

Determinación del potencial hídrico superficial en los sectores Pongo Pampa y Agrotakesi del municipio Yanacachi provincia Sud Yungas departamento de La Paz

Wily Marco Flores Mancilla.

RESUMEN:

La determinación de potencial hídrico superficial tiene por objeto reconocer las potencialidades y restricciones de los recursos hídricos en cuencas hidrográficas, por medio de inventario de RRHH, estudio de escurrimiento superficial a nivel de cuenca por medio de uso de Sistemas de Información Geográfica, el objetivo determinar parámetros morfológicos en cuencas hidrográficas. Los pasos metodológicos parte con la identificación y clasificación de la cuenca, los datos de la presente investigación identifican los actuales y potenciales usuarios, con el análisis histórico de datos climáticos y la complementación de estudio de balance hídrico de la cuenca identificando en el mes con la oferta más baja, el mes de mayor oferta en RRHH

PALABRAS CLAVE:

Potencial Hídrico Superficial – Yanacachi – Sub Yungas

ABSTRACT:

The determination of surface water potential is intended to recognize the potential and limitations of water resources in watersheds, through inventory R study of surface runoff at the basin level through use of Geographic Information Systems, the objective determine morphological parameters in watersheds. The methodological steps part with the identification and classification of the basin, the data of this research identify current and potential users, with the historical analysis of climate data and complementation study water balance of the basin identifying in the month with the lowest bid, the highest bid month HR.

KEY WORDS:

Potencial Hídrico Superficial – Yanacachi – Sub Yungas

AUTOR:

Wily Marco Flores Mancilla, Docente de la Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), La Paz-Bolivia, wily_cafe@yahoo.es

DOI: <https://doi.org/10.53287/wcxa4738eo18c>

1. INTRODUCCIÓN

La provincia Sud Yungas está compuesta por 5 municipios de los cuales una es el municipio de Yanacachi, de geografía accidentada propia de los yungas paceños, surcados por numerosos ríos y riachuelos y de vegetación abundante de montaña.

En el municipio de Yanacachi se desenvuelven actividades agrícolas como el cultivo de café, cítricos, bananos, paltos y otros la actividad pecuaria es rudimentaria, se desarrollan actividades mineras en zonas de cotas altas del municipio siendo la empresa minera la Chojlla la más representativa. Las condiciones medioambientales propias de zona sub tropical.

La zona de estudio se encuentra la empresa minera la Chojlla, la Empresa Hidroeléctrica Boliviana (HB) y la empresa agrícola AGROTAKESI, esta última dedicada a la producción de café de alta calidad para mercado de exportación. Es en esta área geográfica donde se encuentran los dos sectores de estudio las unidades hidrográficas Pongo Pampa y Agrotakesi, por donde discurren los ríos Pongo Pampa y Livinusa correspondientemente.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

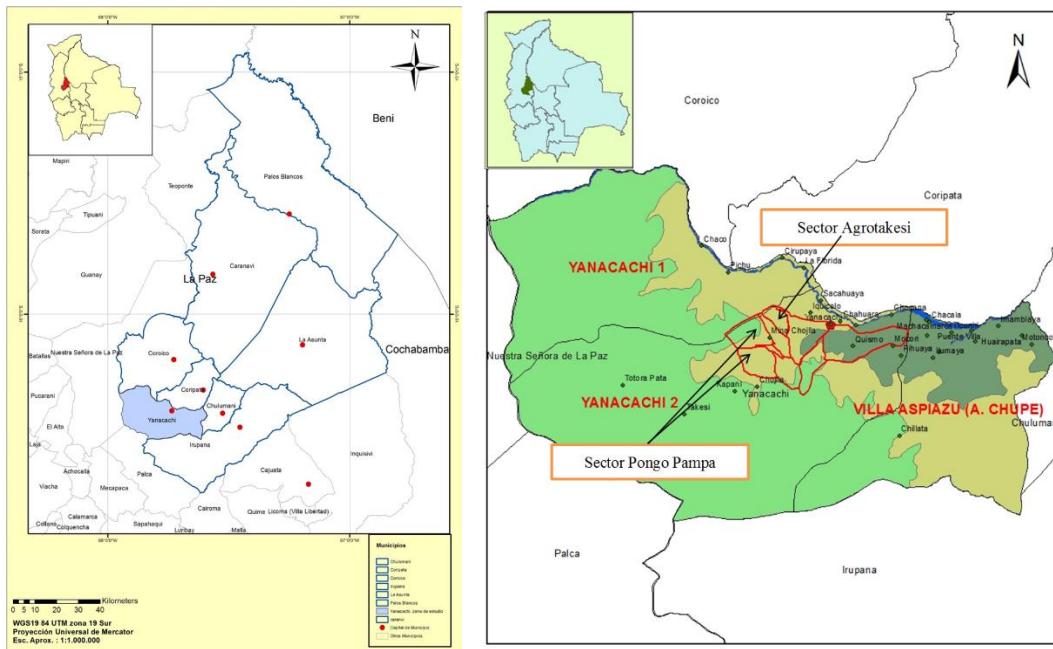
2.1 Localización

El municipio de Yanacachi pertenece a la tercera sección municipal de la provincia Sur Yungas del departamento de La Paz, Bolivia; formando parte

integrante del sistema fluvial de la cuenca del Amazonas (Alfaro et al. 2010).

Yanacachi cubre un área estimada de 576 Km² y se ubica entre las coordenadas: 16°27' Sur, 67°56'

Oeste y $16^{\circ}25'$ Sur, $67^{\circ}36'$ Oeste, a una altura comprendida entre 4500 y 1500 metros sobre el nivel del mar.



Fuente: Elaboración propia (2016)

Figura 1: Ubicación de las áreas de estudio Agrotakesi y Pongo Pampa

Los rangos de precipitación acumuladas anuales medias para la región son del orden de 950 a 1100 mm, la temperatura media del municipio oscilan entre 19 a 20 °C.,

2.2 Metodología

Los pasos metodológicos que utilizaron se representan en el siguiente esquema:

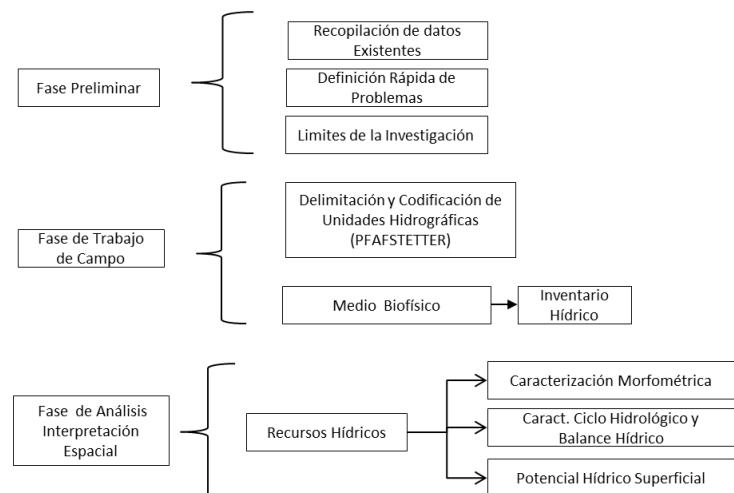


Figura 2: Pasos metodológicos

2.2.1 Fase Preliminar

Recopilación de datos existentes investigando las fuentes disponibles de investigaciones anteriores que refieran al tema y muy especialmente trabajos realizados en proximidad a la zona de investigación, definición rápida de problemas por medio de análisis de las implicaciones posibles problemas que emergerían durante la investigación y determinación de los límites de la investigación con el objeto de determinar los alcances no solo geográficos si no también definir los objetivos a ser alcanzados.

2.2.2 Fase de Trabajo de Campo

2.2.2.1 Delimitación y codificación de unidades hidrográficas (PFASTETTER): por medio de herramientas que ofrecen los paquetes informáticos de Sistemas de Información Geográfica (Arc GIS 10.1) se definieron las dos unidades hidrográficas Pongo Pampa y Agrotakesi.

a) Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas de Bolivia Metodología PFASFSTETTER

La gestión de los recursos naturales en general y de los recursos hídricos en particular considera a la cuenca como el espacio territorial más adecuado. Las unidades hidrográficas están definidas por fronteras naturales las cuales no toman en consideración las divisiones políticas entre países ni al interior de un país (Arce.2019).

b) Método Pfafstetter

Es una metodología que consiste en asignar Identificadores (Ids) a unidades de drenaje basados en la topología de la superficie o área de la unidad hidrográfica o de drenaje; es decir asigna identificadores (códigos) a una unidad hidrográfica en función de la unidad de mayor nivel que la contiene, del tipo de unidad hidrográfica (cuenca, intercuenca o cuenca interna) y de la ubicación relativa de la misma.

c) Características Principales

- El sistema es jerárquico y las unidades son delimitadas desde las uniones de los ríos (punto de confluencia de ríos) o desde el

punto de desembocadura de un sistema de drenaje en el océano.

- A cada unidad hidrográfica se le asigna un específico código Pfafstetter, basado en el tipo de unidad hidrográfica y en su ubicación dentro del sistema de drenaje que ocupa, de tal forma que el código es único dentro al interior de un continente.
- Este método hace un uso mínimo de la cantidad de dígitos en los códigos, lo cual permite que el número de dígitos describe el nivel de la unidad hidrográfica.
- La distinción entre río principal y tributario es en función del área drenada o tamaño de la unidad hidrográfica. Así, en cualquier confluencia, el río principal será siempre aquel que está contenido en la unidad hidrográfica de mayor área de drenaje.
- El código de la unidad hidrográfica provee información importante tales como el tipo de unidad de drenaje, nivel de codificación y ubicación al interior de la unidad que lo contiene.

d) Unidad Hidrográfica

El concepto de unidad hidrográfica fue creado por Otto Pfafstetter en 1989, por esta razón a estas unidades se les suele denominar también “ottocuencas”.

Las unidades hidrográficas son área de drenaje limitadas por líneas divisorias de aguas, y que se relacionan espacialmente por sus códigos.

e) Proceso de Codificación

En principio se debe determinar cuál es el curso del río principal que para el caso de esta metodología se determina en función del área de las unidades hidrográficas que lo contienen.

Una vez definido el curso del río principal, se deben identificar las cuatro unidades hidrográficas de área de drenaje que confluyen al río principal constituyéndose las mismas en unidades hidrográficas tipo cuenca que son codificadas con los dígitos pares 2, 4, 6 y 8, en el sentido de aguas abajo hacia aguas arriba, es decir desde la desembocadura hacia la naciente del río principal. Las áreas restantes, se agrupan en unidades

hidrográficas denominadas intercuenca, que se codifican, con los dígitos impares 1, 3, 5, 7 y 9, desde aguas abajo hacia aguas arriba. La unidad hidrográfica 9 constituye la cabecera de cuenca, es decir bajo esta metodología contiene el origen del curso del río principal (Ruiz et al.2010).

2.2.2.2 Medio biofísico: Inventario de recursos hídricos por medio de un recorrido de los cauces de ríos de cada sector de investigación respectivamente definiendo caudales en lugares específicos de los cauces de los ríos.

a) Inventario y Planeamiento de los Recursos Hídricos (IPRH)

El Inventario y Planeamiento de los Recursos Hídricos (IPRH) es una metodología para inventariar y planificar el uso de los recursos hídricos con un conjunto de actores en las (micro) cuencas, los (multi) usos y eventuales conflictos, tanto actuales como potenciales. Es una herramienta para la planificación y uso ordenado y eficiente del agua, mediante la concertación, coordinación y planificación colectiva (Anten et al., 2002).

El inventario de recursos hídricos y el proceso de planeamiento participativo y de concertación forma parte del conjunto de herramientas. Se aplica en la fase inicial de la intervención en una microcuenca, y puede considerarse parte de los estudios y acciones iniciales, junto con la delimitación y de los espacios de gestión y selección de microcuenca de intervención (Anten et al., 2002).

b) Inventario de oferta y demanda

El inventario propiamente dicho consiste en un recorrido de todas las comunidades de la microcuenca, hasta cubrir todo su territorio, para determinar la oferta y de la demanda hídrica existente (Anten et al., 2002)

Comprende la identificación, ubicación, aforo y constatación de usos y usuarios, de todas las fuentes hídricas; y la ubicación y cuantificación de las demandas no satisfechas para uso doméstico, riego, bebederos y otros. Para este ejercicio se escogen los meses más secas del año, a fin de apreciar el potencial hídrico en estiaje (Anten et al 2002).

c) Métodos de Aforo

Para el aforo de ríos, quebradas, canales, acequias y matinales con el uso de aforadores de cresta corta. Hay varios tipos de aforadores en el mundo. El aforador portátil de cresta corta/ aguda. Hay tres modelos uno en forma triangular y dos de forma rectangular para diferentes caudales, (0 – 35, 25 – 100 y 80 – 350 litros / segundo), este tipo de aforador tiene fácil uso e instalación y pequeño error de medición (con una buena instalación y lectura el error es de 3 – 5%), (Figura 1y 2) (Anten et al. 2002).

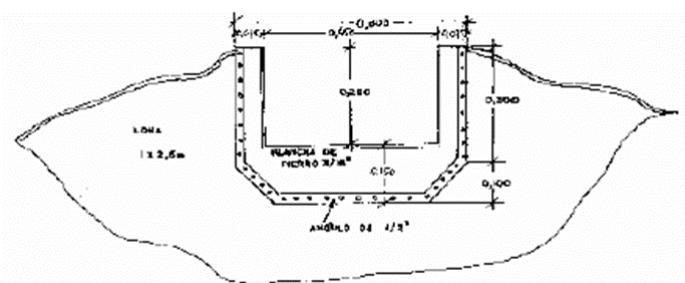


Figura 3. Aforador portátil rectangular para la medición de caudales hasta 80

La instalación, y gráficas para determinación de Ce y Kb etc. son iguales que los presentados a continuación para el aforador rectangular de 0,6 x 0,45 m (Figura 3). La fórmula de descarga es la siguiente:

La descarga del aforador rectangular es dado por la siguiente fórmula (Bos, 1978):

$$Q = Ce \times \frac{2}{3} \times (2g) 0.5 \times (0.45 + Kb) \times (h1 + 0.001)1.5$$

En que: Q = caudal en m³/seg

Ce = coeficiente de descarga

g = coeficiente de aceleración de la gravedad

h1 = carga hidráulica en m

Kb = un factor de corrección dependiente de b/B



Fuente: Anten et al. 2002

Figura 4. Aforo con aforador portátil rectangular

2.2.3 Fase de Análisis e Interpretación Espacial

2.2.3.1 Caracterización Morfométricas.- Por medio de herramientas de sistemas de información geográfica, trabajo de gabinete, con el fin de complementar datos para el balance hídrico de ambas unidades hidrográficas. Los parámetros morfométricos estudiados son: coeficiente de forma (Kf), coeficiente de compacidad (Kc), coeficiente de masividad (Km), densidad de drenaje (Dd), pendiente del cauce principal (S), tiempo de concentración (Tc) y curva hipsométrica.

2.2.3.2 Caracterización Hidrológica y Balance Hídrico.- Con el estudio de variables climáticas se procedió a la elaboración de del balance hídrico para cada unidad hidrográfica.

Afirma Watler et al. 2013b., el balance hidrológico es la cuantificación de los componentes del ciclo hidrológico, en este caso en la cuenca hidrográfica. Algunos de estos componentes son muy afectados por la actividad humana.

Según Moreno 2007 la ecuación general del balance hídrico de la cuenca se expresó como:

$$Pr - Evt - I - R = \nabla S$$

Pr = Volumen precipitado

Evt = Evapotranspiración

R = Escurrimiento Superficial

I = Infiltración

VS = Variación del almacenamiento

Se asumió la ecuación propuesta por Moreno. 2007 debido a que en el transcurso del cálculo del volumen de Variación del Almacenamiento (∇S) los datos requeridos para la misma no son difíciles de conseguir, siendo de existen fórmulas de balance hídrico mucho más complejas.

Para responder a la creciente demanda actual y futura de información sobre el agua, es indispensable conocer el comportamiento de las variables que intervienen en el balance hídrico: Precipitación, Evapotranspiración, Escurrimiento.

2.2.3.4 Potencial Hídrico Superficial.- Realizando la evaluación de las variables de estudio se determinó las características de las dos cuencas hidrográficas.

El establecimiento de la disponibilidad de agua es esencial para la planificación y administración de recursos hídricos del municipio de Yanacachi (Alfaro et al.2010).

La disponibilidad hídrica se estima a partir de las subcuencas que forman parte del municipio y mediante un análisis espacial del volumen total de agua precipitada, y que tiene potencial para ser utilizada en riego, generación de energía eléctrica, abastecimiento de agua potable, etc.

3. RESULTADO

3.1 Delimitación y codificación de unidades hidrográficas (PFASTETTER).

De acuerdo al proceso de delimitación de cuencas hidrográficas por la metodología de codificación PFASTETTER para identificar las unidades de drenaje basado en la topografía de la superficie, se se codificaron los sectores de investigación (Cuadro 1)

Cuadro 1. Codificación de los sectores de estudio

Sectores	Codificación
AGROTAKESI	464482620
PONGO PAMPA	464482621
LOMAS PONGO PAMPA	464482626

Fuente: elaboración propia (2016)

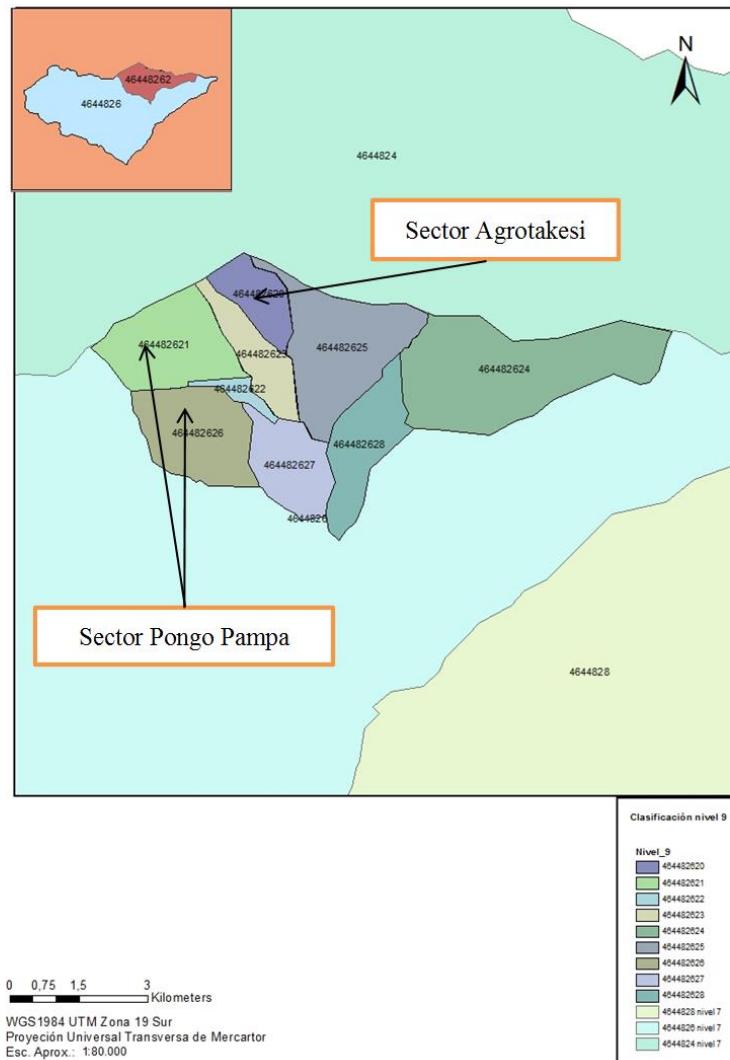


Figura5: Unidades Hidrográficas Sectores Pongo Pampa y Agrotakesi – Nivel 9

3.2 Caracterización Hídrica.

Que es un proceso de terminación cuantitativa, cualitativa de los causes estudiados.

Para ello se recurrió al inventario de recursos hídricos de causes superficiales, se dividió el área de estudio en; Zona de Recarga, Zona de Transición y Zona de Descarga.

Posteriormente se realizó el análisis pormenorizado de los puntos de aforo en cada zona identificada.

3.2.1 Potencial Hídrico Superficial de la Micro Cuenca Pongo Pampa y Agrotakesi

La micro cuenca Pongo Pampa está atravesada por el rio Pongo Pampa el cual discurre hasta desembocar al rio Takesi, cabe recalcar que el cauce que discurre a lo largo de todo el rio aparece y desaparece intermitentemente (Flores.2013).

La micro cuenca Agrotakesi está atravesada por el rio Livinosa el cual discurre hasta desembocar al rio Takesi, y fue a lo largo de este cause en el cual se llevó a cabo el presente trabajo.

El proceso de análisis a detalle, se realizó por medio de caracterización hídrica en primera instancia y

diagnóstico en segundo término.

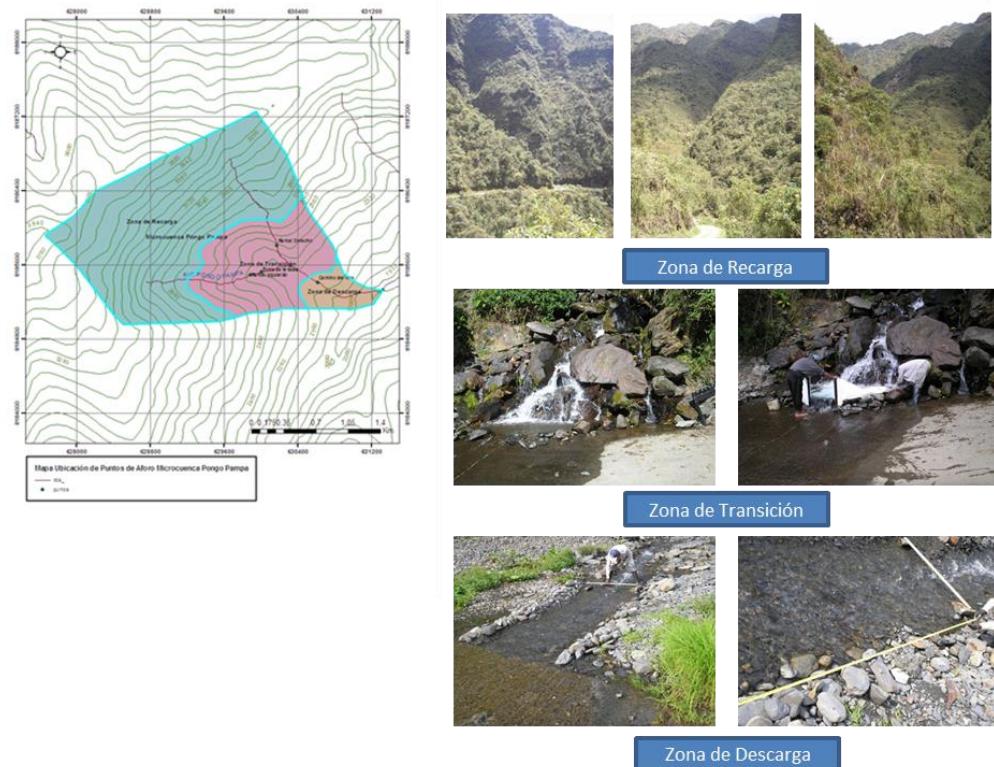


Figura 6. Ubicación de los Puntos de aforo en la Micro Cuenca Pongo Pampa.

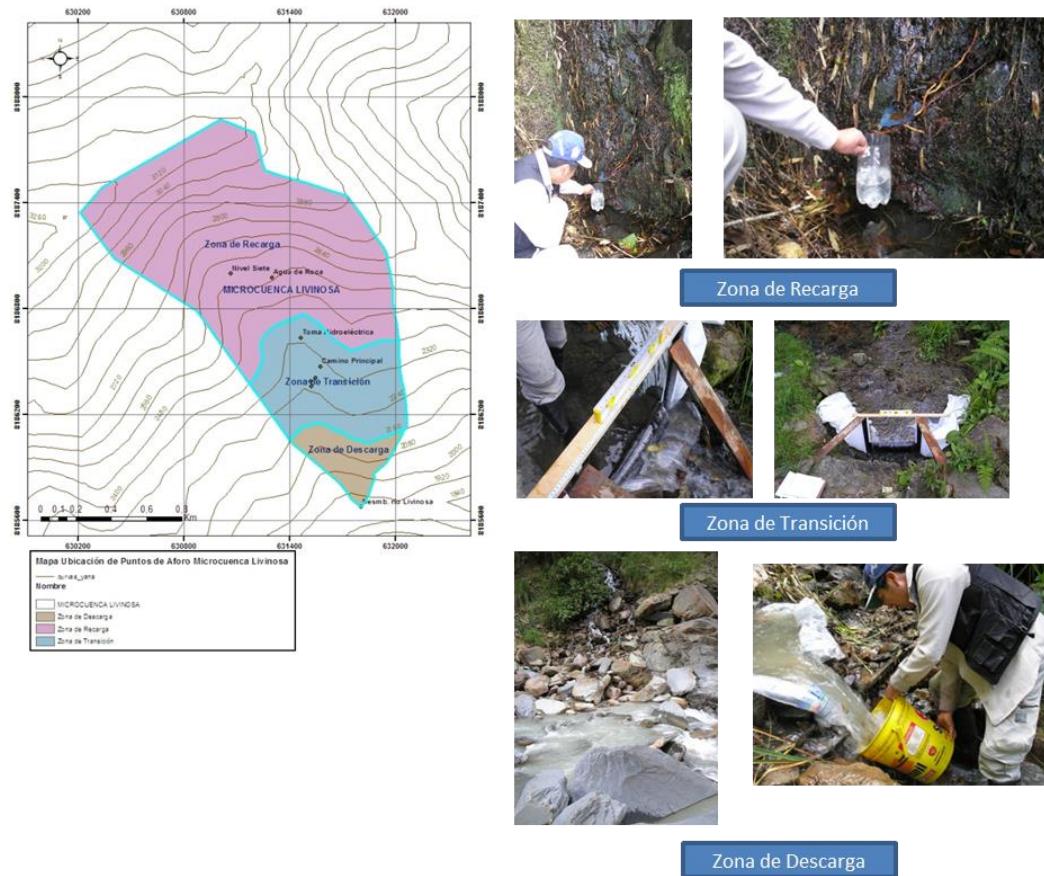


Figura 7. Ubicación de los Puntos de aforo en la Micro Cuenca Agrotakesi.

3.3 Caracterización Morfométrica

Para el análisis de los parámetros morfométricos descritos se hizo uso de la herramienta informática “Estimación de Parámetros Morfométricos en Cuenca” propuesta por Watler et al. 2013d.

Los parámetros estudiados son: parámetros de forma, parámetros de relieve y parámetros relativos a la red hidrográfica.

Cuadro 2. Parámetros morfométricos de las unidades hidrográficas Pongo Pampa y Agrotakesi

	Microcuenca Pongo Pampa	Microcuenca Livinusa
Párametros de forma	Perímetro (m)	9143,08
	Área (km ²)	4,6
	Ind. Compacidad (k)	1,18 (redonda)
	Factor de Forma (kf)	0,38 (mod. achatada)
Párametros de relieve	Altitud Media (H)	3005 m.s.n.m.
	Pendiente Media (Sm)	19,38%
	Curva Hipsométrica (Ch)	valle encajonado
Párametros relativos a la red hidrográfica	Coeficiente de Masiividad	0,64 (Montañosa)
	Densidad de Drenaje (Dd)	0,52 (baja)
	Pendiente Media de Cauce	0,69 (fuerte)
	Tiempo de Concentración (Tc)	1,32 horas
	Número de Orden (N)	2

Fuente: Flores 2013

3.3.2 Caracterización del Ciclo Hidrológico y Balance Hídrico

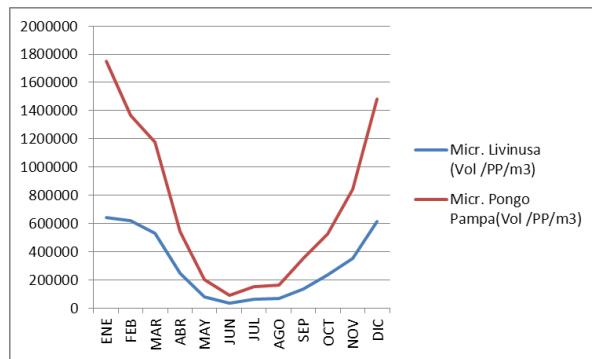


Figura 8. Volumen precipitado en las unidades hidrográficas Pongo Pampa y Agrotakesi

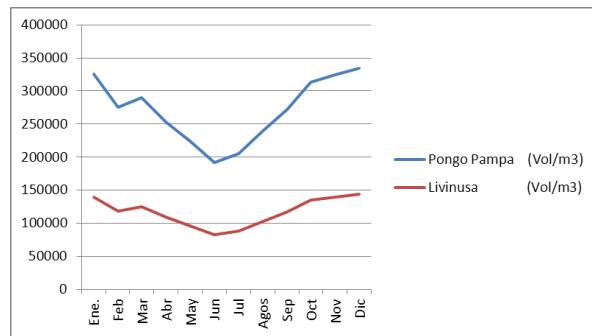


Figura 9. Volumen evapotranspirado en las unidades hidrográficas Pongo Pampa y Agrotakesi

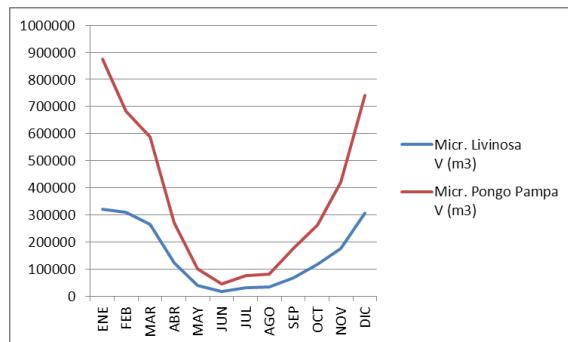
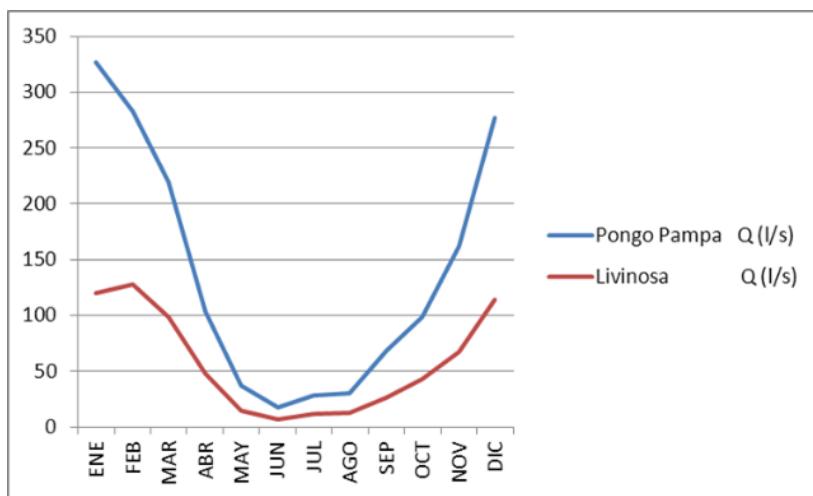
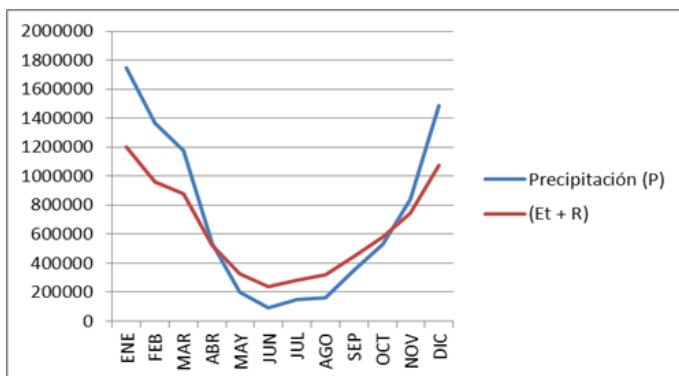


Figura 10. Volumen escurrido en las unidades hidrográficas Pongo Pampa y Agrotakesi



Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Pongo Pampa Q (l/s)	326,257	282,791	219,8981	103,847	37,0056	17,4912	28,2809	30,123	68,2808	98,3243	161,972	277,2638
Agrotakesi Q (l/s)	120,069	127,461	98,99388	47,593	14,2093	6,84591	11,8443	12,7625	26,3036	43,4399	67,4332	113,9757

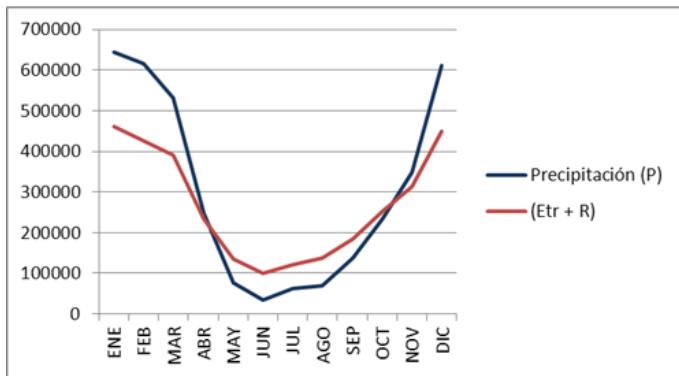
Figura 11. Caudales medios mensuales máximos en las unidades hidrográficas Pongo Pampa y Agrotakesi



Microcuenca Pongo Pampa

Balance anual:

Entradas PP: 8.639.590 m³
 Escurrimiento R: 4.319.795 m³
 Evapotrans. Et: 3.248.831 m³
 Salidas (Et + R): 7.586.626 m³
 Balance : 1.070.964 m³



Microcuenca Agrotakesi

Balance anual:

Entradas PP: 3.609.936 m³
 Escurrimiento R: 1.804.750 m³
 Evapotrans. Et: 1.398.075 m³
 Salidas (Et + R): 3.202.825 m³
 Balance : 407.110 m³

Figura 12. Balance hidrológico en las unidades hidrográficas Pongo Pampa y Agrotakesi

3.4 Propuesta de manejo de Recursos Hídricos

Los análisis hidrológicos en la micro cuenca Pongo Pampa que se encuentra dentro de área de investigación Sector Pongo Pampa nos denota que es una micro cuenca con un volumen anual de agua por precipitación de 8.639.589.80 m³, un volumen considerable, que retornan a la atmósfera como evapotranspiración en un volumen cuantificado de 3.248.831,00 m³, el resto unos 5.390.758,00 m³ se convierte en escurrimiento superficial, en agua subterránea o es aprovechada por los usuarios del R.R. H.H. en la micro cuenca Pongo Pampa (Flores.2013).

El análisis morfométrico en la micro cuenca nos remarca que es de una fisiografía de montaña, el tiempo de concentración está catalogada como muy rápida, con el dato de pendiente media de la cuenca de 19%, nos da como resultado un alto riesgo de erosión, en caso de deforestación o manejo inapropiado de suelos.

Los datos aportados por el inventario de recursos hídricos superficiales sobre el cauce de río Pongo Pampa nos permitió la identificación de los usuarios del cauce a la vez que se cuantificó la demanda de los mismos, los usuarios identificados son: en la zona de transición la empresa Minera Chojlla en el punto de aforo E4 m², donde se encuentra una obra de toma de agua que requiere un caudal de 30 l/s; en la zona de descarga la Empresa Hidroeléctrica Boliviana S.A., que tiene una obra de toma que requiere un caudal de 95 l/s (Flores.2013).

Un factor importante en la gestión de R.R.H.H. es el de respetar los derechos de los actuales usuarios de las aguas del río Pongo Pampa, en este marco las futuras acciones de explotación del recurso agua podrían tomar como referencia el punto de aforo E4 m² (toma de la Hidroeléctrica), ya aguas abajo no existe usuarios directos del cauce del río, es entonces que pasando este punto se planificarían los posibles usos de las aguas del río.

Los análisis hidrológicos en la micro Agrotakesi denota que es una micro cuenca tiene un volumen anual de agua por precipitación de 3.609.936.00 m³, que retornan a la atmósfera como evapotranspiración en un volumen cuantificado de 1.398.075,00 m³, el resto unos 2.211.186,00 m³ se convierte en escurrimiento superficial, en agua subterránea o es aprovechada por los usuarios del R.R. H.H. en la micro cuenca Agrotakesi (Flores.2013).

El análisis morfométrico en la micro cuenca nos remarca que es de una fisiografía de montaña, el tiempo de concentración está catalogada como muy rápida, con el dato de pendiente media de la cuenca de 18.26%, el factor de forma (kf) denota forma achatada, nos da como resultado un alto riesgo de erosión, en caso de deforestación o manejo inapropiado de suelos.

En la zona de transición se encuentra la infraestructura de captación de la empresa Hidrométrica Boliviana S.A. la cual utiliza un caudal 2.18 l/s para cubrir las demandas de un bloque de viviendas próximas a la zona (Flores.2013).

La zona de Transición cuenta con las mejores posibilidades de aprovechamiento del cauce del río Livinusa, el punto E1m1 conocido como camino principal con un caudal de 3.8 l/s, es el punto donde sería factible una obra de captación.

Cabe recalcar la necesidad futura de la empresa AGROTAKESI S.A. que como objetivo a corto plazo se encuentra la ampliación de parcelas productivas de café en 100 ha., en consecuencia se ampliaría la infraestructura de pre beneficio de café, por esta razón los requerimientos de agua serán mayores, y el punto E1m1 cumpliría estos requerimientos (Flores.2013).

4. CONCLUSIONES

- Las microcuencas Pongo Pampa y Agrotakesi aportan significativos volúmenes

de agua en época lluviosa, en época seca mantienen caudales menores pero de ninguna manera despreciables.

- En las dos microcuencas existen usuarios con intereses sobre los recursos hídricos, como punto de partida de plan de manejo esta ante todo el respeto a los derechos ya adquiridos, cualquier intervención sobre los recursos tendrá que partir del consenso de los usuarios.
- Pero se han identificado puntos de menor sensibilidad donde el cauce discurre libremente sin presencia de usuarios aguas abajo, en la micro. Pongo Pampa el punto denominado Camino del Inca que tiene un caudal libremente disponible aguas debajo de 129 l/s.
- En la micro. Agrotakeci en punto de aforo Comino Principal, por el cual discurre un caudal de 3.8 l/s que no es utilizado por ningún usuario hasta su encuentro con el río Takesi aguas abajo.
- Es claro que el uso de dichos recursos partirá del análisis de requerimientos de usuarios, contemplando la relación de costo beneficio de cualquiera futura iniciativa.
- El interés general de los usuarios es conservar los recursos hídricos, por ello es importante mantener intactas y protegidas las áreas de recarga de recursos hídricos, por ello en primera instancia se tiene el trabajo de concientización a los usuarios de los recursos.

Planificación Participativa en el PRONAMACHCS. La Molina – Peru.

2. Alfaro I. Fernández C. D. Maldonado G C, 2010. Plan Municipal de Ordenamiento Territorial de Yanacachi. Fondo Nacional de Desarrollo Alternativo (FONDAL). Proyecto Sistemas de Manejo del Uso de Suelos y Monitoreo de los Yungas de La Paz y el Trópico. La Paz – Bolivia.
3. Arce L. Aquiles 2009. Manejo Integrado de Cuenca Hidrográficas y su Monitoreo. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. La paz Bolivia.
4. Flores M. Wily M., 2013. DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL HÍDRICO Y DE SUELOS EN LOS SECTORES AGROTAKESI Y PONGO PAMPA DE LA MICROCUENCA TAKESI, MUNICIPIO YANACACHI, Tesis de Maestría. La Paz – Bolivia. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés.
5. Moreno, A. Renner, I. 2007. Gestión Integral de Cuenca la Experiencia del Proyecto Regional Cuenca Andina, Centro Internacional de la Papa. Lima Perú. pp 26 –27.
6. Watler R.W., Faustino M. J 2013 b. Unidad II. Construcción del Plan de Gestión de Cuenca Hidrográfica. Curso Internacional en Línea de Especialización en: “Gestión Integral de Cuenca Hidrográfica”. CATIE. Turrialba. Costa Rica.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍCAS

1. Aten M., Willet H., 2002. Guía para el inventario y Planeamiento de los Recursos Hídricos en Microcuencas. Serie: