



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN
Y EXTENSIÓN
DIRECCIÓN DE PROYECTOS

INFORME FINAL
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN:

PROYECTO

Valoración y Planificación del Recurso Hídrico en la cuenca alta y canal
principal del río Tempisque

Documento 1

Código 5402-1401-9801
Período
Enero 2008-Diciembre 2012

Por :

Dr. Julio César Calvo Alvarado
Investigador Principal.
Escuela de Ing. Forestal

Febrero 2013

INDICE

1. Título:	2
2. Autores y direcciones	2
3. Resumen del proyecto.....	3
4. Palabras clave:	3
5. Introducción.....	3
5.1 Objetivo general:	5
5.2. Fechas del proyecto.....	6
5.3 Financiamiento del proyecto:	6
6. Metodología.	7
6.1. Ubicación del estudio.	7
6.2. Enfoque del estudio.....	9
7. Resultados	13
7.1 Lista de Artículos publicados en revistas indexadas.....	13
7.2 Lista de Artículos publicados en revistas en español.	14
7.3. Lista de Artículos en preparación.	14
7.4. Lista de Capítulos publicados en libros en Ingles.	14
7.5. Reportes Técnicos.	14
7.6. Participación en Eventos Nacionales con Ponencias.	15
7.7. Participación en Eventos Internacionales con Ponencias.....	16
7.8. Participación de estudiantes.....	16
8. Discusión y conclusiones.....	17
9. Recomendaciones.....	18
10. Agradecimientos.	19

1. Título:

Valoración y Planificación del Recurso Hídrico en la cuenca alta y canal principal del río Tempisque

Código VIE: 5402-1401-9801
Período de Ejecución: Enero 2008-Diciembre 2012

El proyecto de investigación fue aprobado por la Escuela de Ingeniería Forestal en la sesión extraordinaria 03-2007 del lunes 7 de mayo del 2007 y por la Escuela de Ingeniería Agrícola en la sesión 07-2007 del lunes 7 de mayo del 2007. Este proyecto fue aprobado para iniciar el 01 de enero del 2008 y finalizar el 31 de Diciembre del 2011; no obstante se solicitó una ampliación hasta el 31 de diciembre del 2012 ante la VIE, la cual fue aprobada en el Consejo de Investigación y Extensión del 24 al 26 de Enero del 2012.

2. Autores y direcciones

Dr. Julio Calvo-Alvarado (Coordinador del Proyecto)
Escuela de Ingeniería forestal
jucalvo@itcr.ac.cr

M.Sc. Isabel Guzman
Escuela de Ingeniería Agrícola
iguzman@itcr.ac.cr

Cuadro 1. Investigadores principales y asistentes profesionales.

#	Nombre	Campo de acción	Universidad y país
1	Dr. Julio Calvo-Alvarado	Manejo de Recursos Naturales	Instituto Tecnológico de Costa Rica
2	Dr. John Jackson	Limnología	Stroud Water Research Center, Estados Unidos
3	M.Sc. Isabel Guzman	Manejo de Recursos Naturales	Instituto Tecnológico de Costa Rica
4	Lic. Ana Julieta Calvo-Obando	Manejo de Recursos Naturales	Instituto Tecnológico de Costa Rica
5	M.Sc. César Jiménez-	Manejo de Recursos Naturales	Instituto Tecnológico de Costa Rica
6	Lic. Dorian Carvajal-Vanegas	Manejo de Recursos Naturales	Instituto Tecnológico de Costa Rica
7	Ing. Oscar Arias Rodriguez	Manejo de Recursos Naturales	Instituto Tecnológico de Costa Rica

3. Resumen del proyecto.

El proyecto “Valoración y Planificación del Recurso Hídrico en la cuenca alta y canal principal del río Tempisque” se desarrolló desde Enero 2007 hasta Diciembre 2012, en donde se logró completar en un 100% los objetivos propuestos y sus modificaciones. En total se puede destacar la instalación de una red de estaciones de monitoreo hidro-meteorológico que incluye medición continua de caudales, lluvia, temperatura y humedad relativa. Esta red de medición que está contemplada en el objetivo 1.A fue más lejos de lo propuesto y se destaca la instalación de un número mayor de estaciones hidro-meteorológicas mejorando la calidad de datos recopilados.

Adicionalmente, el desarrollo del componente de planificación proveyó información base sobre los principales usos del agua del Río Tempisque, en donde el riego representa un porcentaje considerable. Por otra parte, la disponibilidad de agua se puede ver afectada por la modificación y aumento de la cobertura forestal debido a las pérdidas por evapotranspiración. En términos de productos, es posible ver la amplia gama de documentos elaborados que abarcan desde artículos científicos, capítulos en libros, conferencias nacionales e internacionales así como informes técnicos de análisis específicos y ensayos experimentales. Dentro de los resultados, es importante destacar la participación estudiantil por medio de la producción de 6 trabajos de graduación que incluyen los grados de licenciatura (4), maestría (1) y doctorado (1). Por otra parte, el aporte de información base para la planificación del recurso agua en una cuenca de alta importancia se remarca como el principal aporte de este proyecto a la comunidad institucional y nacional.

4. Palabras clave:

Recursos hídricos, Cuenca del Río Tempisque, Caudal Ambiental.

5. Introducción

Costa Rica es un país con un clima tropical donde el ciclo hidrológico ha provisto una gran riqueza de recursos hídricos, aumentados aún más por la topografía y su posición en un istmo. La vertiente del caribe goza sin duda de la mejor distribución de agua superficial, mientras que el pacífico experimenta una merma notable durante la estación seca, siendo esta muy fuerte en el pacífico norte. Hasta principios de los años 80 no se preveía una crisis del agua, pero el aumento de la agricultura de riego, uso industrial y actividades turísticas ha desembocado ya en crisis en la provincia de Guanacaste. Son varios los sectores económicos interesados en el aprovechamiento

de tan valioso recurso y sin embargo no se cuenta con información técnica que permita una mejor planificación del recurso (Aguilar et al 2004). Más aún, legalmente se continúa con la antigua legislación y existe gran expectativa sobre las implicaciones de la entrada en vigencia de la nueva ley del recurso hídrico, pendiente de aprobación en la Asamblea Legislativa. Dicho proyecto de ley viene a regular el recurso y a establecer un nuevo orden institucional. Entre los pendientes a solucionar para la aplicación de la nueva ley se requiere generar balances hídricos y planificar el recurso de cada cuenca, tomando en cuenta las necesidades de caudales ambientales (Aguilar et al 2004).

Independientemente al hecho eventual de la entrada o no entrada de la nueva ley, la realidad es que la cuenca del Río Tempisque está en un proceso de sobre-explotación de recurso donde por largos tramos el mismo río no mantiene un mínimo de caudal para el mantenimiento de las especies y los ecosistemas (Jiménez et al 2005). Más aún, la demanda del recurso es tan alta que en los próximos años simplemente no se podrán satisfacer las necesidades socioeconómicas, creando conflictos entre comunidades-empresas-turismo-agricultura. Si se toma en cuenta el crecimiento del turismo, del desarrollo urbano y de la agricultura con riego debido al aumento de las exportaciones de caña, melón, y otros cultivos, es fácil entrever que de todas las cuencas de Costa Rica, la del Río Tempisque es la segunda más importante de estudiar y planificar después de la del Río Grande de Tárcoles.

La cuenca del Tempisque tiene 3357 km² de extensión y se constituye, junto con la del Río Bebedero, en las fuentes de agua dulce más importante del Golfo de Nicoya, donde se desarrolla una importante actividad de pesca artesanal y acuicultura. Sin duda la contaminación de estos ríos y las posibles alteraciones en sus flujos afectan este gran ecosistema marino (Jiménez et al 2005). Este es otro argumento para el estudio de esta cuenca que mantiene vínculos con ecosistemas marinos y litorales de gran importancia para el país.

Nuestra propuesta tiene el objetivo de caracterizar la hidrología de la cuenca alta del Río Tempisque, que es donde se genera el mayor aporte de escorrentía de este río y de calibrar un modelo hidrológico capaz de simular el efecto del cambio climático y del uso de la tierra. Con esta información se podrán generar escenarios de escorrentía para el río para así poder planificar el uso del recurso para atender las demandas de los sectores agrícola, urbano, turismo y otros. Paralelo a esto se realizará un diagnóstico del uso del recurso hídrico en la cuenca alta y se generará escenarios de demanda

futura de agua, a través de talleres y consultas con los usuarios y decisores, para plantear una estrategia de planificación del recurso que tome en cuenta no solamente las necesidades socioeconómicas y ambientales, sino también el marco institucional y legal que sirve de fundamento para esta planificación.

5.1 Objetivo general:

El proyecto se segmenta en dos grandes temas y por tanto cada uno tiene objetivos generales y específicos que pueden describirse por separado:

5.1.1 Componente de valoración del Recurso Hídrico, Cuenca Alta del Río Tempisque.

Objetivo General.

Caracterizar la hidrología de las cuencas seleccionadas midiendo los caudales medio diarios, variables meteorológicas básicas, generando balance hídricos diarios donde se separe flujo rápido y base de las cuencas y evaluando el posible impacto de escenarios con cambio del uso de la tierra y el clima.

Objetivos específicos:

A.1. Establecer, coleccionar y analizar datos de estaciones de aforo y meteorológicas establecidas en las cuencas seleccionadas para generar una base de datos de calidad sobre caudales, lluvia, temperatura, humedad relativa y algunas variables básicas de calidad de agua (pH, conductividad, oxígeno disuelto, temperatura, salinidad).

B.1. Establecer y analizar ensayos para medir la intercepción de lluvia en bosque seco y húmedo del área de conservación Guanacaste y para tres estadios de crecimiento: temprano, intermedio y maduro.

C.1. Calibrar el modelo Hyluc en las microcuencas seleccionadas con datos generados por el proyecto y en la Cuenca Alta del Río Tempisque con datos del ICE, para simular caudales medios diarios y el impacto del cambio de clima y uso de la tierra y construir escenarios de oferta de agua.

5.1.2 Componente Planificación del Recurso Hídrico, Cuenca Alta del Río Tempisque.

Objetivo general.

Proponer una estrategia de planificación del recurso hídrico de la cuenca alta y baja del Río Tempisque a partir de la generación de información sobre los usuarios, uso pasado y demanda futura del recurso hídrico, impacto de cambio climático y uso de la tierra y la necesidad de mantener caudales ambientales en el cauce principal del Río Tempisque.

Objetivos específicos:

A.2. Recopilar y analizar información sobre el uso del recurso hídrico por usuarios para la cuenca alta y baja del Río Tempisque para el año 2008

B.2. Analizar el estado de la planificación de los recursos hídricos en Costa Rica y en América Latina y el Caribe

C.2. Evaluar la sostenibilidad del recurso empleando los escenarios de demanda actual, y futuro (2010 y 2030), tomando en cuenta las necesidades de caudal ambiental y el impacto del cambio de clima y uso de la tierra en los flujos de la cuenca alta.

D.2. Proponer estrategias de planificación del recurso dentro de la cuenca para prevenir conflictos entre usuarios y garantizar la sostenibilidad del recurso.

5.2. Fechas del proyecto.

El periodo inicial del proyecto se contempló entre Enero 2008 hasta Diciembre 2011. Una vez cumplido este plazo, se solicitó una ampliación ante la VIE para extender el proyecto un año más hasta Diciembre 2012.

5.3 Financiamiento del proyecto:

El proyecto desarrollado, obtuvo un soporte económico por parte del Stroud Water Research Center y fue manejado a través de FUNDATEC. Los fondos manejados por FUNDATEC fueron destinados a gastos operativos (viáticos de giras, compra de materiales, compra de equipo), el monto aportado por la VIE fue utilizado para la compra de instrumentación para el monitoreo de flujos de agua y el ITCR aportó los

salarios de los profesionales directamente relacionados con el proyecto en sus diferentes faces.

Cuadro 2. Resumen de las Fuentes de Financiamiento del Proyecto

Año	Organización	Aporte en Colones	%
2008	Stroud Water Research Center (FUNDATEC)	7,047,287.68	50.5
	VIE	1,938,000.00	13.9
	ITCR-Salarios	4,961,928.70	35.6
	Total	13,947,216.38	
2009	Stroud Water Research Center (FUNDATEC)	0.00	0.0
	VIE	872,000.00	13.0
	ITCR-Salarios	5,842,054.85	87.0
	Total	6,714,054.85	
2010	Stroud Water Research Center (FUNDATEC)	5,684,489.86	43.5
	VIE	520,000.00	4.0
	ITCR-Salarios	6,864,758.95	52.5
	Total	13,069,248.81	
2011	Stroud Water Research Center (FUNDATEC)	0.00	0.0
	VIE	360,000.00	5.4
	ITCR-Salarios	6,298,734.00	94.6
	Total	6,658,734.00	
2012	Stroud Water Research Center (FUNDATEC)	3,635,876.22	45.3
	VIE	0.00	0.0
	ITCR-Salarios	4,391,166.00	54.7
	Total	8,027,042.22	
Gran Total para 4 años	Stroud Water Research Center (FUNDATEC)	16,367,653.76	33.8
	VIE	3,690,000.00	7.6
	ITCR-Salarios	28,358,642.50	58.6
	Total	48,416,296.26	100.0

6. Metodología.

6.1. Ubicación del estudio.

La Figura 1 ilustra la gran cuenca del Río Tempisque desde su desembocadura con el Golfo de Nicoya hasta las montañas de la Cordillera de Guanacaste, donde el río nace y consigue su mayor cantidad de agua. Dentro de esta cuenca se ha delineado la sub-cuenca a partir del punto Guardia (puente a la entrada de Playas del Coco), donde el ICE ha mantenido por varios años una estación de aforo. Igual se delinea la sub-cuenca a partir del puente Tempisquito (carretera inter-americana hacia la Cruz) donde

el ICE hasta hace algunos años aforo ese punto. Más arriba de este punto se delimitan las tres micro-cuencas de investigación de esta propuesta (detallados en la Figura 2).

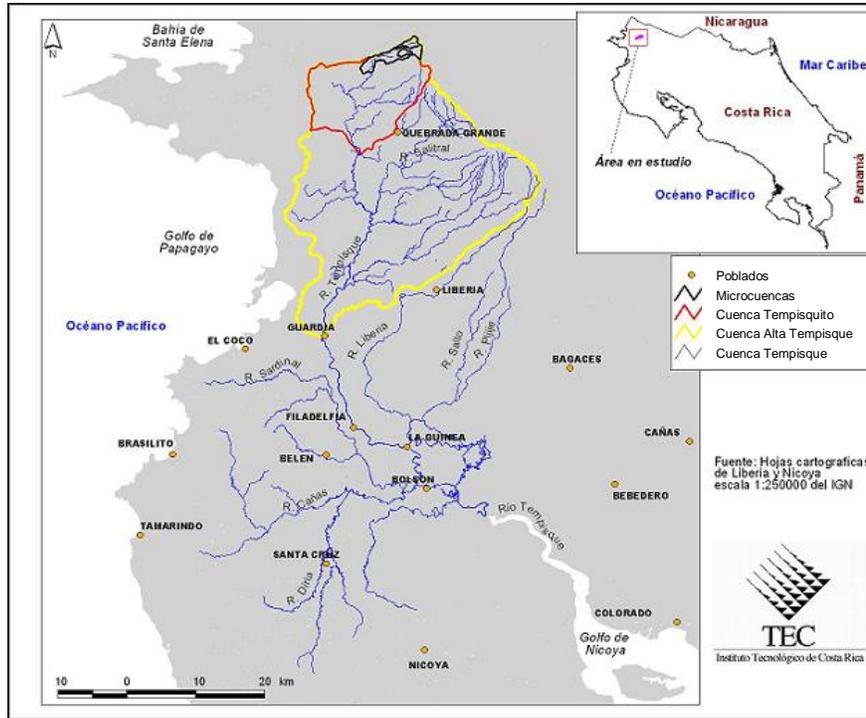


Figura 1. Cuenca del Río Tempisque y detalle de ubicación de subcuencas y micro-cuencas a ser investigadas.

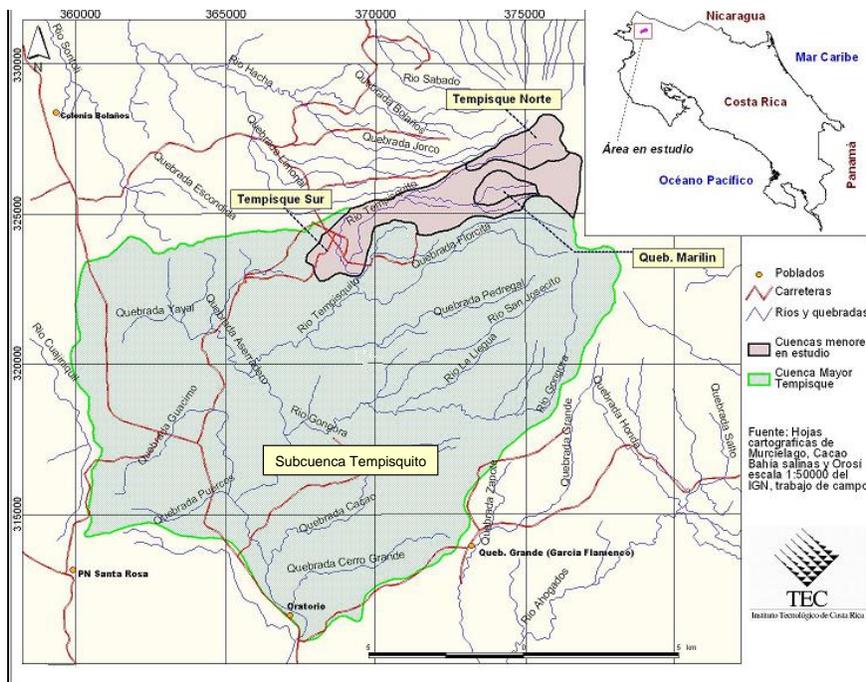


Figura 2. Detalle de la ubicación de la sub-cuenca Tempisquito y las micro-cuencas del estudio.

6.2. Enfoque del estudio.

El estudio propuesto aborda el problema a través de dos componentes esenciales, el primero de ellos es el de la valoración de recurso y el segundo es el diagnóstico y planteamiento de una estrategia de planificación del uso del recurso.

6.2.1. Valoración del Recurso Hídrico, Cuenca Alta del Río Tempisque.

a) El balance hídrico de una cuenca se construye midiendo las entradas de agua (lluvia) y las salidas (evapotranspiración y escorrentía). Las entradas son relativamente fáciles de medir con pluviómetros distribuidos en la cuenca. La densidad y ubicaciones de estos pluviómetros afectan la precisión de la medición. En terrenos montañosos el viento y la niebla pueden afectar estas mediciones y por tanto se deben aplicar algunos ajustes. Las salidas por escorrentía se estiman con estaciones de aforo, donde se miden continuamente los niveles del río en una sección determinada donde regularmente se realizan aforos con molinete par estimar los caudales. Para cada sección se define una curva de descarga que luego se aplica al registro de niveles para estimar el caudal medio diario y así la escorrentía de la cuenca. Esta estimación tiene varias inconvenientes, como el suponer que toda la escorrentía de la cuenca pasa por ese punto de aforo, lo cual no es necesariamente correcto dado que el agua subterránea puede pasar por otros puntos y nunca ser medida. Las salidas de evapotranspiración se estiman usualmente con fórmulas meteorológicas, algunas muy sencillas y otras muy complicadas.

b) En nuestro estudio se aforaron tres micro-cuencas, dos de ellas (Quebrada Tempisquito Norte y Marylin) son cuencas que están totalmente cubiertas de bosque y presentan incidencia de niebla y fuertes vientos. En estas micro-cuencas se tratará en lo posible de determinar la magnitud de esos efectos para hacer luego una corrección al resto de la cuenca. La tercera micro-cuenca (Quebrada Tempisquito Sur) representa tanto condiciones de montaña como áreas abiertas con pasto abandonado. Estas tres cuencas permitirán evaluar un modelo hidrológico que estime la escorrentía media diaria de las cuencas empleando lluvia y la estimación de la evapo-transpiración. El modelo propuesto es el HYLUC (Jewitt et al 2004, Calder et al 2005), de la universidad de Newcastle, que ya ha sido aplicado en Costa Rica con éxito aceptable.

c) Para realizar todo lo anterior se instalaron 9 pluviómetros y 6 sensores de temperatura y humedad relativa dentro de las micro-cuencas. Las estaciones de aforo fueron equipadas con sensores de presión para medir niveles del río, estos sensores registraron de forma adicional la temperatura del agua. En cada estación se realizaron aforos con un molinete hidráulico y el protocolo respectivo. El número de aforos por estación varió dependiendo de los sitios de muestreo. Para estimar la evapotranspiración se emplearon fórmulas que requerían de un mínimo de información (temperatura y humedad relativa) pero que a la vez reconocidas en el medio. Se empleó la fórmula empleada en el modelo Hyluc hecha por Linacre (1977).

d) Con las estaciones de aforo se obtuvo una caracterización de los flujos de estas micro-cuencas. Empleando el método propuesto por Nathan and McMahon (1990), se separaron los flujos rápidos de los flujos basales (caudal base) medio diarios, con lo cual se observa el impacto de la topografía, el uso de la tierra y la geología en el comportamiento de los flujos.

e) Para calibrar el modelo Hyluc se requirió estimar el efecto de la cobertura en la interceptación de lluvia. Para esto se establecieron dos ensayos de interceptación de lluvia, uno de ellos en los bosques maduros, intermedios y tempranos de la parte alta de la cuenca (Estación Maritza) y otro en la parte baja de la cuenca (Parque Nacional Santa Rosa).

f) La calibración del modelo Hyluc consistió en comparar los flujos medidos contra los flujos estimados por el modelo. Las discrepancias fueron analizadas para comprender si se deben a sub-estimaciones o sobre estimaciones de entradas y salidas de agua (lluvia-evapotranspiración-escorrentía). La comprensión de estas discrepancias fue fundamental para avanzar en la caracterización de la hidrología de estas cuencas. Se espera que las discrepancias sean constantes que se pueden corregir con factores de ajuste ya sea en las entradas, las salidas o en los parámetros de calibración del mismo modelo.

g) Una última fase del estudio consiste en calibrar el modelo Hyluc empleando los datos del ICE para la estación Tempisquito y Guardia y todos los datos de lluvia de las estaciones dentro de estas cuencas del ICE y del IMN. La aplicación del modelo Hyluc se realizó después de haber sido evaluado en las micro-cuencas, con lo cual se podrá ensayar el efectos de cambios del uso de la tierra (por ejemplo % de cobertura forestal

o de pastos) en la cuencas y el cambio del clima (escenarios de climas con mayor evapo-transpiración). Estos escenarios son de vital importancia para poder planificar el uso del recurso, dado que se debe prever diferentes escenarios en los cuales los flujos naturales de las cuencas tendrán variaciones notables.

h) Aprovechando el trabajo de campo durante los aforos se midieron algunas variables de calidad empleando equipo portátil (pH, conductividad, oxígeno disuelto). Para la aplicación del modelo Hyluc en todas las cuencas se debió generar información sobre el uso de la tierra y tipo de suelos. Afortunadamente, al menos, para la cuenca del Tempisque y las tres microcuencas, el uso de la tierra lo dominan bosques en diferentes estadios de crecimiento y el pasto, lo cual simplifica la calibración de este modelo.

i) Toda la caracterización y calibración del modelo se llevó a cabo en al menos dos años hidrológicos, comenzando en Mayo del 2007 y terminando en Abril del 2009.

Como se observa en la Figura 1, el tramo del río Tempisque entre Guardia y Guinea (25 km de distancia) mantiene básicamente el mismo flujo de agua que llega hasta el punto de Guardia. Esto debido a que no hay aportes de otros ríos al tramo debido a que todos drenan aguas abajo del punto Guinea. En este tramo de 25 Km, existen varias concesiones de agua que afectan los niveles en la estación seca al punto de que en los años secos el río lo secan dejando sin caudal ambiental a las especies y los ecosistemas. Esto sin contar las concesiones otorgadas en la cuenca alta (agua arriba del Punto Guardia). Por lo tanto el esfuerzo de este estudio se focaliza en comprender y generar información para la cuenca alta, que es la que aporta agua para el tramo en cuestión.

6.2.2. Planificación del Recurso Hídrico, Cuenca Alta del Río Tempisque.

Como este componente se desarrolló como una tesis de postgrado (Doctorado en Ciencias Naturales) fue necesario delimitar el estudio. La cuenca del río Tempisque es muy extensa, su hidrología y el uso del recurso muy complejo, con una gran dinámica debido al crecimiento de todos los sectores. Como ya se indicó anteriormente el componente de valoración hidrológica solo fue desarrollado para la cuenca alta con el objetivo de generar información de caudales para el tramo del río entre Guardia y Guinea. Por lo tanto este componente se desarrolló para la Cuenca alta (Aguas arriba

del Punto Guardia) y para todo el tramo del río indicado. La planificación del recurso la podemos describir en 4 etapas de estudio.

Etapas I. Recolección de información

En un primer momento se realizaron las actividades relacionadas con la recopilación de la información, sin embargo, la metodología fue diseñada de manera tal que, a lo largo del proceso de ejecución del proyecto, éste se nutriera de información actualizada y pertinente:

- Entrevistas a los actores presentes en la cuenca
- Recopilación de informes y otros documentos.
- Consulta de estadísticas y censos
- Retroalimentación permanente con los participantes de los talleres a realizar.

Etapas II. Análisis y procesamiento de la información. Esta etapa se ubica en tres momentos del proyecto:

- Localización de los proyectos más importantes de aprovechamiento del recurso y valoración del uso ilegal.
- Localización de los proyectos más importantes de aprovechamiento del recurso y valoración del uso ilegal a futuro.
- Construcción de escenarios con base en la disponibilidad y demanda del recurso.

Etapas III. Elaboración de talleres

La etapa de talleres se distribuyó a lo largo del desarrollo del proyecto en momentos específicos según el objetivo que persigue cada uno:

- Un taller estratégico de planificación.
- Una presentación final de la propuesta resultante del proyecto.

Para cada taller se siguió el siguiente procedimiento:

- Planteamiento del taller
- Elaboración de materiales (programa, presentaciones, documentación)
- Convocatoria de los participantes
- Recolección de la información generada

Etapa IV. Propuesta

La cuarta etapa obedeció a un proceso de análisis secuencial que tomó como insumos todas las etapas anteriores para la conformación de una propuesta de planificación estratégica de los recursos hídricos de la cuenca.

7. Resultados

Los análisis realizados hasta el momento en el proyecto están enfocados principalmente en la evaluación y planificación del recurso agua en ecosistemas caracterizados por la escases del mismo; tal y como se desprende de los objetivos del proyecto. Si bien los resultados del proyecto se pueden contabilizar en términos de longitud de bases datos, también se pueden verificar por medio de las publicaciones, presentaciones en conferencias y congresos a los cuales se ha asistido; así como el desarrollo de análisis preliminares realizados tanto en Costa Rica así como en el Stroud Water Research Center en Estados Unidos. Estos trabajos han sido previamente analizados y sometidos a examinación previo a su publicación. Los resultados se enlistan en 8 categorías,

Publicaciones durante el período

Resúmen:

02	artículos en revistas indexadas
01	artículos en revistas en español
01	artículos en preparación
01	capítulos en libro en inglés
03	reportes técnicos
05	presentación en eventos nacionales
02	presentación en eventos internacionales
06	Tesis
21	Número total de productos

7.1 Lista de Artículos publicados en revistas indexadas.

Anexo 1. Guzmán, I. and Calvo-Alvarado, J. 2012 Water Resources of the Upper Tempisque River Watershed, Costa Rica. Tecnología en Marcha 25(4)(Accepted)

Anexo 2. Guzmán, I. y Calvo-Alvarado, J. 2013 Planificación del Recurso Hídrico en América Latina y el Caribe. Tecnología en Marcha 26(1): (Accepted)

7.2 Lista de Artículos publicados en revistas en español.

Anexo 3. Calvo-Alvarado J., Jiménez-Rodríguez C. y M. Saá-Quintana. 2012. Intercepción de precipitación en tres estadios de sucesión de un Bosque húmedo Tropical, Parque Nacional Guanacaste, Costa Rica. Revista Forestal Mesoamericana Kurú (Costa Rica) 9(22).

7.3. Lista de Artículos en preparación.

Anexo 4. Guzman, I and J. Calvo-Alvarado. Water Resources Planning in Costa Rica. 2012. Water and Environment (Draft)

7.4. Lista de Capítulos publicados en libros en Ingles.

Anexo 5. Jiménez-Rodríguez, C. and J. Calvo-Alvarado 2013. An evaluation of Rainfall interception in secondary TDFs. IN: HUMAN AND BIOPHYSICAL DIMENSIONS OF TROPICAL DRY FORESTS IN THE AMERICAS. Eds: A. Sánchez-Azofeifa and J. Powers. Taylor and Francis.

7.5. Reportes Técnicos.

Anexo 6. Calvo-Alvarado, J; Calvo-Obando, A.J. 2012. Estimación del impacto del cambio del uso de la tierra y el clima en los caudales medios de la cuenca alta del Río Tempisque, Costa Rica.

Anexo 7. Jiménez-Rodríguez, C. 2012. Informe de participación en la pasantía en el Stroud Water Research Center. Avondale, PA. US.

7.6. Participación en Eventos Nacionales con Ponencias.

- Anexo 8. Calvo-Alvarado, JC; Jiménez Rodríguez, C. 2010. Intercepción de lluvia en tres estadios sucesionales del bosque seco tropical, Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica. In Congreso Agropecuario y Forestal CONAGROF: Creatividad e Innovación para el desarrollo agropecuario y forestal. (13th, 2010, San José, CR). 2010. Memoria en CD. Colegio de Ingenieros Agrónomos. San José, CR.
- Anexo 9. Calvo-Alvarado, JC. 2010. Calentamiento Global y los sectores agropecuario y de recursos naturales. In Congreso Agropecuario y Forestal CONAGROF: Creatividad e Innovación para el desarrollo agropecuario y forestal. (13th, 2010, San José, CR). 2010. Memoria en CD. Colegio de Ingenieros Agrónomos. San José, CR.
- Anexo 10. Jiménez Rodríguez, CD; Calvo-Alvarado, J. 2012. Intercepción de lluvia en tres estadios sucesionales del bosque seco tropical, Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste. En: ACG Open House 2012. Research in the ACG: Successes, needs and future directions. 23-25 Mayo, 2012. Encuentro de Investigadores del Área de Conservación Guanacaste. Guanacaste, Costa Rica.
- Anexo 11. Jiménez-Rodríguez, C; Calvo-Alvarado, JC. 2012. Efecto de los bosques secundarios sobre la humedad de suelos en un Bosque seco Tropical. In VII Congreso Nacional de Suelos. (7th, 2012, San José, CR). 2012. Memoria en CD. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, CR.
- Anexo 12. Calvo-Alvarado, JC, Jiménez, V. 2012. Relación entre Erosión media anual y Carga media anual de Sedimentos en suspensión en Cuencas Rurales de Costa Rica. In VII Congreso Nacional de Suelos. (7th, 2012, San José, CR). 2012. Memoria en CD. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, CR.

7.7. Participación en Eventos Internacionales con Ponencias.

Anexo 13. Guzmán, I. 2012 Planificación del Recurso Hídrico en América Latina y el Caribe. V Congreso Internacional de Riego y Drenaje. Convención Internacional Ingeniería Agrícola 2012, del 16 al 19 de octubre, La Habana, Cuba.

Anexo 14. Calvo-Alvarado, JC; Jiménez Rodríguez, C; Carvajal Vanegas, D; Arias Aguilar, D. 2009. Rainfall interception in tropical forest ecosystems: tree plantations and secondary forest. In: Conference Proceedings: Water Resources in Changing Climates. Richmond, Virginia, US. 74-83 p.

7.8. Participación de estudiantes.

El proyecto ha buscado involucrar dentro de las labores de investigación a estudiantes de la carrera de Ingeniería Forestal así como también de otras universidades en la realización del proyecto. Dentro del proyecto se desarrollaron cuatro trabajos finales de graduación y dos entrenamientos profesionales de estudiantes europeos. Los trabajos finales de graduación se conforman de una tesis de Maestría y dos tesis de Licenciatura.

Cuadro 3. Estudiantes que participaron con estudios de graduación o entrenamiento técnico en el Proyecto:

Año	Nombre	Producto	Institución	Anexo
2008	Miquel de Saa-Quintana	Tesis de Licenciatura	Universitat de Lleida	15
2008	Michal Kuráz	Informe Técnico	Czech Technical University in Prague	16
2008	Sebastian Weber	Entrenamiento Profesional	Technische Universität München	--
2009	Vladimir Jiménez-Salazar	Tesis de Maestría	UNA / UCR	17
2010	César Jiménez-Rodríguez	Tesis de Licenciatura	ITCR	18
2010	Adriana Aguilar	Tesis de Licenciatura	ITCR	19
2011	Shari Mullins	Tesis de Licenciatura	ITCR	20
2012	Isabel Guzmán	Tesis de Doctorado	ITCR	21

8. Discusión y conclusiones.

El presente proyecto contiene un marco experimental y logístico de gran complejidad, dentro del cual fue necesaria la coordinación entre el ITCR y el Stroud Water Research Center durante la duración del mismo. Las actividades desarrolladas en Costa Rica involucran desde la instalación de las estaciones meteorológicas y de aforo hasta la descarga de loggers, aforo de ríos y establecimiento de los ensayos experimentales llevados a cabo.

Debido a que los proyectos hidrológicos requieren series de datos extensas en términos de tiempo; los análisis relacionados al proyecto y que han generado la creación de documentos y presentaciones en conferencias y talleres así como los artículos son tan solo la primera parte de los análisis de mayor calibre a ser realizados más adelante. Estos análisis no pudieron ser realizados sin el apoyo de los estudiantes relacionados con el proyecto, los cuales han provisto una buena parte del soporte técnico para el desarrollo del mismo.

El desarrollo de los ensayos experimentales sobre intercepción de lluvia en el Parque Nacional Guanacaste y el Parque Nacional Santa Rosa dieron como resultado dos tesis de licenciatura y dos publicaciones. Una publicación en español en una revista nacional y otra como parte de un capítulo de libro a ser publicado con la editorial Taylor and Francis en inglés; mientras que el desarrollo de la tesis doctoral contribuyó en la publicación de dos artículos en revistas indexadas y un artículo en preparación. Esta producción demuestra el esfuerzo aplicado por los estudiantes y el personal del proyecto.

Estas publicaciones si bien representan los análisis preliminares de ensayos específicos, son la base primordial del complejo procesamiento de datos que requiere este proyecto. La colecta de información sobre precipitación (9 estaciones), temperatura (6 estaciones) y humedad relativa (6 estaciones); este set de datos en combinación con el monitoreo de caudales en 9 estaciones representan un compendio de información registrada cada 15 minutos y resumida en forma horaria cuyo análisis inicial se inició una vez completados 3 años de datos continuos.

Los primeros análisis de las bases de datos se muestran en el informe de avance del 2012 en donde se analiza el efecto de cambio de uso de la tierra con el modelo HYLUC

así como en el informe de la pasantía realizada entre noviembre y diciembre 2012 en Avondale, Pennsylvania; en donde se denotan las diferencias en las micro-cuencas monitoreadas.

El segundo componente del proyecto fue desarrollado en su totalidad por Isabel Guzmán en su tesis de Doctorado bajo la supervisión del investigador principal. Para lograr los objetivos se consideró toda la información disponible sobre disponibilidad de agua y consumo a nivel regional; en donde a los principales consumidores se les consultó sobre consumo, efectividad de los procesos y disponibilidad a futuro. Un aspecto importante está relacionado con el cambio de cultivo dentro de las tierras agrícolas, en donde la caña tiene un papel predominante en el área de cultivo así como en los niveles de consumo; en donde el recurso de agua subterráneo es vital, pero no fue considerado en la propuesta actual.

La cuantificación de la demanda actual de recurso hídrico superficial se extrajo de la base de datos de concesiones de la Dirección de Aguas del MINAET actualizados a mayo del año 2012. De esta base de datos se utilizaron únicamente las concesiones de agua superficial y se clasificaron los caudales otorgados en cada concesión de acuerdo a los diferentes usos. En el caso de las proyecciones de demanda a futuro, se entrevistaron a los representantes de los diferentes sectores usuarios más importantes y se les solicitó una estimación del caudal que estarían requiriendo para los siguientes 15 – 20 años con base en sus proyecciones de crecimiento.

A pesar de la variación que pueda existir en el total de caudal concesionado debido a la dinámica de vencimiento de unas concesiones y otorgamiento o renovación de otras, se ha concesionado un caudal que compromete seriamente la disponibilidad del recurso durante la época de estiaje.

9. Recomendaciones.

- Dar soporte a proyectos de monitoreo continuo en regiones del país donde la producción de información y datos es limitada.
- Considerar el apoyo al establecimiento de redes de monitoreo (hidro-meteorológico) por parte de la institución con colaboración de organismos como el IMN, SENARA y empresas privadas entre otras; con la finalidad de mejorar la transferencia de información entre instituciones.

- Desarrollar un proyecto de investigación que involucre el consumo de agua subterránea en la cuenca baja del Tempisque, así como el proceso de monitoreo y modelaje del balance hídrico del acuífero aluvial.

10. Agradecimientos.

El proyecto “Valoración y Planificación del Recurso Hídrico en la cuenca alta y canal principal del río Tempisque” fue apoyado por el Stroud Water Research Center dentro del proyecto “Long-Term Research in Environmental Biology: Streams of the Area de Conservación Guanacaste” (conducido por este instituto de investigación <http://www.stroudcenter.org/research/projects/ltreb/costarica/index.shtm>).

Se reconoce el apoyo logístico y financiero del Instituto Tecnológico de Costa Rica (proyecto Código 5402-1401-9801). Se agradece el apoyo del Área de Conservación Guanacaste, del Centro de Investigaciones Integración Bosque-Industria y a los estudiantes tesistas que han participado en este proyecto. De manera muy especial se agradece a los asistentes técnicos de este proyecto en su orden cronológico de participación: Oscar Arias, Juan Carlos Solano, Branko Hilje, César Jiménez, Cristian Baltonado, Julieta Calvo y Dorian Carvajal.

11. Referencias.

- Aguilar E.; Ballesteros M.; Echeverría J.; Espinoza C.; Oreamuno R. y R. Villalta. 2004. Primera etapa del plan de manejo integral del recurso hídrico: La estrategia nacional del MIRH. Plan nacional de manejo integral del recurso hídrico. TN/WP - 8467-CR. MINAE. San José de Costa Rica. 149 p.
- Calder, I. R., I. Reid, T. R. Nisbet, and J. C. Green. 2003. Impact of lowland forests in England on water resources: Application of the Hydrological Land Use Change (HYLUC) model, *Water Resour. Res.*, 39(11).
- Jewitt G; Garratt, J; Calder, I and L.Fuller. 2004. Water resources planning and modeling tools for the assessment of land use change in the Luvuvhu Catchment, South Africa *Physics and Chemistry of the Earth* (29)1233 –1241
- Jimenez. J.; Calvo-Alvarado. J.; Pizarro. F. y E. Gonzalez. 2005. Conceptualización de Caudal Ambiental en Costa Rica: Determinación Inicial para el río Tempisque. Organización para Estudios Tropicales- UICN. Area temática de Humedales, Agua y Zonas Costeras. 40 p.

Linacre, E.T., 1977. A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone. Agricultural meteorology (18) 409–424.

Nathan R.J., and T.A. McMahon. 1990. Evaluation of Automated Techniques for Base Flow and Recession Analysis. Water Resources Research, Vol. 26 No. 7, PP 1465-1473.

FIRMAS:

Investigador Principal del proyecto

Coordinador del CIIBI

Nombre: Julio César Calvo A.

Nombre: Francisco Monge.

Cédula: 1-639-541

Cédula: 1-584-272

Firma: _____ Firma: _____