DIRECCION DE PLANIFICACION DEL GADM COTACACHI

OBJETO DE CONTRATACIÓN:
CONSULTORÍA PARA ELABORAR E IMPLEMENTAR UN DISEÑO HIDROLÓGICO EN LA VERTIENTE ORIENTAL DEL CERRO COTACACHI
CONTRATO No. CDC-GADMSAC-009-2015

FASE 2. Elaboración participativa de un diseño hidrológico de la cuenca

PRODUCTO 2: Elaboración participativa de un diseño hidrológico de la cuenca la Marquesa

ENTIDAD CONSULTORA: Instituto de Estudios Ecuatorianos

Cotacachi, 17 de Febrero de 2016

Elaboración participativa de un diseño hidrológico de la cuenca la Marquesa

Resumen

El diseño hidrológico, entendido como la modificación de la topografía a través de movimientos del terreno, siguiendo lineamientos técnicos a través del sistema key line con el objetivo de captar y almacenar agua de lluvia (Torres 2013, Gras 2010), es uno de los temas que se muestran como prioritarios para diferentes actores de la cuenca la Marquesa. En una cuenca donde las parcelas son de tamaño reducido y donde existen diferentes actores y propietarios involucrados sobre las microcuencas y donde las comunidades gestionan el uso del suelo de manera participativa, el proceso de decisión de realizar un diseño hidrológico es distinto a los que se podría dar en un predio privado único donde un solo propietario centralizaría la toma de decisiones, los costos y así también los beneficios. Bajo esa necesidad de contar con un proceso participativo en torno al diseño hidrológico, el presente documento presenta en dos partes principales, el proceso de priorización del diseño hidrológico, a través de cuatro talleres llevados a cabo con representantes de tres comunidades de la cuenca La Marquesa, en la Municipalidad de Cotacachi. Estos talleres/recorridos se enmarcan en un proceso incipiente de gestión integrada del recurso hídrico a través de un enfoque de cuencas, llevado a cabo por actores municipales así como con representantes de los habitantes de la cuenca, organismos locales de gestión del agua potable y un equipo de técnicos. De manera puntual, los talleres fueron *in situ* (es decir en campo, a través de recorridos) y se tradujeron en trayectos georeferenciados donde se analizaban los sitios puntuales, se daban opciones del diseño hidrológico pero donde también se optaban por otras acciones de restauración hidrológica-forestal (Como respaldo se presentan los recorridos georeferenciados) La segunda parte de este documento presenta avances técnicos (geográficos) concretos para acompañar el "**diseño hidrológico participativo**". En este trabajo identificamos, como resultado, que desde el punto de vista de prioridades, el diseño hidrológico se presenta como una acción muy necesaria para ser incluida a nivel de cuencas, solamente sobrepasada en importancia por la necesidad de consolidar un grupo de gestión o comité de cuenca como foro de discusión de los distintos actores de la cuenca. Un objetivo primordial de este organismo sería el de vincular a los beneficiarios (aguas abajo) de los servicios hídricos con las comunidades aguas arriba. Finalmente el documento aproxima los avances en información para llegar a un diseño hidrológico desde el punto de vista técnico.

INDICE

Introducción 3
¿Es el diseño hidrológico prioritario para las cuenca? 3
Evento de capacitación con especialista en diseño hidrológico. 5
Resultados de la priorización 6
Interpretación de los resultados. 8
Recorridos con actores de la cuenca. 8
Avances técnicos: hacia un diseño hidrológico: delimitación del parteaguas 12
Pendientes, red hídrica, curvas de nivel y georeferenciación 14
Diseño hidrológico y conclusiones 19
Literatura 20
Anexo 1.Respaldo de los recorridos realizados. 21

Introducción

El diseño hidrológico, desde el punto de vista técnico necesariamente requiere de información geográfica, especialmente curvas de nivel y red hídrica en el sitio de interés. Estos insumos, junto con otros de carácter hidrológico, permiten comprender el sitio, los flujos superficiales y junto con otros, como los límites de la cuenca, ofrecer una visión exclusivamente biofísica de las cuencas suficientes para ejecutar dicho diseño hidrológico (Torres 2013). Paralelamente a la realización de una obra de este tipo, es también necesario que quien o quienes gestionan el territorio, realicen etapas previas de análisis costo-beneficio de llevar a cabo esta acción y de contar con los recursos suficientes necesarios para ejecutar la obra (apoyo técnico, maquinarias e implementos, recursos económicos). Así como la cuenca hidrográfica en su conjunto puede pensarse desde este punto de vista meramente biofísico, es la gestión del territorio, sus habitantes y actores (gobierno, comunidades, ONG's, residentes) quienes condicionan las acciones y las viabilizan, proponiéndose así a la cuenca en más que un espacio biofísico, y predominantemente una construcción social (García y García 2010). Con esto en mente, el primer paso que se presenta son los resultados de un taller de prioridades donde se incluyó el diseño hidrológico como una propuesta más en una serie de estrategias y acciones para la cuenca.

¿Es el diseño hidrológico prioritario para las cuencas?

El objetivo de los talleres fue iniciar llegar a establecer acuerdos y prioridades de estrategias y acciones. Un punto central de este proceso fue la realización de un ejercicio dirigido a presentar a los participantes las líneas o estrategias de acción para la cuenca hidrográfica la Marquesa, incluido el diseño hidrológico. Este constó de cuatro etapas: 1) presentar las estrategias definidas durante el diagnóstico previo de una manera sencilla, 2) Presentar posibles proyectos o acciones concretas, que a través de una dinámica de grupo fueron enmarcadas en una o varias estrategias y 3) un proceso de priorización de las acciones; finalmente, 4) se mostraron mapas donde se zonificaron sitios potenciales para estas acciones. La intención fue generar una discusión sobre estas acciones, su pertinencia para los participantes y priorizar estas acciones con los actores de la cuenca.

Los resultados obtenidos del ejercicio propuesto entregaron información sobre los puntos de mayor interés por los habitantes de las comunidades para ser concretados en proyectos puntuales para la cuenca, sin embargo, además de esta información se pudo registrar/documentar un proceso participativo que incluye también de forma destacada las adaptaciones locales e interpretación particular de cómo llevar una discusión sobre el manejo de cuencas. Al respecto, autores como Heathcote (2009), en la segunda edición de su libro *Integrated watershed management: Principles and practice* (Manejo integrado de cuencas: principios y práctica), han señalado que el manejo de cuencas no es simple ni dogmático, sino difuso e incluso "escurridizo". Asegura que es así como debe ser asimilado, al permitir el aporte de una oleada de estudios locales, en los que cada experiencia cuenta como una forma de ejercitar, estudiar y revisar las estrategias ideales de gestión. El proceso documentado en este informe es una experiencia más de ello.

A continuación se presentan las seis líneas de acción (o estrategias) que se propusieron a los participantes al taller, para recibir de ellos sus opiniones, cambios o adiciones. Estas fueron presentadas, una a una, a forma de papeletas o letreros que fueron ubicados al centro de la sala de la reunión. Figura 1.

Figura 1. Asistentes al taller de priorización de acciones para la cuenca la Marquesa. Un facilitador explica a los habitantes de la cuenca las líneas de acción y las coloca en el centro de la sala.

Las estrategias o líneas de acción pretenden agrupar las acciones, en un esfuerzo de generar una jerarquización, líneas generales, que derivan posteriormente en acciones concretas. A pesar de ello, es claro que cada acción puede enmarcarse en una o varias líneas de acción. Estas estrategias fueron recogidas en el proceso de diagnóstico y resumidas a continuación a partir de la interpretación de los técnicos. A continuación se presentan las estrategias y una breve descripción de cada una.

Estrategias presentadas:

Restauración hidrológica, de suelos y vegetación. Esta estrategia de acción engloba a todos los proyectos dirigidos a restaurar zonas de rivera, de captación y de infiltración del agua en la cuenca. Algunos proyectos en esta línea de acción son obras de retención de suelos como presas de gaviones, re-vegetación de puntos sensibles a la erosión, sistemas de terraceo en gradas o canales de captación, procesos de restauración ecológica de los bosques de eucalipto, especialmente en zonas degradadas y otros dirigidos a controlar la escorrentía, y regular los flujos superficiales.

Gestión. Esta estrategia va dirigida a la toma de decisiones conjunta en foros, comités, grupos de trabajo para la discusión y toma de decisiones en la cuenca. Estos procesos participativos idealmente deben contar con actores de la cuenca, comunidades, propietarios y habitantes, así como de sectores particulares de la producción. Así también propone la presencia de actores beneficiarios de la cuenca y del agua producida en ella, habitantes de la ciudad de Cotacachi, Municipalidad, etc. La mesa del agua.

Agua y territorio. Esta estrategia agrupa las actividades de la población y su manejo y

gestión del recurso hídrico. En ella se enmarcan las actividades de uso y almacenamiento de agua. También se incluyen actividades directas como el diseño hidrológico para el aprovechamiento y captación de agua de lluvia, así como otros proyectos asociados a la disposición de residuos cloacales, baños. También incorpora Actividades de prevención de incendios, para reducir la pérdida de servicios hídricos de la vegetación en la cuenca y en la zona de influencia de recarga.

Agricultura Sustentable. Esta línea de acción va dirigida a mejorar los sistemas productivos con alternativas agroecológicas sustentables. En ella se incorporan las actividades de capacitación y aprendizaje de formas de producción que reduzcan el impacto sobre el recurso hídrico y que mejoren las condiciones actuales de pérdida de suelo y nutrientes.

Investigación y desarrollo. Agrupa todas las actividades de ampliación del conocimiento de la cuenca, los sistemas productivos, datos climáticos, la relación uso de suelo – vegetación, que conlleve a la generación de información útil locamente para la producción, la restauración, y en general la toma de decisiones.

De manera similar que las estrategias, a partir del trabajo previo de diagnóstico se registraron y propusieron las siguientes acciones, las cuales fueron explicadas brevemente durante el taller. Cada acción se enmarcó en una o varias líneas de acción con la ayuda de los facilitadores del taller. La lista de estas acciones emanó del proceso de Diagnóstico e incluye propuestas tanto de las comunidades como de la municipalidad de manera indistinta y registrada sin orden de importancia o aceptación.

Propuesta de acciones:

Control de cárcavas con presas filtrantes y pencos
Restauración ecológica de zonas de eucalipto
Restauración (pasiva o activa) de zonas de rivera
Diseño hidrológico, captación y almacenamiento de agua de lluvia
Capacitación en Incendios
Re-vegetación en zonas degradadas
Establecer la mesa del agua, comité de cuenca
Capacitación en prácticas agro-ecológicas
Reinstalar la noción de respeto a la red hídrica y las franjas de protección
Proyecto Integrado el Parque del Agua
Proyecto de Restauración del Templo del Sol

Proyecto de capacitación en combate a incendios forestales

Proyecto de estudios del clima (lluvia y temperatura)

Evento de capacitación con especialista en diseño hidrológico.

A medida que se explicaban los distintos temas se aprovecho el surgimiento del tema del diseño hidrológico para presentar una capacitación con un especialista en el tema (Karim Musálem), especialmente dedicada a explicar la relevancia de este diseño en el contexto de la cuenca, la gestión del recurso hídrico y el manejo de cuencas. Si bien esta especialización fue somera durante el taller, el diseño hidrológico fue explicado también en recorridos de campo donde visualmente el trabajo de captación y de almacenamiento de agua es más asimilable.

Resultados de la priorización

Si bien el ejercicio propuesto buscaba generar en los participantes exclusivamente la priorización de actividades en la cuenca, a través de una votación donde cada integrante vertiera su opinión de manera independiente, el desarrollo de los eventos fue ligeramente distinto a lo planeado, ya que los asistentes de las comunidades antes de emitir los cinco votos que les fueron otorgados, discutieron durante varios minutos, en plenaria, los beneficios, ventajas o desventajas de cada acción propuesta. Esta discusión no estaba planeada inicialmente, y ocurrió de manera espontánea ante la inacción de los participantes de emitir los votos. Algunos habitantes de la cuenca tomaron la oportunidad para proponer al grupo su visión particular. En esta discusión algunos de los integrantes dieron su propia opinión e incluso resaltaban las cualidades de aquellos proyectos que les parecían más aptos, útiles o idóneos. El proceso de discusión de estas acciones llevó por lo menos 40 minutos, en los cuales, la palabra fue utilizada libremente por los asistentes, sin mediación de los facilitadores del taller, sin embargo, no todos los participantes emitieron su opinión. Finalmente, una vez agotados los comentarios de los asistentes y sin mediar directriz ningún facilitador del taller, procedieron a emitir su voto.

Posterior a este proceso de votación se fueron seleccionando los que tenían un mayor número de votos. Se separaron del resto y se resumió de manera oral lo que se había encontrado. Las Figura 2. Muestra algunos de los votos emitidos en las papeletas.

Figura 2. Votos emitidos a las acciones, derivadas del proceso de diagnóstico. En la figura se observan las que obtuvieron la mayor cantidad de votos en el taller. Es visible que no todas los votos fueron claramente emitidos, a pesar de ello se logra obtener una idea aproximada de los intereses de los participantes. Posteriormente a las votaciones se comentaron en plenaria los resultados.

De manera resumida y realizando una aproximación a los votos, que no siempre fueron claramente emitidos, las acciones concretas que obtuvieron un alto número de votos fue el establecimiento del comité de cuencas (40 votos), única acción dentro de la estrategia de gestión. El proyecto de diseño hidrológico obtuvo 17 votos, mientras que 13 votos fueron emitidos para acciones de infraestructura y obras complementarias para el abastecimiento de agua. 13 votos fueron emitidos para la restauración del predio conocido como El Templo del Sol. 8 votos fueron emitidos en particular para la capacitación en actividades agroecológicas mientras que de manera general, la restauración de cárcavas y de sitios con eucalipto contó con 7 votos. 8 votos aproximados fueron contabilizados para estudios de cantidad y calidad del agua y unos 7 votos más fueron emitidos para el proyecto del Parque del Agua. La totalidad de votos emitidos fue de 115 votos, que aproximadamente representan a 23 personas.

Tabla 1. Votos emitidos a las diferentes acciones propuestas para la cuenca hidrográfica la Marquesa, Cotacachi, Ecuador. La contabilización de votos es aproximada y puede tener variaciones según la interpretación de las papeletas donde se vertieron los votos. 23 personas participantes, cinco votos por persona. Taller de priorización de Diciembre 2015.

Acción	Número de votos	Porcentaje
Conformación de un comité de cuencas	40	34,78
Diseño hidrológico	17	14,78
Acciones de infraestructura	13	11,3
Restauración El Templo del Sol	13	11,3
Capacitación en actividades agroecológicas	8	6,96
Estudios de cantidad y calidad del agua	8	6,96
Restauración de cárcavas y de sitios con eucalipto	7	6,09
Parque del Agua	7	6,09
Otros	2	1,73
Total	**115**	**100**

Interpretación de los resultados.

Entre las varias recomendaciones técnica hechas por especialistas en restauración hidrológica forestal (y autores de este informe) era la urgente necesidad de realizar actividades de retención de suelos, control de cárcavas. El sustento de esta recomendación técnica parte sobretodo de los procesos erosivos, pérdida de suelo y cárcavas visibles en la cuenca. Es notorio, por los resultados, que los actores priorizan, incluso sobre estas acciones concretas, la necesidad de gestión del territorio, involucrando a los actores en un comité de cuencas. Esto no indica necesariamente que no se deseen acciones, obras o trabajos directos en este sentido, pero si expresa un interés por abrir espacios de diálogo y toma de decisiones, no solamente entre comunidades, sino también con la municipalidad y demás actores de la cuenca. El diseño hidrológico toma un segundo lugar en esta lista de prioridades, posiblemente explicado por el deseo de los habitantes de la cuenca de mejorar la disponibilidad de agua para las partes altas de la cuenca, limitante también de la producción agrícola.

Recorridos con actores de la cuenca.

Al finalizar el taller de priorización, algunos actores de la cuenca (sin planeación previa)

decidieron realizar un recorrido para la identificación de sitios potenciales donde realizar un diseño hidrológico. Se detectaron, adicionalmente, otros puntos críticos sobre la gestión del agua que podrían ser atendidos de manera puntual para mejorar la disponibilidad de agua para usos agrícolas y de consumo. A continuación se presenta una serie de imágenes de este recorrido con comentarios sobre las observaciones en campo. En el Anexo I, se presentan mapas de respaldo donde se muestran este y los otros recorridos realizados. Posteriormente en la segunda parte de este documento se reportan los avances técnicos para el diseño

hidrológico.

Figura 3. Técnicos, y miembros de las comunidades en predios ubicados a escasos metros sobre la captación de agua la Marquesa, principal fuente de agua para consumo humano de la ciudad de Cotacachi y fuente del acueducto que abastece a varias haciendas tanto dentro como fuera de la cuenca. En este punto se discutieron posibles acciones de retención de suelos y control de cárcavas con gaviones. Por encontrarse en las inmediaciones de la fuente de abastecimiento se discutió sobre la pertinencia de eliminar la cobertura vegetal de eucaliptos en un perímetro cercano a esta fuente de agua para reducir la demanda de agua

por evapotranspiración. Se discutió sobre posibles acciones de restauración hidrológico forestal puntuales. La topografía en esta parte de la cuenca es idónea para trabajos centrados en la reducción de la velocidad de la escorrentía, retención de sedimentos.

Figuras 4 y 5. La parte alta de la cuenca, cerca del parte aguas. Este sitio se visitó ya que particularmente podría ser elegido para el diseño hidrológico (dirigido a la captación de agua de lluvia) para la cuenca. Como es visible en la imagen, existen varias parcelas que podrían estar involucradas en la obra de diseño hidrológico (sistema key line). El uso agrícola de esta

parte de la cuenca requeriría de varios predios destinados a la creación de un reservorio y a la captación de agua.

Figura 5 y 6. Amplias zonas de eucalipto en la zona media de la cuenca con problemas de erosión y cárcavas. En algunas sub-cuencas se estimo un uso de suelo del 70 % destinado a plantaciones forestales de eucalipto (ver en este mismo documento mapa sobre vegetación de la cuenca). La pérdida de suelos es visible en buena parte de las partes medias de la cuenca. Se proponen actividades inmediatas para el control de la erosión, la retención de

sedimentos, el control de cárcavas, etc.

Avances técnicos: hacia un diseño hidrológico: delimitación del parte aguas

Desde un enfoque hidrológico y geográfico el primer paso para avanzar en la obtención de insumos para un diseño hidrológico fue identificar la cuenca hidrográfica de la Marquesa, su ubicación y su parte aguas. Esto permitiría comprender de mejor manera la cuenca y sus características. Aproximándose a una caracterización geográfica similar a la realizada por Arcos et al (2006). Este trabajo se realizó con insumos cedidos por la Municipalidad de Cotacachi y otras fuentes de mapas disponibles en Internet como Openstreet map. A partir de los modelos de elevación digital proveídos por la Municipalidad de Cotacachi, y la información de la red hídrica de la región, se creó un mosaico único con resolución de pixeles de 3 x 3 m. Este mosaico fue unido a través de Quantum GIS con la Herramienta GDAL "Merge" y posteriormente cargado en el programa GRASS. Originalmente el mosaico no contenía toda la superficie de la cuenca, así que todos los pasos descritos en este informe fueron repetidos dos veces para llegar a la actual delimitación.

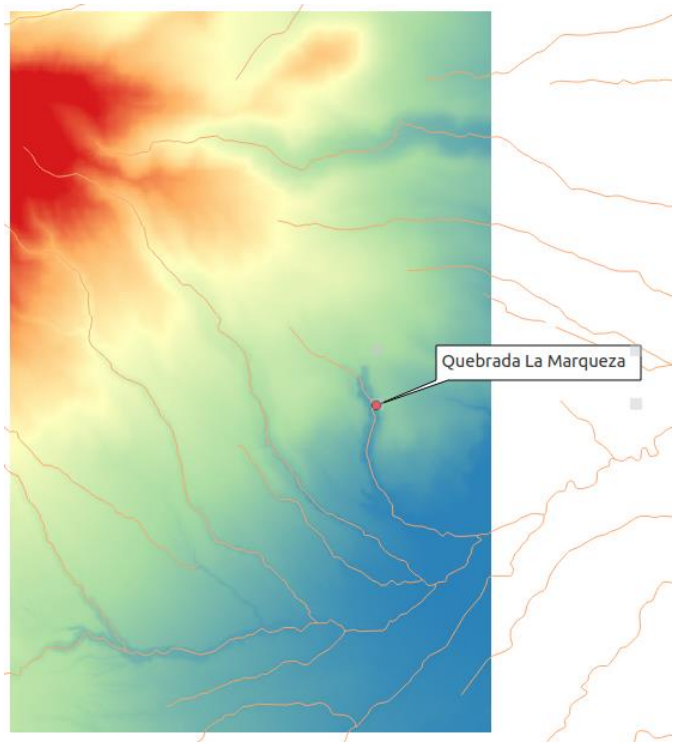
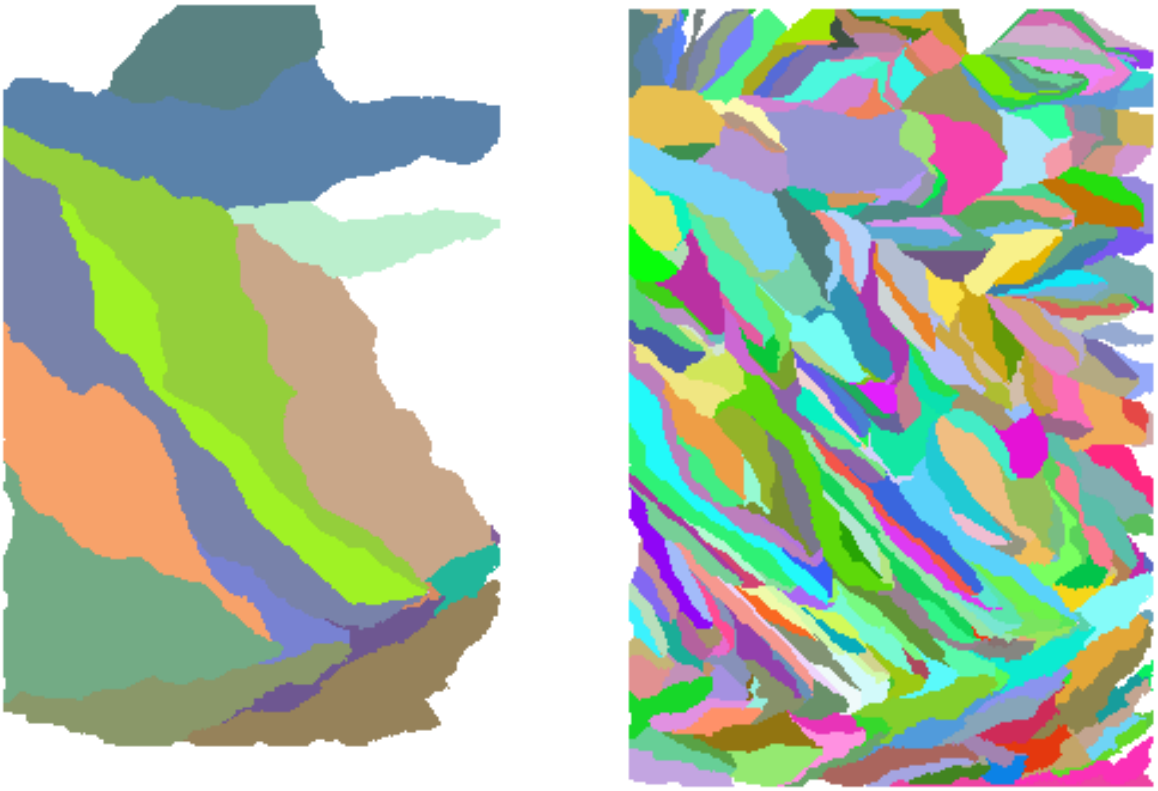


Figura 7. Modelo de elevación de partida (producto de la unión de seis rasters individuales). Colores azules indican sitios más bajos (metros sobre el nivel del mar), sitios en rojo más elevados. Las líneas corresponden a la red hídrica de la región.

En el programa GRASS se utilizó la herramienta 'r.watershed' para a partir de este mosaico generar los parte aguas en diferentes escalas. Se calcularon rasters de acumulación de flujos, de dirección de flujos y de cuencas y subcuencas dentro del mosaico. Las Figuras 8 y 9. muestran un ejemplo de los distintos rasters obtenidos en cuanto a detalle de las cuencas dentro del mosaico. Cada unidad hidrográfica representa una cuenca independiente.



Figuras 8 y 9. A partir del mosaico o modelo de elevación se generaron unidades hidrográficas a diferente nivel de fineza. A la izquierda se observan las cuencas principales del área estudiada. A la derecha unidades hidrográficas mucho más reducidas utilizando el mismo modelo de elevación digital de origen del mismo sitio. LA decisión sobre la escala adecuada a utilizar se encuentra en el punto de aforo que se desea estudiar. En este caso se eligió el punto de aforo de la quebrada la Marquesa antes de unirse a otros ríos y arroyos de la microcuenca Yanayacu.

Estas cuencas resultantes fueron transformadas a archivos del tipo *shape* para una primer verificación con el modelo de elevación digital. Entre otras herramientas se utilizó en GRASS 'r.waterhed.outlet' y en QGIS la herramienta 'poligonize'. Comparando las cuencas obtenidas

por este procedimiento con el polígono original recibido inicialmente de la Municipalidad, pudimos constatar que el polígono anteriormente utilizado por la Municipalidad no correspondía necesariamente a la delimitación de una cuenca hidrográfica siguiendo rasgos topográficos del parteaguas. La siguiente Figura muestra una imagen donde se traslapa nuestra delimitación con el parteaguas recibido originalmente.

La línea en amarillo contiene características que no siguen necesariamente el parteaguas del río La Marquesa. En una sección al sur, esta va prácticamente por encima de un arroyo de la cuenca vecina, mientras que hacia el Norte, subestima en gran medida la área de influencia de la parte alta de la cuenca. Por lo anterior proponemos que de trabajarse como unidad hidrográfica se utilicen los nuevos límites propuestos, que corresponden al parteaguas de la cuenca, considerando que el manejo de la superficie al interior del área de la cuenca tendrá una influencia predominante "en términos hidrológicos" sobre la calidad y cantidad de agua de la misma.

A continuación presentamos de manera preliminar los límites de la cuenca del Río La Marquesa en base a nuestro análisis espacial y cartográfico. Como un paso posterior hemos identificado tres regiones o subcuencas dentro de la misma. Esta delimitación puede servir para fines de comprensión hidrológica y derivar en diferentes componentes o formas de trabajar dentro de la cuenca y donde las acciones podrán ejercer efectos de manera más directa y medible.

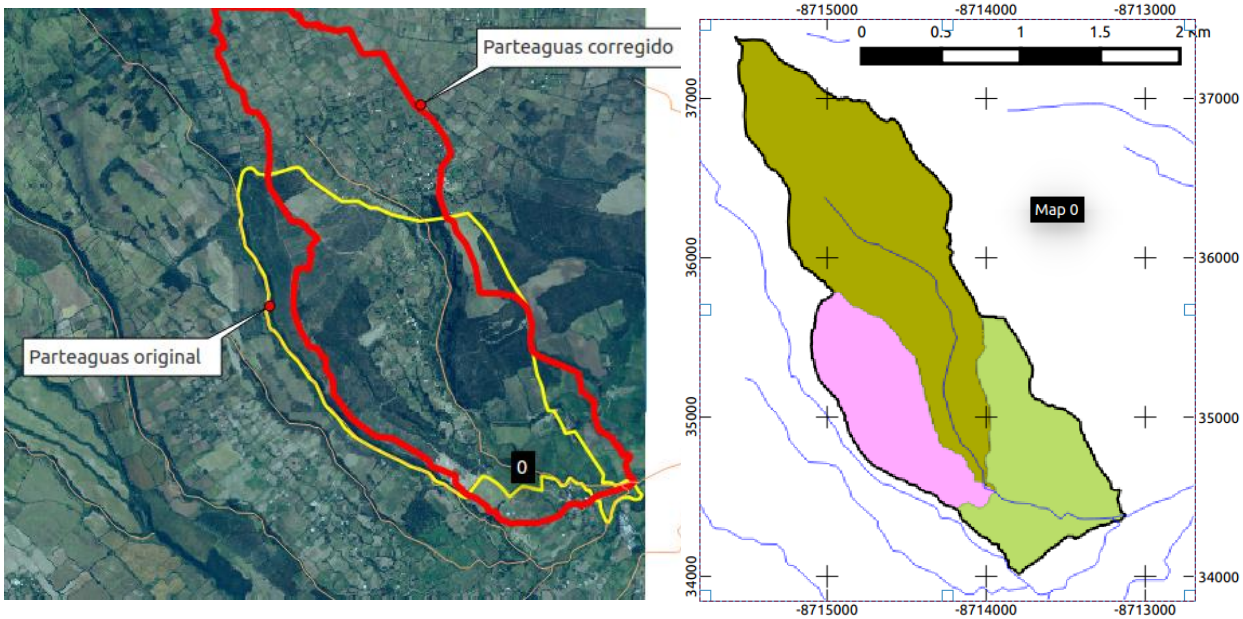


Figura 10 y 11. La nueva delimitación (en rojo) de la cuenca la Marquesa es una primer estimación del área de escurrimiento superficial de la misma. La subdivisión de la misma en tres subcuencas hidrográficamente independientes se muestra como una propuesta para monitorear a futuro los esfuerzos de monitoreo de aguas superficiales y su relación con el manejo de la cuenca.

Pendientes, red hídrica, curvas de nivel y georreferenciación

A partir de esta primera división de la cuenca, se hicieron estimaciones de las pendientes en la cuenca (Figura 12). Este mapa de pendientes es el resultado de procesamientos en QGIS, pero además incluyen recorridos de georreferenciación de ubicación de vertientes, puntos clave en la cuenca, identificación de cobertura vegetal y otros que son incluidos en los mapas. En cada caso se indicará la información ge referenciada en los recorridos de campo.

Los insumos necesarios para el diseño hidrológico de la cuenca no se encontraban a una escala adecuada, especialmente la red hídrica (observable en la Figura 12) además de las curvas de nivel que permitan identificar las posibles *key-lines.* Para la obtención de esta información se utilizó un cálculo de dirección de flujos utilzando QGIS Y GRASS. Este procedimiento se realizó a partir del raster y se presenta en la Figura 13. La red hídrica obtenida a través de este procedimiento permitió identificar algunos sitios prioritarios para la restauración hidrológica de riveras y sitios prioritarios en un franja de 25 metros de acuerdo a Ramírez-Marcial et al (2014). Por otro lado se presentan zonas delimitadas a través de fotointerpretación de la imagen de satélite, acompañado de recorridos de campo. Estas zonas corresponden a usos de suelo claramente definidos como agrícolas en la parte alta de la cuenca y como forestales con eucalipto. Este uso de suelo definido en esta consultoría permite identificar *a priori* sitios, que de acuerdo a las propuestas hechas por los asistentes a los talleres podrían dedicarse a implementar acciones agro-ecológicas o de restauración de bosques de eucalipto.

Adicionalmente a la información cartográfica se realizó un proceso de georreferenciación de algunos puntos asociados a la red de distribución de agua, vertientes, acueductos., etc. A través de la identificación d

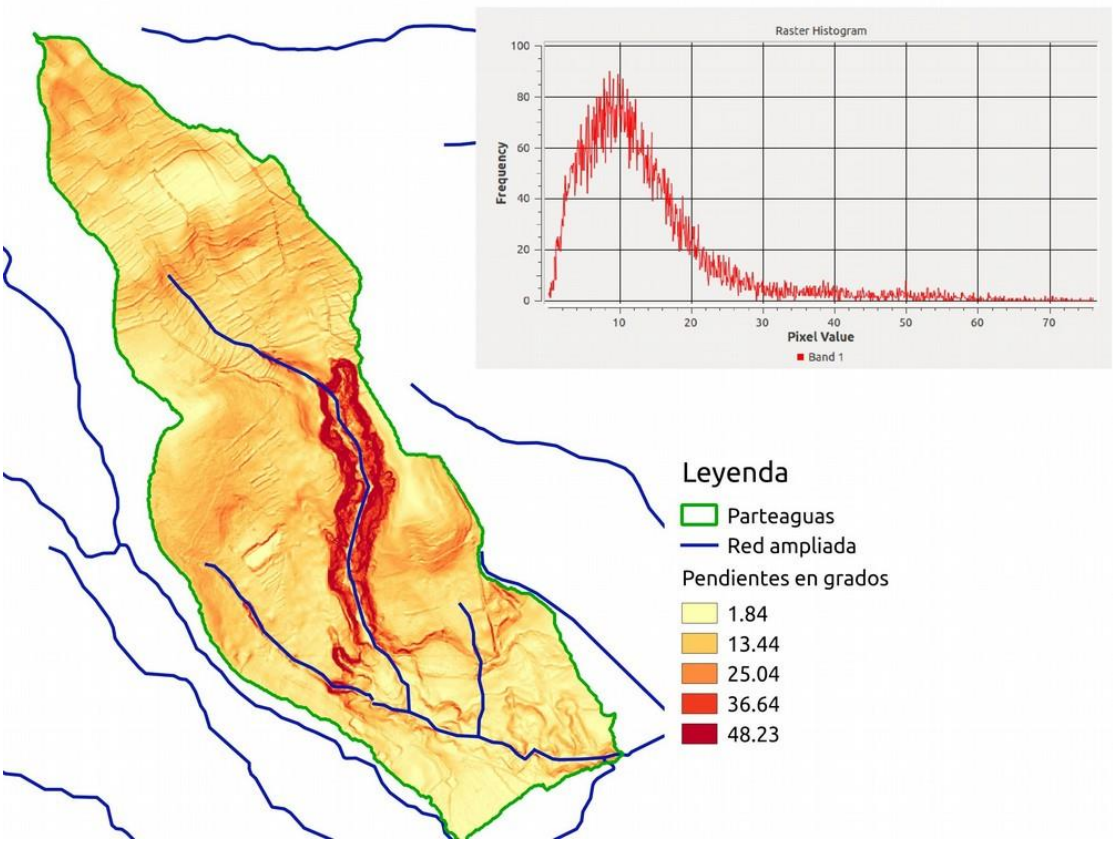


Figura 12. Mapa de pendientes de la cuenca la Marquesa e histograma de distribución de pendientes en el área dentro del parteaguas. Como un rasgo topográfico se observa la quebrada con la que se ha colocado el nombre a la cuenca, a pesar de ello los flujos de agua superficiales y subterráneos provienen de vertientes ubicadas fuera de la quebrada (ver mapa de georreferenciación de nacientes).

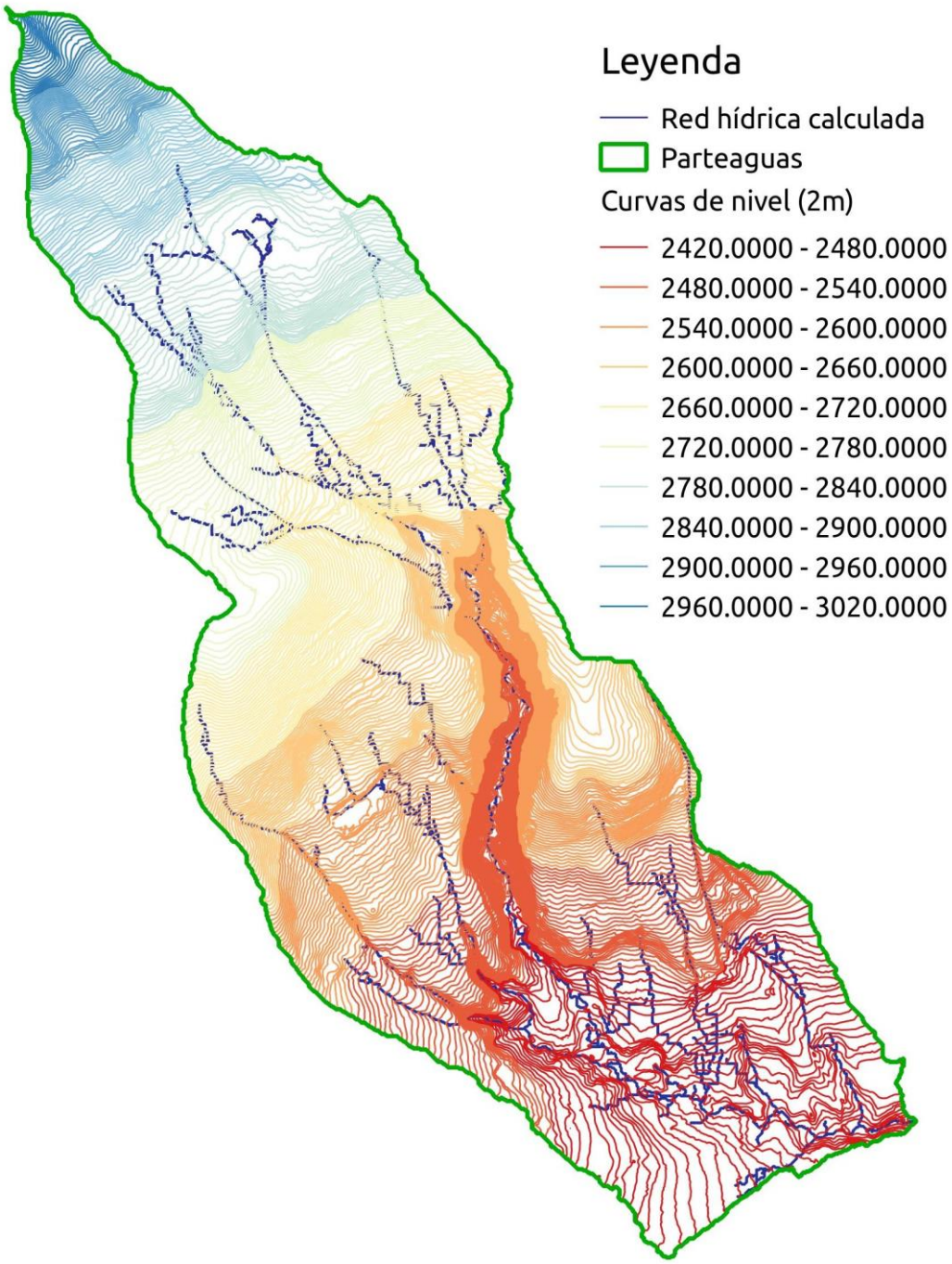


Figura 13. Red hídrica modelada y curvas de nivel a cada 2 m, definidas para la cuenca a partir del Modelo de levación digital de la cuenca utilizando QGIS/GRASS como insumo para el diseño hidrológico de la cuenca. Esta red muestra los sitios más probables por donde fluyen los escurrimientos en eventos de lluvia y son, con excepción de la parte baja de la cuenca, principalmente de tipo intermitente. Las curvas de nivel calculadas fueron calculadas a cada 2 metros.

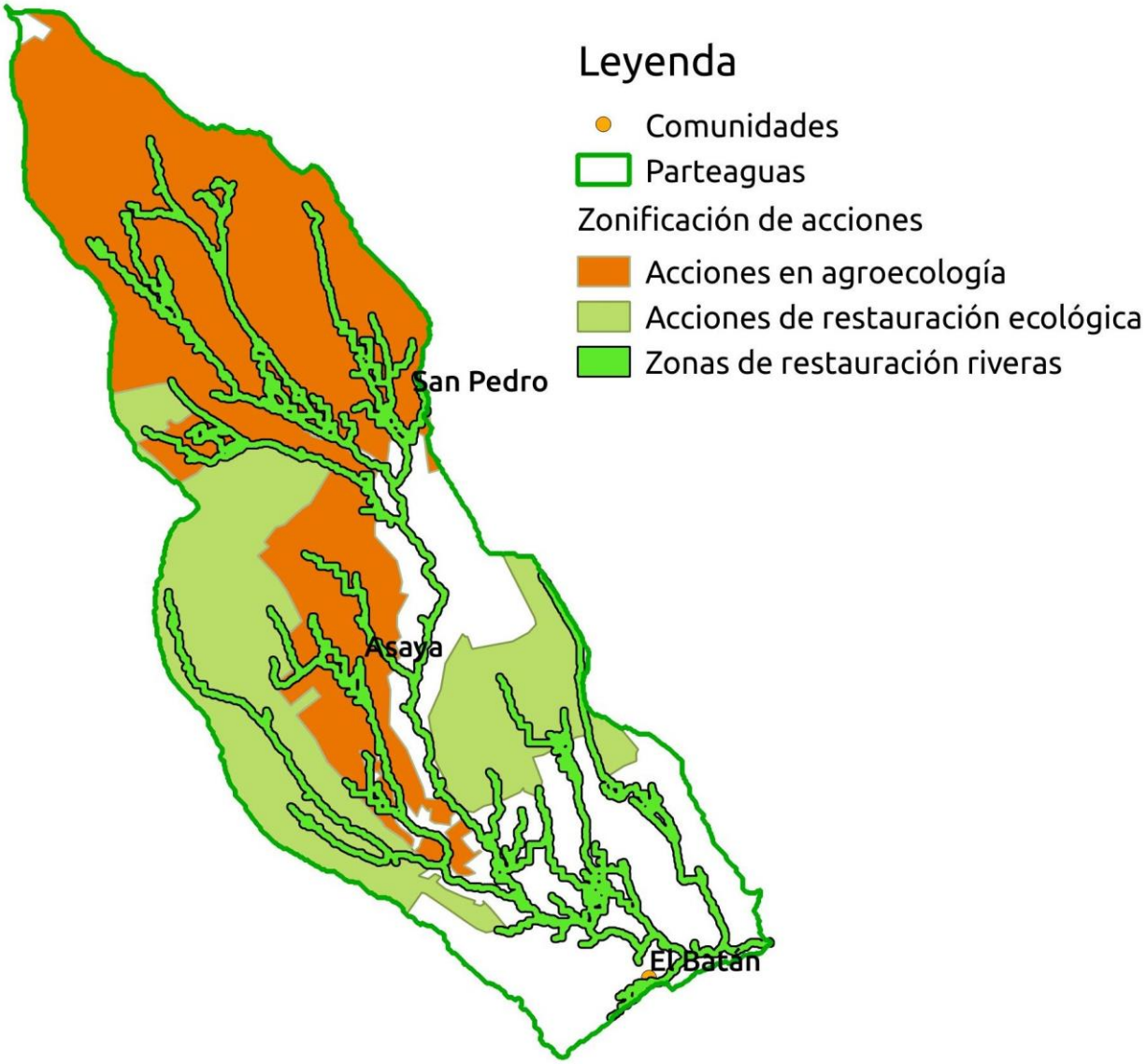


Figura 14. Zonificación de acciones propuestas en la cuenca la Marquesa. Las franjas de protección riparia fue definida a partir de la red de escurrimientos superficiales (la mayoría de ellos sólo durante eventos de lluvia) siguiendo la metodología establecida por (Ramírez-Marcial et al 2015). Por otro lado las zonas potenciales de acciones en agroecología están basadas en la fotointerpretación del uso de suelo agrícola, mientras que las acciones de restauración ecológica se ubican en los sitios donde se definió un uso de suelo forestal de eucaliptos.

Figura 15. Mapa de ubicación de las vertientes y puntos de abastecimiento de agua en la cuenca hidrográfica la Marquesa. Se observa también el canal de riego que según estimaciones de caudales a través del método del flotador y realizadas en La Marqueza utiliza más del 70 % del agua captada en esta fuente.

Diseño hidrológico y conclusiones

El diseño hidrológico, desde este trabajo incluyó también la participación de los actores en la cuenca, por lo que se le nombró diseño hidrológico participativo. A partir de ello, se ha logrado avanzar en la obtención de información que permitiría ejecutar una acción de este tipo en la cuenca la Marquesa. Para ello, y de acuerdo a los manuales de diseño hidrológico consultados se requiere de, además de elegir el sitio idóneo y la perspectiva macro de la cuenca, información de curvas a nivel levantadas con un sistema de nivel y los escurrimientos a nivel de escala topográfica centimétrica. A escala de cuenca la Marquesa, estos insumos estarían parcialmente logrados, ya que se requiere aún de una escala más fina para poder ejecutarla. A pesar de ello, a partir de este proceso participativo y de revisión de información secundaria, se definió la zona potencial para este diseño, ubicado esencialmente en la zona alta de la cuenca, en terrenos agrícolas. El fundamento de ello es la topografía de crestas y valles que permitiría la aplicación del sistema key-line (Figura 16).

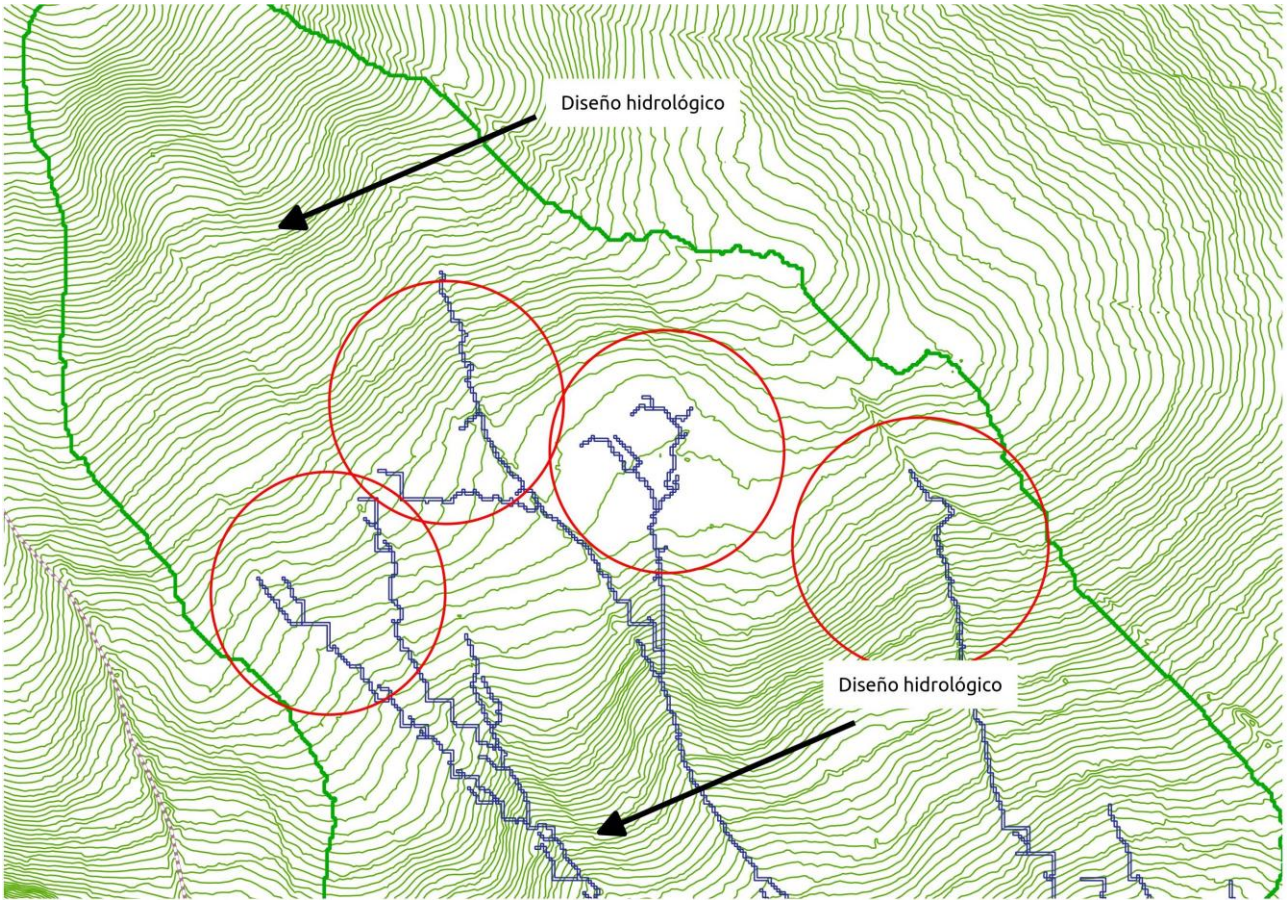


Figura 16. Sitios potenciales para la ejecución del diseño hidrológico. Los círculos rojos marcan los sitios donde los escurrimientos inician de manera más clara aguas arriba de la cuenca, a pesar de ello, se destaca que una escala más fina (con equipo topográfico) estas

podrían definirse mejor. También se distinguen dos flechas que indican zonas donde la "crestas" y "valles" necesarios de identificar para el diseño hidrológico con el sistema key-line aparecen en la cuenca. Otro aspecto complementario, es que los mismos actores de la cuenca han reconocido la necesidad de llevar a cabo este diseño y coinciden en los sitios propuestos. La ejecución del diseño hidrológico depende ya de la lectura del especialista en esta área de la cuenca, sin embargo, por las fuertes pendientes presentes en esta cuenca, se estima necesario otras medidas de apoyo como zanjas trinchera, cercas vivas, presas de gaviones, etc.

Literatura

Arcos, I., R. Auquilla, N. Chicas, R. Laino, S. Madroñero, M. Mejía, K. Mendoza, M. Mondragón, K. Musálem-Castillejos, F. Obando, N. Ríos, R. Salgado, J. Cisneros: *Caracterización, diagnóstico, línea base y plan de acción de la subcuenca del Río Turrialba (Costa Rica)*.

Cortés Torres, Héctor, 2013. Diseño hidrológico del terreno (sistema Keyline) en parcelas agrícolas con precipitación limitada. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua,70 pp.

García-García, A., 2010. Instituciones y pluralismo legal: la hidropolítica en la cuenca transfronteriza Grijalva (1950-2010). Tesis de Doctorado, El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México.

Gras, Eugenio (2010), Cosecha de agua y tierra. Diseño con Permacultura, Ediciones COAS (Consejeros en Agricultura Regenerativa y Permacultura. Brasil-Colombia-México), México, 230 pp.

Ramírez-Marcial, N., M. González-Espinosa, K. Musálem-Castillejos, E. Noguera Savelli, Erika Gómez-Pineda (2014). *Estrategias para una construcción social de la restauración forestal en comunidades de la cuenca media y alta del río Grijalva*. Montañas, pueblos y agua. Dimensiones y realidades de la cuenca Grijalva, Edited by Mario González-Espinosa, Marie Claude Brunel Manse, 12/2014: chapter 21: pages 518-554; Juan Pablos Editor., ISBN: 978-607-8429-00-4

Yeomans, P. A. (1993), Water for Every Farm. Yeomans Keyline Plan, Griffin Press Pty Limited, Netley, South Australia, 261 pp.

Anexo 1.Respaldo de los recorridos realizados.

En rojo, se muestran los recorridos realizados en la cuenca y en puntos clave asociados a la gestión del recurso hídrico fuera de la cuenca. Se muestran algunos puntos clave identificados que fueron utilizados para la elaboración de mapas, así como en los talleres/recorridos con actores de la cuenca para el diseño hidrológico participativo. Nótese la presencia de puntos fuera de la cuenca, por ejemplo el trayecto de georreferenciación del acueducto de riego que abastece a comunidades y haciendas fuera de la cuenca. Algunos de estos trayectos fueron realizados en vehículo, pero otros, especialmente los de la zona aguas arriba de la cuenca, la zona de captación fueron realizados a pie, donde no hay caminos para vehículos. Los puntos georeferenciados muestran sitios críticos donde se discutieron opciones y se avanzó hacia el diseño hidrológico de la cuenca.

Este producto fue elaborado por el Instituto de Estudios Ecuatorianos, para constancia firma:

Alejandra Santillana Ortiz
Directora Ejecutiva

Este producto fue aprobado y revisado por:

José Cueva
Dirección de Planificación