proyecto de simulación aplicando el modelo HEC-HMS v 3.4, con todos los datos indicados anteriormente.

##### **4.1 Hidrología superficial**

La preparación de la modelización ha sido realizada de la siguiente manera:

- Se crea un nuevo proyecto dentro HEC – HMS, denominado “PROYECTO TAQUIÑA”
- Con la opción BASIN MODEL MANAGER, se crean tres cuencas, que corresponden a las tres condiciones de cuenca que se analizará: “TAQUIÑA ACTUAL – TAQUIÑA DEGRADADA – TAQUIÑA RESTAURADA”, definiendo para cada uno de ellos sus parámetros, la variable que los diferencia a estos es el Número de Curva (NC).
- Con la opción “Time-serie data manager”, se crean las seis series de datos de precipitación de proyecto considerado:
  - i. 20 actual Tr 20 años según datos de precipitaciones máximas.
  - ii. 20 mas 10 Tr 20 años, considerando el dato anterior incrementado en 10%
  - iii. 20 con retención Tr 20 años, considerando retención de lluvia por la vegetación.
  - iv. 50 actual Tr 50 años según datos de precipitaciones máximas.
  - v. 50 mas 10 Tr 50 años, considerando el dato anterior incrementado en 10%
  - vi. 50 con retención Tr 50 años, considerando retención de lluvia por la vegetación.
- Con la opción de “metereologic model manager”, se definen las asignaciones a las tres variantes de la cuenca, los datos de precipitación, habiéndose creado en consecuencia seis “MET”.
- Con la opción de “Control Specifications Manager”, se crean las asignaciones de control de simulación, que también serán en número de seis.
- Finalmente para cada uno de estos últimos, se desarrolla una simulación y se ejecutan las mismas, teniendo seis corridas (RUN)

Con todas estas especificaciones (Ver figura 10), se procedió a ejecutar las simulaciones, cuyos resultados pasamos a considerarlos a continuación:

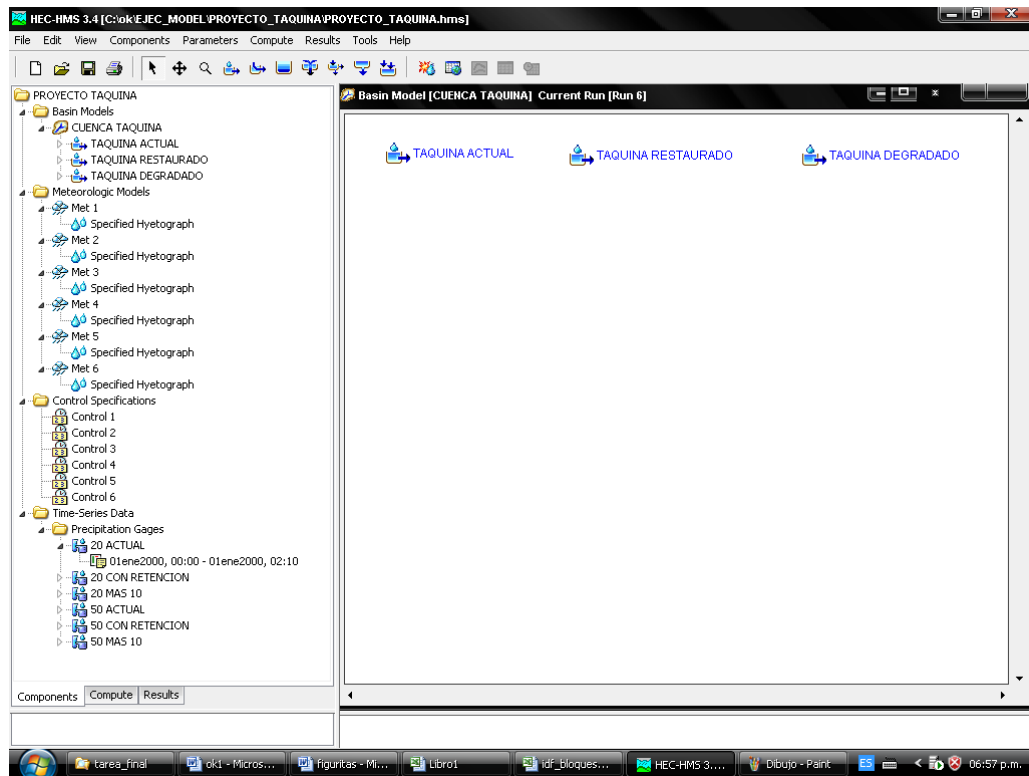


Figura 10. Especificaciones para las simulaciones hidrológicas con HEC – HMS (Fuente: Elaboración propia)

## 4.2 Resultados de la modelizaciones hidrológicas de superficie

### **Resultados sumarios para TR 20 años.**

La Figura 11, muestra los caudales picos ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), para cada una de las variantes de las cuencas y las tres variantes de precipitación de proyecto; comparando los resultados de esta figura, el estado de cuenca actual con el estado restaurado, apreciamos el notable efecto en la disminución del caudal pico de 23.6 a 5.4  $\text{m}^3/\text{s}$ , cuando se considera la precipitación máxima actual; esta reducción es más aún si consideramos la condición de precipitación con la variante de tomar en cuenta cierta retención de agua de lluvia por parte de la vegetación durante el evento pluviométrico (de 21.3 a 5  $\text{m}^3/\text{s}$ ). En la figura 12 se puede apreciar los resultados del modelo HEC-HMS

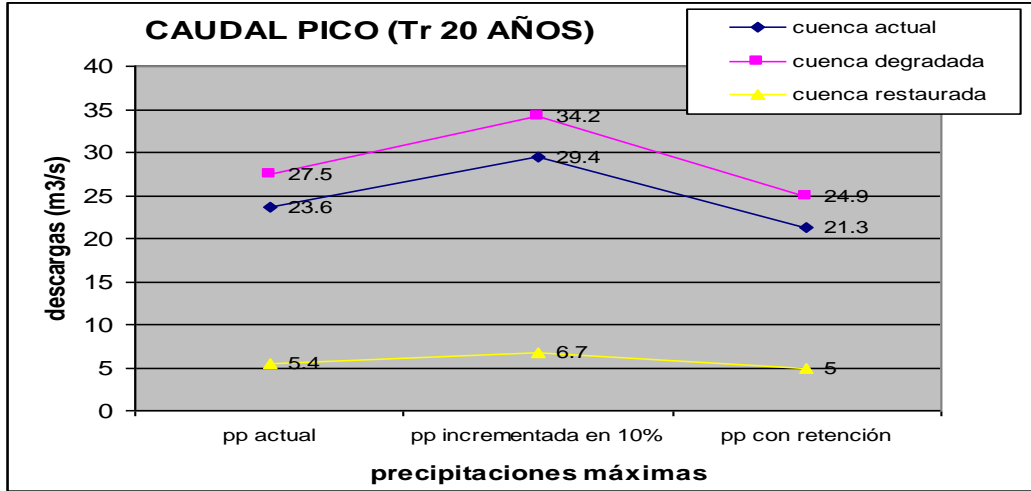


Figura 11, caudales picos a las tres variantes de la cuenca y las tres variantes de precipitación de proyecto (Tr 20 años).

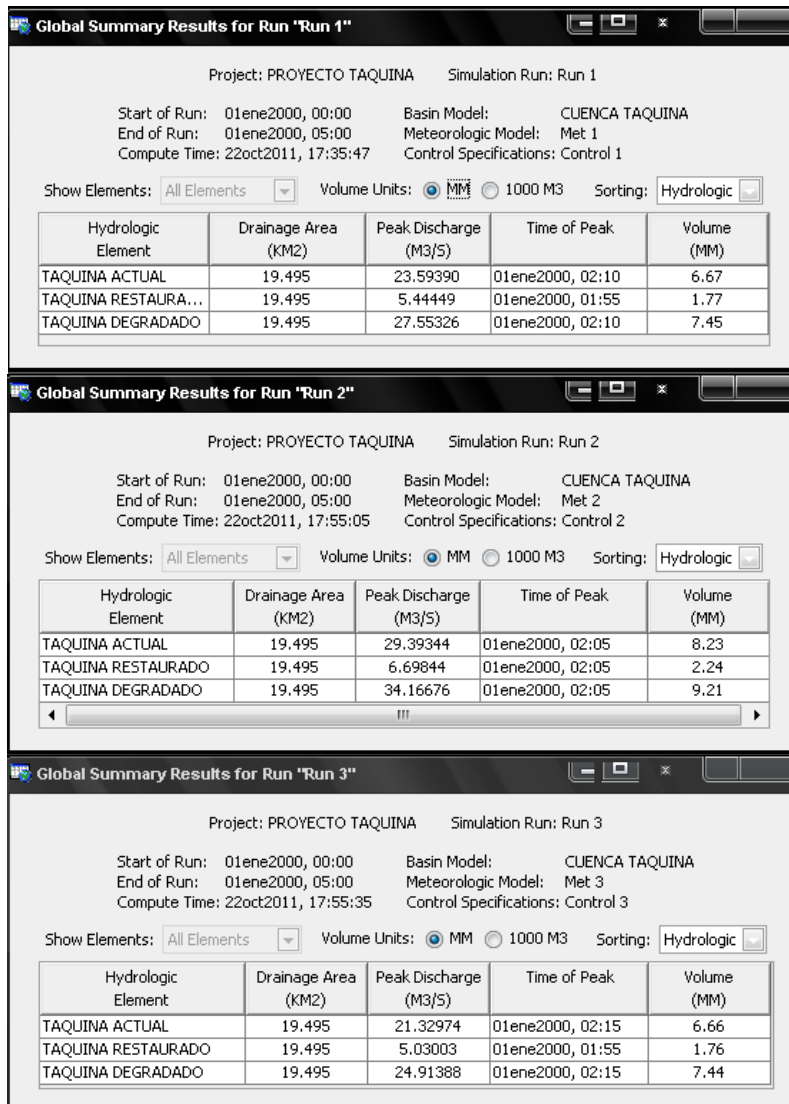


Figura 12, Resultados de caudales picos para TR 20 años, con las tres variantes de estado de cuenca y tres variantes de precipitación de proyecto.

**Resultados sumarios para TR 50 años.**

Igual que para el caso anterior, se realiza este análisis obteniendo el siguiente resultado (ver figura 13)

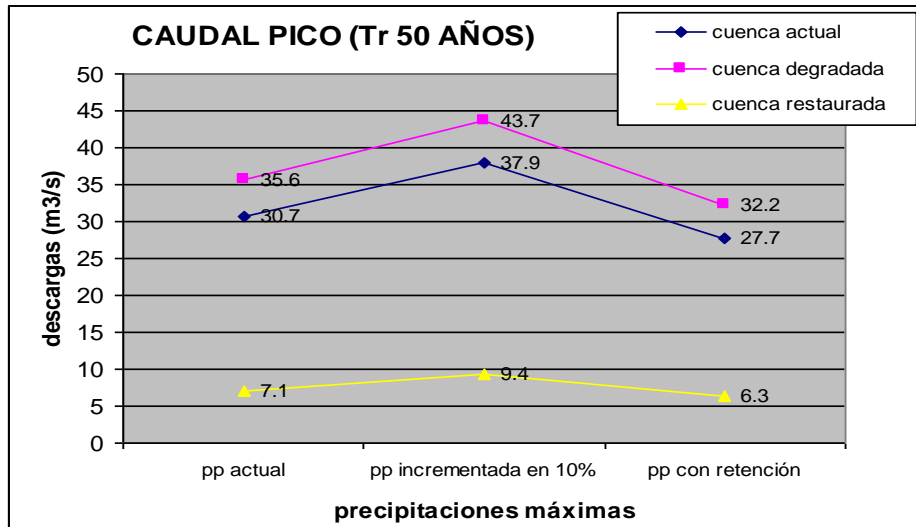


Figura 13, caudales picos a las tres variantes de la cuenca y las tres variantes de precipitación de proyecto (Tr 50 años).

Los resultados de la figura 13, corrobora los obtenidos en la figura 11, donde se denota el efecto positivo de los caudales picos, lo que en otras palabras significa reducir la torrencialidad de la cuenca y el poder erosivo de las lluvias en la condición de cuenca restaurada.

La figura 14, muestra los resultados sumarios determinados por el modelo HEC-HMS

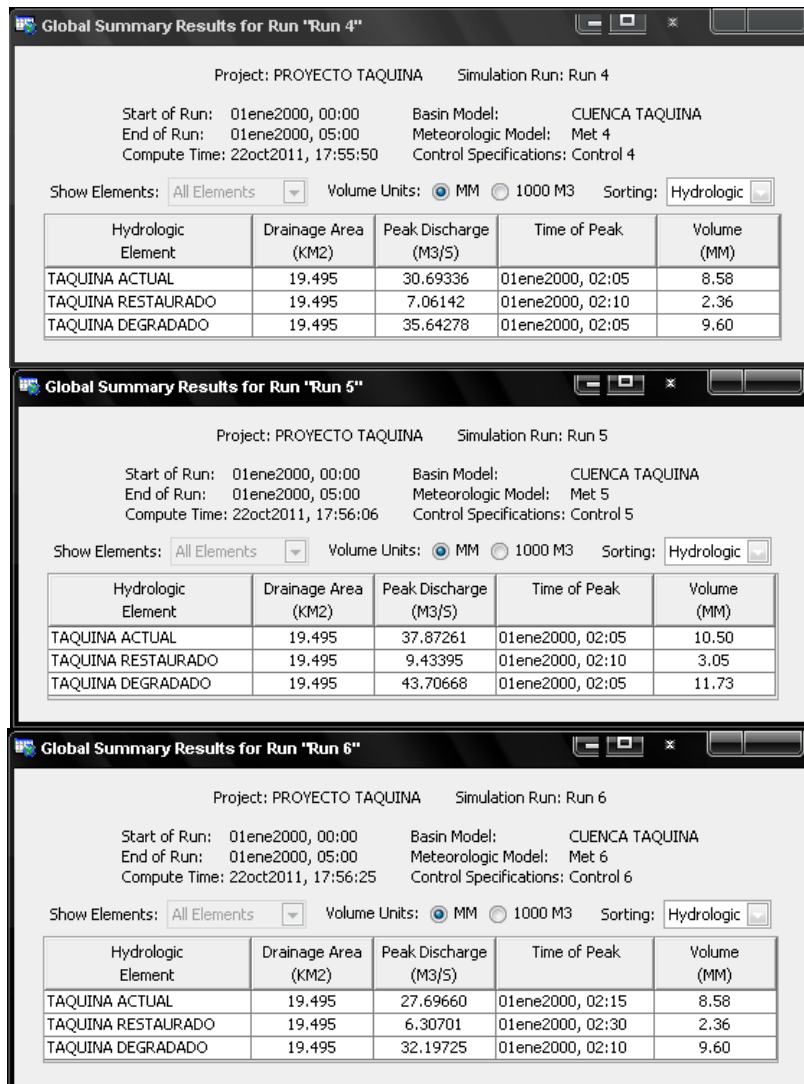


Figura 14, Resultados de caudales picos para TR 50 años, con las tres variantes de estado de cuenca y tres variantes de precipitación de proyecto.

#### 4.2.1 Evaluaciones de los caudales de las simulaciones, en los estados actuales y el estado con cuenca restaurada hidrológica - forestalmente y estado deteriorado

##### Para TR = 20 años

La Figura 15, muestra los resultados arrojados por el modelo para una precipitación de intensidades máximas con un periodo de retorno de 20 años, para los tres estados de la cuenca Taquiña (actual – degradado – restaurado)

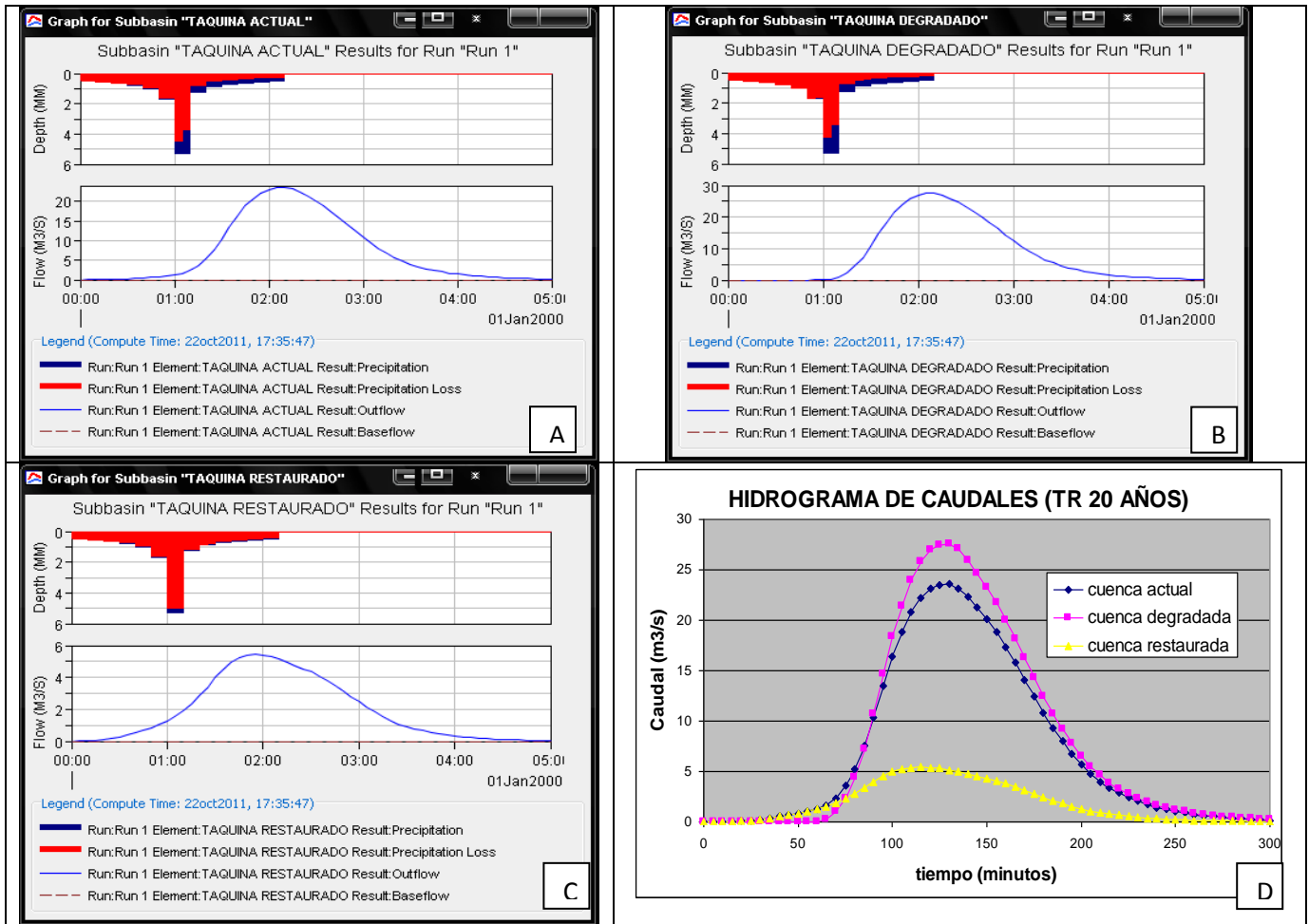


Figura 15. Resultados de diagramas para lluvia, pérdidas y e hidrogramas para TR 20 años

En esta figura se puede apreciar de manera remarcable (D), el efecto sobre los hidrogramas producidas por las lluvias en los tres estados de manejo de la cuenca. En esta se observa que el estado actual de la cuenca muestra caudales picos en el orden de 23.6, el estado de deterioro total de la cuenca 27.6, y el estado con restauración hidrológica y forestal de 5.5 m<sup>3</sup>/s.

Esto significa que del estado actual, el caudal pico por efecto de la restauración hidrológica y forestal corresponde a solo un 16.3%; vale decir que un 83.7 del escurrimiento al momento del caudal pico es retenida en la cuenca.

La figura 16, muestra esta relación en términos de volúmenes de agua, relacionando la precipitación y las evacuaciones de agua de la cuenca, para los tres estados de la cuenca (TR 20 años)

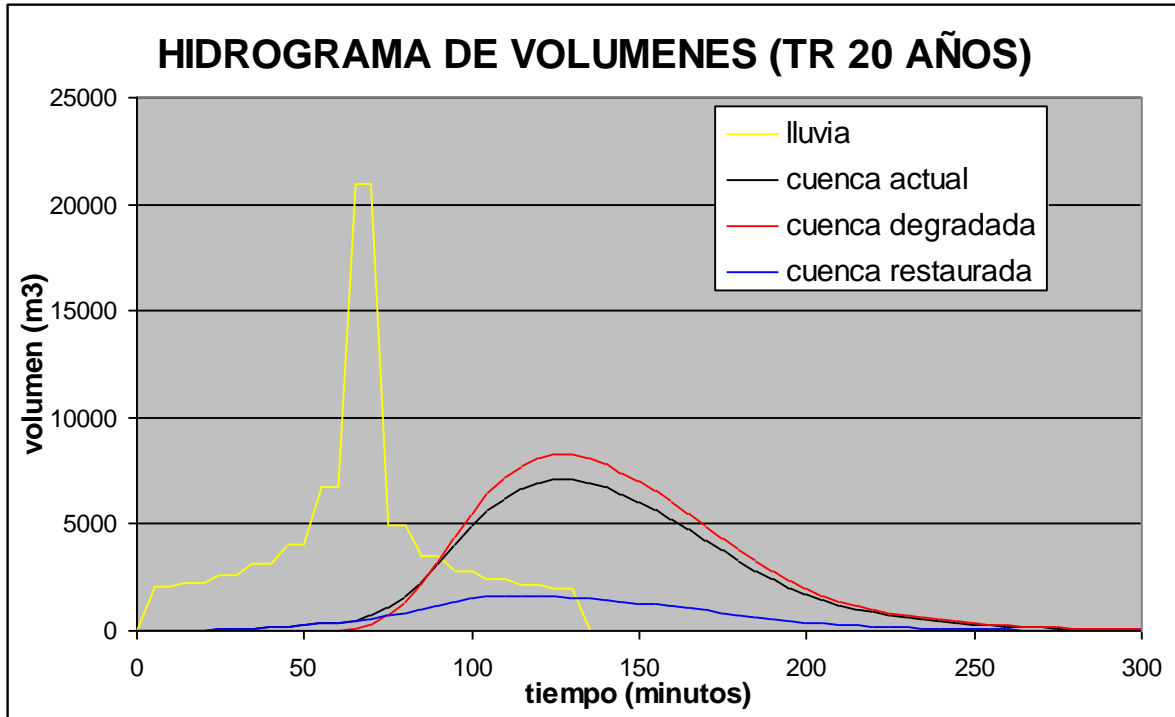


Figura 16, relaciones de volúmenes de agua que ingresan y se evacuan de la cuenca en sus tres estados de manejo.

**Para TR 50 años.**

Situación muy similar para TR 20 años se da con la precipitación para TR 50 años. (Ver figura 17)

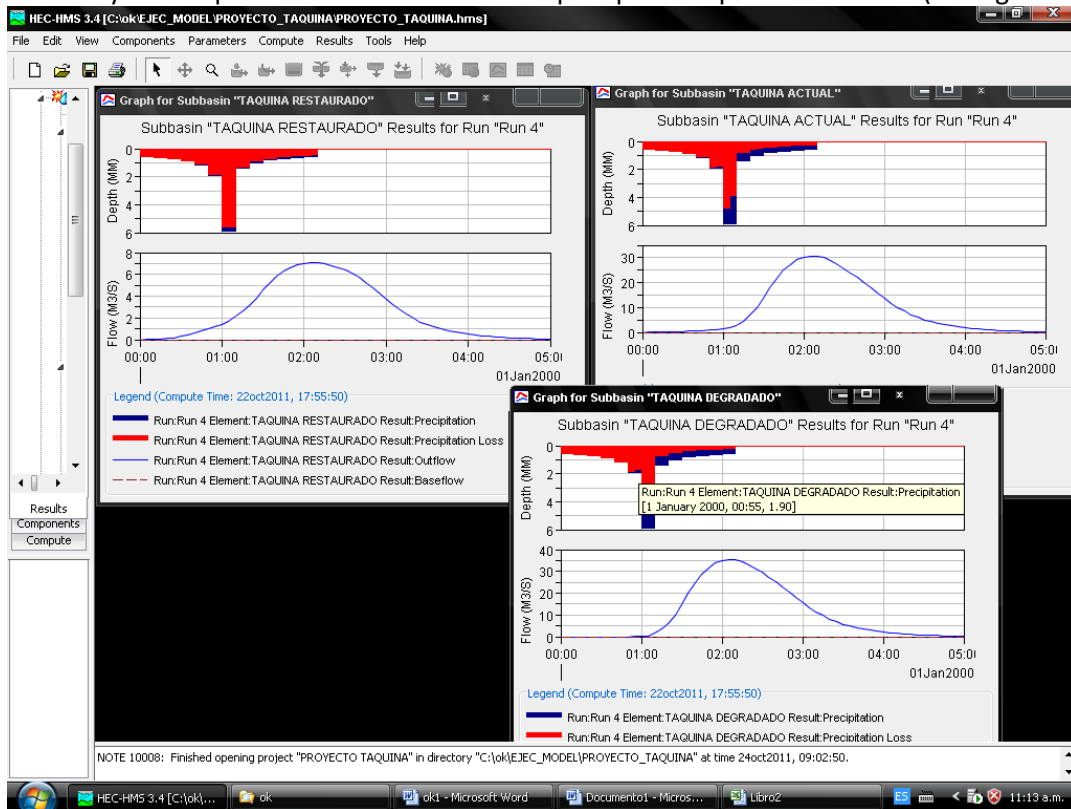


Figura 17. Resultados de diagramas para lluvia, pérdidas y e hidrogramas para TR 50 años

En esta figura, el caudal pico para el estado actual de la cuenca con TR 50 años corresponde a 30.53 m<sup>3</sup>/s, y siendo que para el estado de cuenca restaurado, este caudal solo llega a 7.06 m<sup>3</sup>/s, lo que significa una disminución del caudal en un 73%.

Sin lugar a duda, estas reducciones de caudales picos son también sinónimos de reducción de torrencialidad de la cuenca considerada, lo que seguramente también tendrá un significado positivo en la reducción del riesgo potencial de erosión hídrica de suelos, una mayor retención de humedad en el suelo que conllevara a mejores condiciones para la productividad y la biodiversidad en general; así como también la constitución de un sumidero para la alimentación de los acuíferos y con el tiempo a la posible formación de un caudal base por el escurrimiento hipodérmico como efecto de la retención de humedad en el suelo.

#### **4.3 Evaluación de riesgos potenciales de erosión.**

La evaluación del riesgo potencial (tomada del estudio exploratorio del riesgo potencial de erosión hídrica de suelos – Delgado 2007), se lo toma como un antecedente más del estado actual de manejo de la cuenca, que ahora en la etapa de los resultados viene a justificar la necesidad de instaurar un programa de restauración hidrológica y forestal para el área de estudio.

Como podrá apreciarse en la figura 18, las condiciones actuales son extremadamente preocupantes, dado al estado deplorable de manejo actual de la cuenca, lo que sin lugar a duda es el causante de la torrencialidad de esta y las demás cuencas vecinas.

No entraremos en consideraciones sobre el modelo desarrollado para determinar esta cobertura de erosión, ya que pese a sus múltiples críticas, consideramos que sirve este para discriminar al menos cualitativamente el riesgo potencial, y solo lo consideramos a ese nivel, habiéndose verificado en campo.



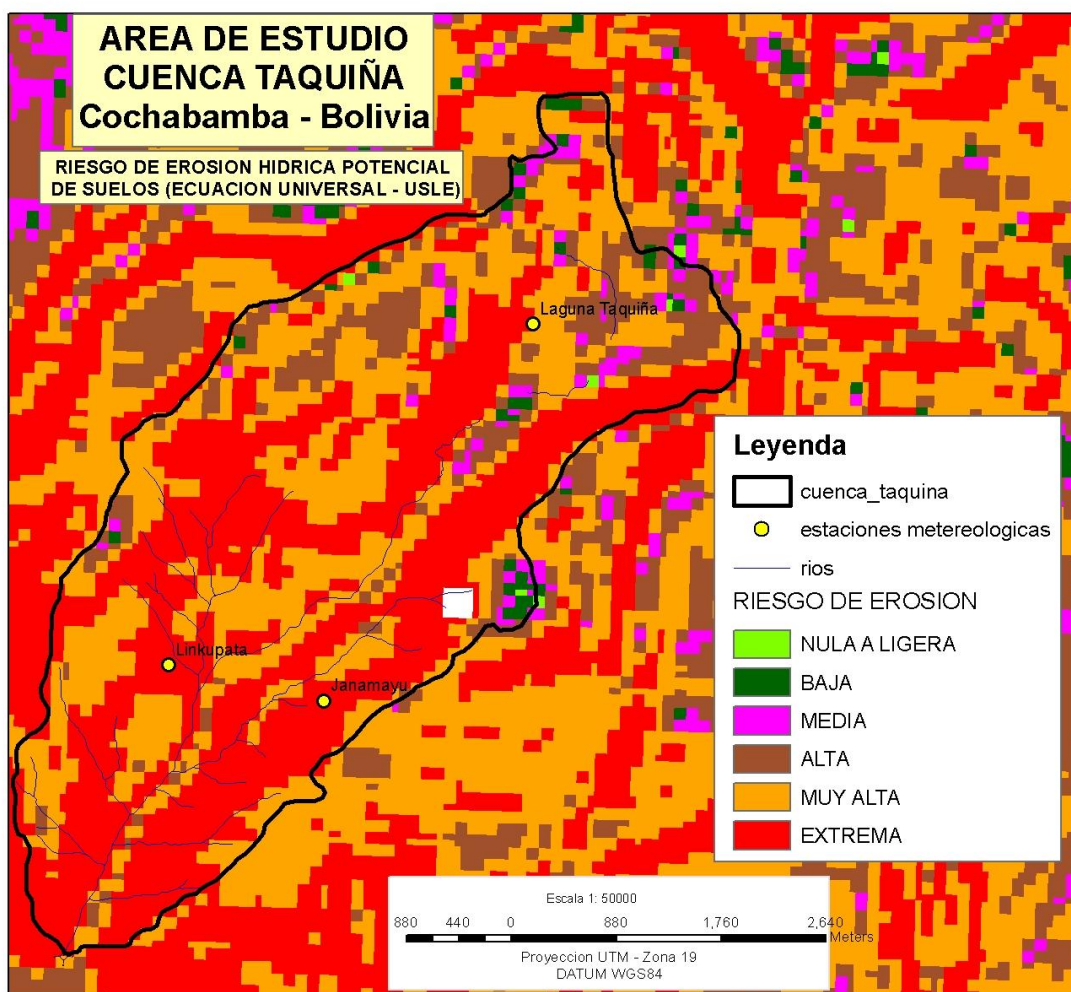


Figura 18. Cobertura de riesgo potencial de erosión hídrica de suelos (Fuente: Delgado 2007).

## 5. Conclusiones y recomendaciones generales

### 5.1 Conclusiones.

Las conclusiones a las que arribamos son las siguientes:

- Actualmente la cuenca Taquiña tiene un estado de manejo muy deficiente, lo que muestra que los riesgos potenciales de erosión hídrica de suelos es muy alta y extrema.
- Estas condiciones de erosión de suelos, está conllevando a que las pocas áreas productivas que existen en el mismo vayan perdiendo sus capacidades productivas, lo que incide de manera directa en la pobreza de los pobladores del área.
- Se ha determinado que para las condiciones actuales de manejo, y peor aún para un estado mucho mas degradado de la cuenca, los caudales de crecidas

considerando TR de 20 y 50 años, tienen un carácter de alta torrencialidad, con caudales picos del orden de 23.6 y 30.53 m<sup>3</sup>/s.

- La propuesta de un plan de uso y manejo de tierras como componente de un programa de restauración hidrológico y forestal, muestra claramente que la torrencialidad de esta cuenca puede reducirse en un 83.7% y 73% para el caudal en el momento pico, para precipitaciones de intensidades máximas de Tr 20 y 50 años respectivamente.
- Los caudales picos con manejo de la cuenca restaurada hidrológica y forestalmente (efecto que podría darse después de 15 a 20 años aproximadamente), se reducen a 5.5 y 7.06 m<sup>3</sup>/s, respectivamente para Tr de 20 y 50 años.
- Esta reducción de la torrencialidad de la cuenca, sin lugar a duda reducirá de manera muy significativa el riesgo potencial de erosión de suelos, incrementará la productividad de los suelos y favorecerá a la biodiversidad en el área.
- La mayor retención de humedad por parte del suelo, incrementará también la recarga de los acuíferos y con el tiempo podrá generar un caudal base en el río principal de la cuenca, que actualmente solo tiene caudal temporal.
- Sin lugar a dudas, la propuesta del plan de restauración hidrológica y forestal, prevé un cambio drástico en el uso y manejo de las tierras de la cuenca. En la práctica será muy difícil poder desarrollar todo este programa en su cabalidad, pero si bien podría considerarse modestamente una eficiencia del 50%, las reducciones de los caudales picos podrían estar en el orden de los 40 y 30%, que seguramente también serán aportes muy importantes para reducir la torrencialidad de la cuenca en cuestión.
- Finalmente, los riesgos de la torrencialidad de la cuenca como el acarreo de sedimentos y riesgos de inundaciones hacia las áreas densamente urbanizadas en la desembocadura de la cuenca, se verá reducida y/o minimizada, como efecto de la restauración hidrológica y forestal en el marco del manejo y la reducción de la torrencialidad de la cuenca Taquiña.

## **5.2 Recomendaciones.**

- Es importante que las autoridades locales encargadas del área, se preocupen por el manejo y los usos de la tierra que los pobladores van ejerciendo a la fecha, los indicios de mayor deterioro son latentes.
- Se recomienda que las autoridades encargadas del manejo del área, sistematicen y continúen con la toma de datos meteorológicos principalmente, ya que según estos las tres estaciones meteorológicas que eran automatizadas, fueron robadas y desde el año 2005 no hay registro de datos.
- Que las autoridades puedan fomentar la investigación en el área, ya que por su proximidad a la ciudad de Cochabamba y ser un Parque Nacional, hace atractiva a este aspecto.
- Que las autoridades puedan considerar este trabajo, para poder socializarla y crear conciencia en los pobladores del área.
- Finalmente, la disponibilidad de datos tanto cuantitativa como cualitativamente, es un factor determinante para desarrollar trabajos de calidad, consideramos que esta deficiencia también con la que nos enfrentamos para este trabajo, puede hacer que estos resultados tengan algunas discrepancias con la realidad; sin

embargo, es lo único y lo mejor que se ha podido recabar, quedando siempre las posibilidades de mejorarlo en el tiempo.

## **7 Bibliografía.**

**Barker T. (1990).** Agroforestry in the tropical highland; In: Mack Dicken et Vergara: Agroforestry Classification & Management, 195-227pp.

**Bollinne A. Et Rosseau P. (1978).** Erodabilité des sols, dans: Bull. Société Géographique de Liege, n° 14 avril, 127-140pp.

**Buol S. W. (1988).** Génesis y clasificación de suelos, Ed. Trillas, México, 417p.

**Carter J.R. (1988).** Digital Representation of Topographic Surfaces. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 54, N° 11, pp1577-1580.

**(CEPAL, 1999).** Anales de simposio internacional de aguas

**Collet C. (1992).** Systemes d'Information Geographique en mode image. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lousanne, Suisse, 186p.

**Dedieu J. P (1989).** Télédétection et montagnes, un outil privilégié pour l'étude des milieux d'altitude, Revue de Géographie Alpine, Tome LXVII.

**Delgado A. J. L, (1996).** La province de Tiraque, Cochabamba – Bolivie, Application d'un Système d'Information Geographique (SIG) et Recherche en Télédétection, Université de Liège – Belgique, Faculté des Sciences, **Thèse de Maîtrise en "Géologie des Terrains Superficiels", 120p.**

**Delgado A. J. L, (2007).** Evaluación del riesgo potencial de erosión de suelos para Bolivia, Centro de Investigaciones y Aplicaciones Geomáticas CIAG UMSA – INFOGEOLOGIA, Abril 2007, **40p.**

**Eastman (1994),** Sistemas de información geográfica en modo imagen, Universidad de Clark – USA, 875 p.

**ERTS – GEOBOL (1982).** Carta Geológica del Departamento de Cochabamba, Escala Aproximada 1:250000.

**Food Agriculture Organisation (FAO) (1976).** Cadre pour l'évaluation des terres. Bulletin pédologique de la FAO, N° 32.64p

**Gomez I et al, (2005),** La gestión territorial participativa, hacia la búsqueda de medios de vida rurales sostenibles: el caso de la mancomunidad la montañosa, Programa Salvadoreño de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente (PRISMA), 44p

**Heush J. M. (1970).** Estimation et controle de l'érosion hydraulique. Soc.sci. Nat. Phys. Maroc.

[http://es.wikipedia.org/wiki/Parque Nacional Tunari](http://es.wikipedia.org/wiki/Parque_Nacional_Tunari)

**Holdridge R. (1967).** Ecología basada en zonas de vida, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícola (IICA). San José – Costa Rica, 216p.

[\(\[http://es.wikipedia.org/wiki/Parque Nacional Tunari\]\(http://es.wikipedia.org/wiki/Parque\_Nacional\_Tunari\)\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Parque_Nacional_Tunari)

**Kirkby M. J et Morgan R. P. C. (1980).** Soil erosion, Geomorphological Research Group, Ney York, USA, 312p.

**Legros J. P. (1996).** Cartographie des sols Del analyse spatiale a la gestion des territoires, Collection gérer l environnement, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 321p.

---

**LHUMSS – PROMIC (2005),** Caracterizacion precipitacion extrema en estaciones automaticas LHUMSS-PROMIC , Cochabamba - Bolivia

**Mathieu L. (1977).** La géologie et la Géomorphologie quaternaire comme bases fondamentales pour une juste et une cartographie rapide des et des milieux, application a la province de Taza (Maroc) et dans la cuvette d Andapa (Madagascar). Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Gembloux-Belgique, 739p.

**Ministerio de Medio Ambiente de España, 1998,** Restauración Hidrológica y forestal, control de erosión y defensa contra la desertificación, Madrid,

**Nania S. Leonardo, Gómez V. Manuel, (2006),** Ingeniería Hidrológica, Segunda Edición, Grupo Editorial Universo, España, 278 p.

**Programa de Repoblamiento Forestal (CORDECO-COTESU) (1992).** Carta ecológica “Holdridge” de la zona de trabajo de PROFOR. Escala 1:50000.

**Programa de manejo Micro Cuencas (PROMIC) (1996),** Caracterización biofísica de la cuenca taquiña, Plan rector de gestión Proyecto PROMIC, IC COTESU.

**Wischmeier W. H. Et Smith D. D. (1960).** A universal soil-loss estimating equation to guide conservation farm planning. 7 th intern. Congr. Soil Science, Vol 1: 418-425pp.