



CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL  
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA  
ESCUELA DE POSGRADO

Percepción sobre la tendencia de caudales, precipitación, temperatura y  
cambio de uso del suelo con relación al uso y manejo del agua en la zona  
norte de Cartago, Costa Rica

por

Ildefonso Narváez Ortiz

Trabajo de Graduación sometido a consideración de la Escuela de Posgrado  
como requisito para optar por el grado de

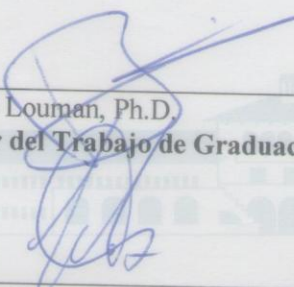
*Máster en Práctica del Desarrollo*

Turrialba, Costa Rica, 2013

Este trabajo de graduación ha sido aceptado en su presente forma por la División de Educación y el Programa de Posgrado del CATIE y aprobado por el Comité Asesor del estudiante , como requisito para optar por el grado de

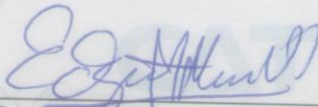
**Máster en Práctica del Desarrollo**

**FIRMANTES:**

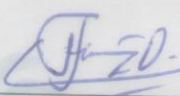


\_\_\_\_\_  
Bastiaan Louman, Ph.D.  
**Director del Trabajo de Graduación**


\_\_\_\_\_  
Néstor Veas, M.Sc.  
**Miembro Comité Asesor**



\_\_\_\_\_  
Eddy Romero, M.Sc.  
**Miembro Comité Asesor**



\_\_\_\_\_  
Thomas Dormody, Ph.D. / Francisco Jiménez, Dr. Sc.  
**Decano / Vicedecano de la Escuela de Posgrado**



\_\_\_\_\_  
Ildefonso Narváez Ortiz  
**Candidato**

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres Manuel Narváez y Raquel Ortiz, mis hermanas Isabel y María y mi hermano Herman por ser un apoyo constante pese al tiempo y la distancia.

A Alejandro Imbach, José Oduver, Claudia Bouruncle y Mildred Jiménez como parte de la MPD por la ayuda al momento de iniciar y finalizar satisfactoriamente con esta fase académica.

A Pablo Imbach y Bastiaan Louman del Programa de Cambio Climático y Cuencas de CATIE por guiarme y apoyarme a lo largo de esta fase y darme la oportunidad de aprender.

A la ITTO por brindarme la beca parcial y cubrir costos de matrícula de la maestría.

A mis asesores; Néstor Veas de la MPD y Eddy Romero de SENARA. Asimismo a Fanny Brenes por sus acertadas aclaraciones en cuanto a hidrología.

A los usuarios de las SUA Sanatorio Duran, Turusal los Comunes, Rio Reventado y el Rodeo (Cartago, Costa Rica) por su colaboración a lo largo del desarrollo de este trabajo.

A Carlos Cerdan, Cliserio González y Freddy Argotty por la ayuda permanente

A los compañeros y compañeras de la MPD y el CATIE, La gente de Turrialba y Grano de Oro (CR)

## TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	III
TABLA DE CONTENIDO .....	IV
ÍNDICE DE CUADROS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ACRONIMOS, ABREVIATURAS Y UNIDADES .....	VI
RESUMEN.....	VII
1 INTRODUCCION .....	1
2 JUSTIFICACION .....	2
3 OBJETIVOS.....	4
3.1 Objetivo general .....	4
3.2 Objetivos específicos.....	4
4 HIPOTESIS .....	4
5 MARCO TEORICO .....	5
5.1 Cuenca hidrográfica .....	5
5.2 Ciclo hidrológico.....	5
5.3 Ley 216 de 1942, ley de aguas .....	6
6 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO.....	8
6.1 Localización del área de trabajo.....	8
6.2 Las SUA en la zona norte de Cartago: cuenca del río Reventado.....	9
6.3 Captación, distribución y manejo del riego en las SUA del río Reventado .....	11
7 METODOLOGIA.....	14
7.1 Análisis hidrometeorológico y cálculo de tendencia de caudales, precipitación y temperatura.....	14
7.2 Dinámica de uso del suelo.....	15
7.3 Percepción social frente al uso del suelo y las tendencias de caudales.....	16
7.4 Restricciones y limitaciones.....	17
8 RESULTADOS .....	17
8.1 Análisis hidrometeorológico (caudales, precipitación y temperatura).....	17
8.1.1 Caudales.....	18

8.1.2	Precipitación .....	19
8.1.3	Temperatura .....	20
8.1.4	Balance hídrico .....	21
8.1.5	Topografía de la cuenca .....	22
8.1.6	Pendientes y suelos .....	23
8.1.7	Isoyetas precipitación y temperatura .....	25
8.2	Dinámica del uso del suelo .....	26
8.3	Percepción de los productores y líderes .....	31
8.4	Análisis estadístico .....	33
9	ANÁLISIS DE LA EXPERIENCIA Y DE LA UTILIDAD DE LOS RESULTADOS ..	33
10	RECOMENDACIONES PARA EL USO Y MANEJO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA.....	39
11	LECCIONES APRENDIDAS .....	41
12	CONCLUSIONES .....	42
13	LITERATURA CITADA .....	43
14	ANEXOS .....	46

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Resumen SUA-SENARA del Río Reventado.....	10
Cuadro 2.	Características aspersion Naan-Dan 501U. ....	12
Cuadro 3.	Calendario agrícola. ....	18
Cuadro 4.	Simbología análisis de tendencias.....	18
Cuadro 5.	Tendencias de caudales.....	19
Cuadro 6.	Tendencias de precipitación.....	20
Cuadro 7.	Tendencias de temperatura.....	21
Cuadro 8.	Parámetros morfométricos. ....	22
Cuadro 9.	Matriz de cambio de uso del suelo.....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo del agua .....	6
Figura 2. Estructura para gestión de concesiones de agua. ....	7
Figura 3. Localización del área de trabajo. ....	9
Figura 4. Sistema de riego con micro-aspersores. ....	11
Figura 5. Localización de las estaciones meteorológicas. ....	15
Figura 6. Tendencia de caudales (m <sup>3</sup> ). ....	19
Figura 7. Tendencia de precipitaciones (mm) .....	20
Figura 8. Tendencia de temperaturas (°C). ....	21
Figura 9. Balance hídrico .....	22
Figura 10. Curva hipsométrica y frecuencias de área de la cuenca. ....	23
Figura 11. Mapa de pendientes. ....	24
Figura 12. Perfil longitudinal del Río Reventado. ....	25
Figura 13. Mapa de isoyetas para temperatura y precipitación. ....	25
Figura 14. Usos del suelo 1978, 1998, 2005 y 2011. ....	27
Figura 15. Superficie ocupada por cada uso en 1978, 1998, 2005 y 2011. ....	28
Figura 16. Comparación entre velocidad del viento y precipitación. ....	36
Figura 17. Estimación de cambios de clima 2011 - 2040. ....	37

## ACRONIMOS, ABREVIATURAS Y UNIDADES

Abs	=	Absoluto
ACCVC	=	Área de Conservación Cordillera Volcánica Central
ICE	=	Instituto Costarricense de Electricidad
IGN	=	Instituto Geográfico Nacional
IMN	=	Instituto Meteorológico Nacional
INA	=	Instituto Nacional de Aprendizaje
MAG	=	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MINAET	=	Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones
PNVI	=	Parque Nacional Volcán Irazú
Rel	=	Relativo
SENARA	=	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento
SINAC	=	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
SUA	=	Sociedades de Usuarios de Agua

## RESUMEN

Este trabajo se llevó a cabo en la Cuenca alta del río Reventado, la cual tiene predominancia de producción hortícola. Donde, con el aumento de la población y la atomización de las propiedades se han generado sistemas de producción intensivos con uso de sistemas de riego y agroquímicos. La única fuente de agua para uso agrícola de la zona es el río Reventado y la demanda ha superado la oferta.

El trabajo busca identificar la percepción de los productores y relacionarla con el uso del suelo y el análisis hidrometeorológico. Con el fin de comprender el funcionamiento del sistema productivo y las condiciones ambientales y optimizar el uso de agua en la agricultura.

Se realizaron encuestas y entrevistas a productores de cuatro Sociedades de Usuarios de Agua (SUA) y entrevistas a líderes comunitarios e institucionales. Con esta información se analizó la percepción frente al comportamiento de la precipitación, temperatura y caudales a lo largo del tiempo. El cambio de uso del suelo se analizó con base en fotografías aéreas e imagen de satélite tomando los años de 1978, 1998, 2005 y 2011.

Se determinó la disminución de las cercas vivas y bosques de galería. El volumen medio mensual de precipitación y la media de temperatura han permanecido relativamente constantes, con modificación en la frecuencia de ocurrencia de lluvias. Además se presentan eventos extremos evidenciando la variabilidad climática. Los productores lo perciben como disminución de las lluvias y caudales, ya que causa inconvenientes en la producción agrícola y aumenta la dependencia del riego, acentuado por la presencia continua de vientos.

La cuenca del río Reventado es susceptible a erosión de suelos tanto en época seca como en lluvias, debido a la relación inversa entre precipitación y velocidad del viento. La erosión eólica se incrementa por las prácticas agronómicas que dejan el suelo descubierto y la falta de barreras que limiten el paso del viento.

La inestabilidad de los suelos, sismicidad, fallas geológicas, altas pendientes y variabilidad climática se conjugan para hacer de la cuenca del río Reventado un lugar vulnerable ante avenidas del río, deslizamientos en masa y contaminación por sedimentos. De igual manera estas condiciones dificultan el uso del agua subterránea.

**Palabras clave:** Percepción, Riego, uso del suelo, variabilidad climática

## 1 INTRODUCCION

A nivel mundial alrededor del 70 % del agua que se extrae es utilizada en la agricultura, encontrando extremos de 87 % en el África subsahariana (FAO, 2008). Con el crecimiento de la población sumado a la variabilidad climática se hace más difícil para los productores acceder al recurso, teniendo implicaciones tanto en cantidad como en la calidad (FAO, 2008).

La zona norte de Cartago no es indiferente a esta situación, siendo eminentemente agrícola con agricultura de temporal y uso de riego (Ramírez *et al*, 2008a). Asimismo existen comunidades que requieren agua para consumo doméstico y establecen acueductos como el caso de Tierra Blanca.

La producción de hortalizas en la zona norte de Cartago alcanza el 80% del total de Costa Rica (Ramírez *et al*, 2008a). Asimismo la actividad hortícola genera empleos directos e indirectos en las diferentes fases de la producción, partiendo desde la siembra hasta el procesamiento y comercialización (SENARA, 2006). Además, para las familias es un componente de su seguridad alimentaria y aporta ingresos económicos que permiten satisfacer las necesidades básicas.

La explotación hortícola juega un papel importante en la economía de la zona norte de Cartago y se ha mantenido relativamente constante. Sin embargo, presenta problemas sobresalientes como el alto uso de agroquímicos (Estado de la nación, 2010) y baja disponibilidad aunado con el alto consumo de agua de los cultivos hortícolas. El primero no impacta directamente sobre la economía pero sí afecta como un agente de contaminación y posible promotor de enfermedades. En cambio la disponibilidad y uso del agua es un aspecto que puede afectar la producción, la economía de la región y la seguridad alimentaria de las familias.

En la búsqueda de alternativas para mejorar la producción de hortalizas, se han establecido las Sociedades de Usuarios de Agua (SUA). Que tienen como finalidad la de utilizar agua previamente concesionada para fines de riego agrícola. Sin embargo, la demanda ha aumentado al nivel de superar la oferta de agua superficial de la región. Este aumento se debe principalmente al aumento del área regada ya que así se pueden obtener más cosechas al año y con ello mayores ingresos (SENARA, 2006).

A pesar de la importancia de la región en cuanto a producción de hortalizas, el uso del agua en la agricultura está limitado por las condiciones naturales y las normas legales. Para que los productores puedan utilizar el agua se tienen que adaptar al ciclo hidrológico y la variabilidad climática y además cumplir con la reglamentación que se imponga en cada región.



## 2 JUSTIFICACION

A nivel nacional la cuenca del río Reventado es de gran importancia para el sector agrícola, formando parte de la zona norte de Cartago que produce cerca del 90% de la papa y el 65% de la cebolla que se consume en Costa Rica (SENARA, 2006). La cercanía a las ciudades de Cartago y San José facilita la comercialización y adquisición de insumos.

El río Reventado es la única fuente de agua para los productores de la cuenca, incluyendo las SUA. Las tomas de agua de las SUA están en la parte alta de la cuenca lo que genera ventajas como desventajas: al estar en esta ubicación los niveles de contaminación son bajos o nulos por estar cerca del nacimiento, pero esta condición también implica menor recorrido y colecta de agua alcanzando un caudal más pequeño que en zonas bajas.

Las SUA existentes no son suficientes para satisfacer las necesidades de riego de la región, por esto los productores hacen toma ilegal de agua y afectan la disponibilidad para los usuarios que tienen concesiones. Esta situación es delicada debido a que no se puede dar un suficiente control oficial y que además el agua es un bien público al que idealmente debería tener acceso el total de la población. También se advierte que el uso ilegal del agua no se convierte en una solución sino que intensifica los focos de déficit de agua. Por esta razón SENARA está impulsando la exploración de otras alternativas para suministro de agua y equipos que ofrezcan mayor eficiencia.

Además, el potencial hídrico de la cuenca del río Reventazón, incluyendo el río Reventado se ha priorizado para la generación eléctrica, mediante la ley 1657 de 1953 que en su artículo 13 la declara como “zona de reserva hidráulica del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)”. Lo que implica que para cualquier uso agropecuario, Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET) tiene que hacer una consulta previa al ICE y este tiene la potestad y autonomía para decidir sobre el volumen de agua que se puede concesionar para no afectar sus intereses.

La problemática se acentúa con los altos consumos de agua que presentan los cultivos hortícolas aunados con cambios en el régimen de lluvias a lo largo del año. Esto conlleva a realizar solo una cosecha en el año con permanencia del suelo desnudo durante el periodo seco. Adicionalmente, con el aumento de las áreas bajo riego y el consumo de agua tanto de forma legal como ilegal se ven comprometidos la disponibilidad y acceso. En consecuencia se incrementan los riesgos para la cosecha cuando los niveles de humedad caen por debajo del punto de marchitez permanente.

La demanda está fuertemente ligada a los usos tanto legales como ilegales que se dan a diferentes alturas de la cuenca. A pesar de encontrarse las SUA se da el uso ilegal mediante tomas ubicadas a lo largo del cauce del río. La declaración como Reserva hidráulica del ICE a toda la cuenca del Río Reventazón incrementa el uso ilegal del agua, ya que el volumen

permitido por el ICE es inferior al requerido por los cultivos (Siu, 2012). Además los cambios en cuanto a volumen y frecuencia de precipitaciones, y mayor presencia de eventos extremos acentúan el problema de escasez de agua para fines agrícolas.

La percepción de las personas sobre el comportamiento del clima a través del tiempo es de gran importancia a la hora de establecer alternativas para uso eficiente del agua. Si los usuarios son indiferentes o no perciben el problema será difícil que asuman acciones para mitigarlo. Además, es vital tener información clara sobre cuál es la situación actual de los recursos hídricos en relación a su disponibilidad y demanda. Con información sobre el comportamiento de los caudales y sobre cómo la gente ve la problemática se puede establecer alternativas de acción para dar uso eficiente al agua sin afectar los intereses de los demás usuarios del agua de la cuenca.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo general**

Analizar la percepción de la población de la zona norte de Cartago sobre el uso y manejo del agua para riego con relación a las tendencias de caudales, precipitación, temperatura y la cobertura vegetal.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- a) Analizar el proceso de cambio de uso del suelo y la tendencia de caudales, precipitación y temperatura.
- b) Determinar la percepción de la población e informantes clave frente a la tendencia de caudales, precipitación, temperatura y uso del suelo con relación al uso y manejo del agua.
- c) Identificar las respuestas de los productores ante la escasez de agua
- d) Formular recomendaciones para la gestión y fortalecimiento de las capacidades en la práctica del uso y manejo del agua

### **4 HIPOTESIS**

- a) El uso del suelo ha presentado cambios como rotaciones de cultivos y disminución de la cobertura boscosa.
- b) Los caudales tienen una tendencia decreciente significativa y la precipitación no tiene una tendencia definida.
- c) Los usuarios de agua si han notado los cambios en cuanto a disponibilidad de agua, la precipitación y el uso del suelo.
- d) Los usuarios de agua si han ejecutado acciones efectivas para sobrellevar satisfactoriamente el déficit de agua.

## **5 MARCO TEORICO**

### **5.1 Cuenca hidrográfica**

Una cuenca hidrográfica es una región natural donde el agua proveniente de las precipitaciones confluye a un cauce principal (Aparicio, 1992). Se integra no solo los cauces de ríos y arroyos, sino también el suelo, las comunidades, la cobertura sea vegetal o artificial y por ende las interacciones entre cada uno de estos elementos (Sánchez, 2003).

La cuenca hidrográfica es independiente de las divisiones administrativas y políticas. En ella se facilita la interacción entre los habitantes dado que comparten las fuentes de agua, caminos y en general se deben enfrentar a los mismos riesgos. Por esta razón se considera a la cuenca hidrográfica como la mínima unidad espacial ideal para la planificación y manejo de los recursos hídricos (Sánchez, 2003; IDEAM, 2008).

### **5.2 Ciclo hidrológico**

El ciclo hidrológico no tiene principio ni fin definidos, sus procesos se repiten constantemente y su descripción puede iniciar en cualquier punto. La descripción grafica de este ciclo se muestra en el Figura 1, donde el agua que está en la superficie de la tierra por acción del viento y la radiación solar se convierte en vapor, que se eleva y forma las nubes en la atmosfera hasta que se condensa y cae a la tierra cumpliendo el proceso conocido como precipitación. En el trayecto hasta llegar a la superficie de la tierra el agua puede volver a evaporarse o ser atrapada por la cobertura vegetal o las construcciones. Del agua que llega a la superficie una parte se infiltra y otra se escurre hasta los ríos o cuerpos de agua (Aparicio, 1992; Chow, 1994).

A la diferencia entre el agua que se precipita y la que escurre en la cuenca se le denomina perdidas. Dichas perdidas se constituyen por el agua interceptada por la vegetación, construcciones, represas, lagunas, la evaporación e infiltración. Dado que es difícil estimarlas por separado generalmente todas se consideran bajo el nombre de infiltración. La cual juega un papel importante en la relación lluvia-escorrimento, siendo varias veces mayor el volumen de infiltración que el de escurrimento (Aparicio, 1992).

La infiltración es alta cuando el suelo está seco y sin cobertura vegetal. Inicialmente puede infiltrarse la totalidad del agua que llueve hasta que el suelo llega a saturarse, formándose charcos o escorrentía superficial. Si la lluvia es intensa la escorrentía superficial acumulada genera procesos erosivos y de sedimentación. En sitios con cobertura donde hay una retención de lluvia por parte de la vegetación originando mayor capacidad de infiltración, debido a que el agua llega al suelo con retardo con respecto al tiempo de lluvia. La cobertura permite al suelo movilizar el agua de forma progresiva evitando altos volúmenes de escorrentía y con

ello disminuyendo la erosión (Aparicio, 1992; Hurkmans et al, 2009; Guan-Wei et al, 2009; Rientjes et al, 2011).

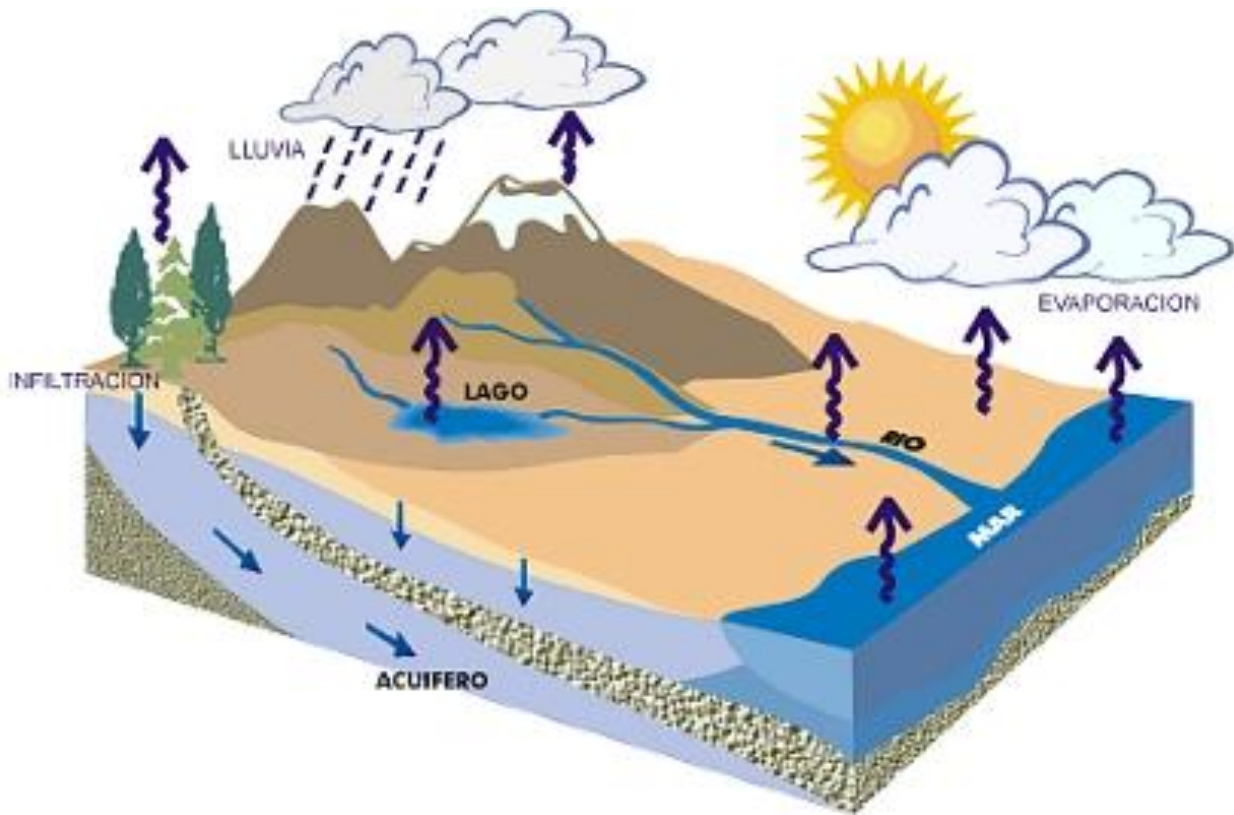


Figura 1. Ciclo del agua

Fuente: <http://losrinconesolvidados.blogspot.com/2009/04/el-ciclo-del-agua.html>

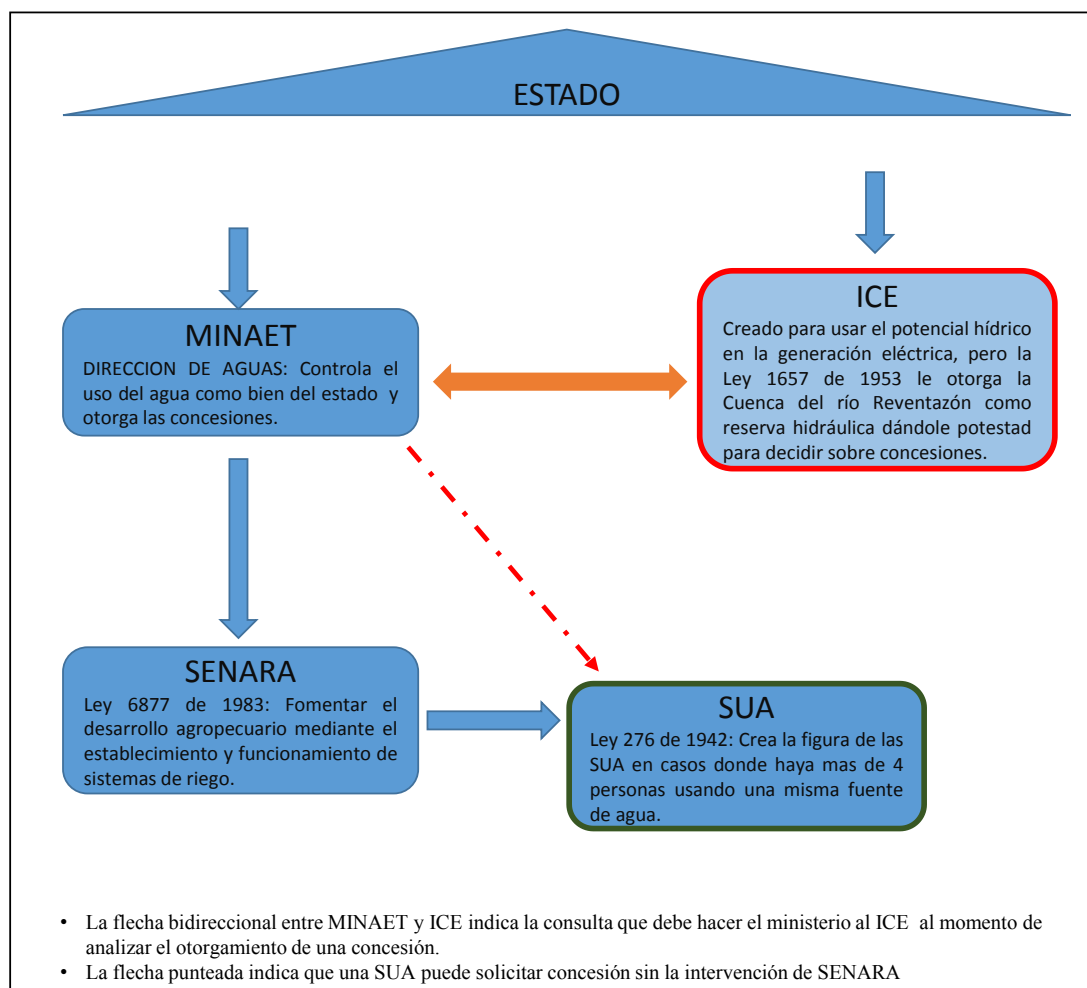
Los factores que principalmente afectan la infiltración son; textura del suelo, contenido inicial de humedad del suelo, cobertura vegetal, uso del suelo, aire atrapado, compactación y temperatura (Aparicio, 1992). La cobertura boscosa favorece en mayor grado la retención de humedad e infiltración, seguido de cultivos perennes, cultivos anuales y pasturas (González, 2006).

### 5.3 Ley 216 de 1942, ley de aguas

Las SUA son reglamentadas por la ley 276 de 1942, comúnmente conocida como ley de aguas. La cual dispone conformar una sociedad cuando se encuentran más de cuatro personas haciendo uso de una misma fuente de agua. Los vacíos que deja la ley de aguas son cubiertos por la ley 6756 de 1982 conocida como la ley de cooperativas (Ver Figura 2).

Una vez agrupadas las personas en una asociación es necesaria la inscripción ante el MINAET. Asumiendo la obligación de informar cualquier cambio en los estatutos o los movimientos de la Junta Directiva y la Junta de Vigilancia. De esta forma las sociedades

poseerán personería jurídica, principalmente para efectos de: obtener concesiones, construcción de obras civiles, consecución de recursos económicos y adquisición de bienes para la asociación (Ley 276, 1942).



*Figura 2. Estructura para gestión de concesiones de agua.*

La máxima autoridad de las SUA es la Asamblea de Socios. La administración estará a cargo de la Junta Directiva bajo la supervisión de la Junta de Vigilancia con base en los estatutos. Para la administración en general la representación legal de la sociedad es asumida por el presidente de la Junta Directiva (Ver Figura 2) (Ley 276, 1942).

Cada concesión determina la regulación del uso del agua por parte de los socios. Sin embargo, la sociedad tiene autonomía para determinar los planes de distribución del agua. Dichos planes pueden consistir en la asignación del agua por horas al día, días a la semana, entre otros. La figura de las SUA como tal, en ningún caso puede tener propiedades o administrar explotaciones agrícolas, industriales o comerciales que generen ingresos económicos (Ley 276, 1942).

La concesión se puede tramitar inmediatamente se tiene la personería jurídica de la SUA y se puede hacer directamente (SUA ante MINAET) o por medio de instituciones como el Servicio Nacional Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA). Se debe presentar la solicitud a la Dirección de Aguas del MINAET y esta se encarga de decidir acerca de otorgarla o no, así como del volumen. Para tomar la decisión la Dirección de Aguas debe hacer consulta al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) tal como lo establece la ley 1657 de 1953, esta ley aplica únicamente para el área de la cuenca del río Reventazón (Ver Figura 2).

## **6 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO**

### **6.1 Localización del área de trabajo**

El área de trabajo comprende la cuenca alta del río Reventado, entre los 2000 y 3400 m.s.n.m. se consideró 2000 m.s.n.m debido a que las tomas de agua de las SUA estudiadas se encuentran arriba de esta altitud. Está ubicada al norte de la ciudad de Cartago, en el extremo suroeste del Volcán Irazú, entre las coordenadas geográficas 83° 51 28" a 83° 57 19" de longitud oeste y entre 9° 50 25" a 9° 58 28" de latitud norte, que corresponden al datúm WGS84.

En el extremo superior de la cuenca, sobre los 2.700 m.s.n.m. se encuentra el Parque Nacional Volcán Irazú (PNVI) creado en 1955 mediante la ley 1917 del Instituto Costarricense de Turismo (ICT) con una extensión de 2309 hectáreas. Tanto el área de estudio como el PNVI están incluidos en el Área de Conservación Cordillera Volcánica Central (ACCVC), que corresponde a una de las 11 establecidas por Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) de acuerdo con lo dispuesto en la ley 7788 de 1998 (SINAC, 2012).

La cuenca del río Reventado tiene una superficie de 2.227 hectáreas. La altitud se encuentra entre 1800 y 3400 m.s.n.m. y predominan las zonas de vida de bosque pluvial montano, bosque muy húmedo montano. El río Reventado es un afluente del río Reventazón y se caracteriza por tener fuertes pendientes y corto periodo de concentración de caudal relacionado con la estacionalidad de las lluvias (Ramírez *et al*, 2008b).

La geología de la cuenca hace parte del grupo Irazú con las formaciones de Cervantes, Birrís, Sapper y Reventado. Se caracteriza por ser una zona volcánica joven, cubierta por cenizas, en donde se presentan laderas inestables que han generado deslizamientos en masa motivados por las lluvias o sismos<sup>1</sup> (Ver Anexo 5) (Vahrson y Herrera, 1992; Ramírez *et al*, 2008b). En la zona aledaña al volcán Irazú se encuentra un sistema de fallas que han influido en la sismicidad de la región aumentando la inestabilidad de las laderas (Fernández *et al*, 1998). Las fallas más próximas a la cuenca del río Reventado son Tierra Blanca, Irazú y Las Nubes

---

<sup>1</sup> Cortés, V. 2012. Geología y geomorfología de la cuenca del Río Reventado (Comunicación personal).

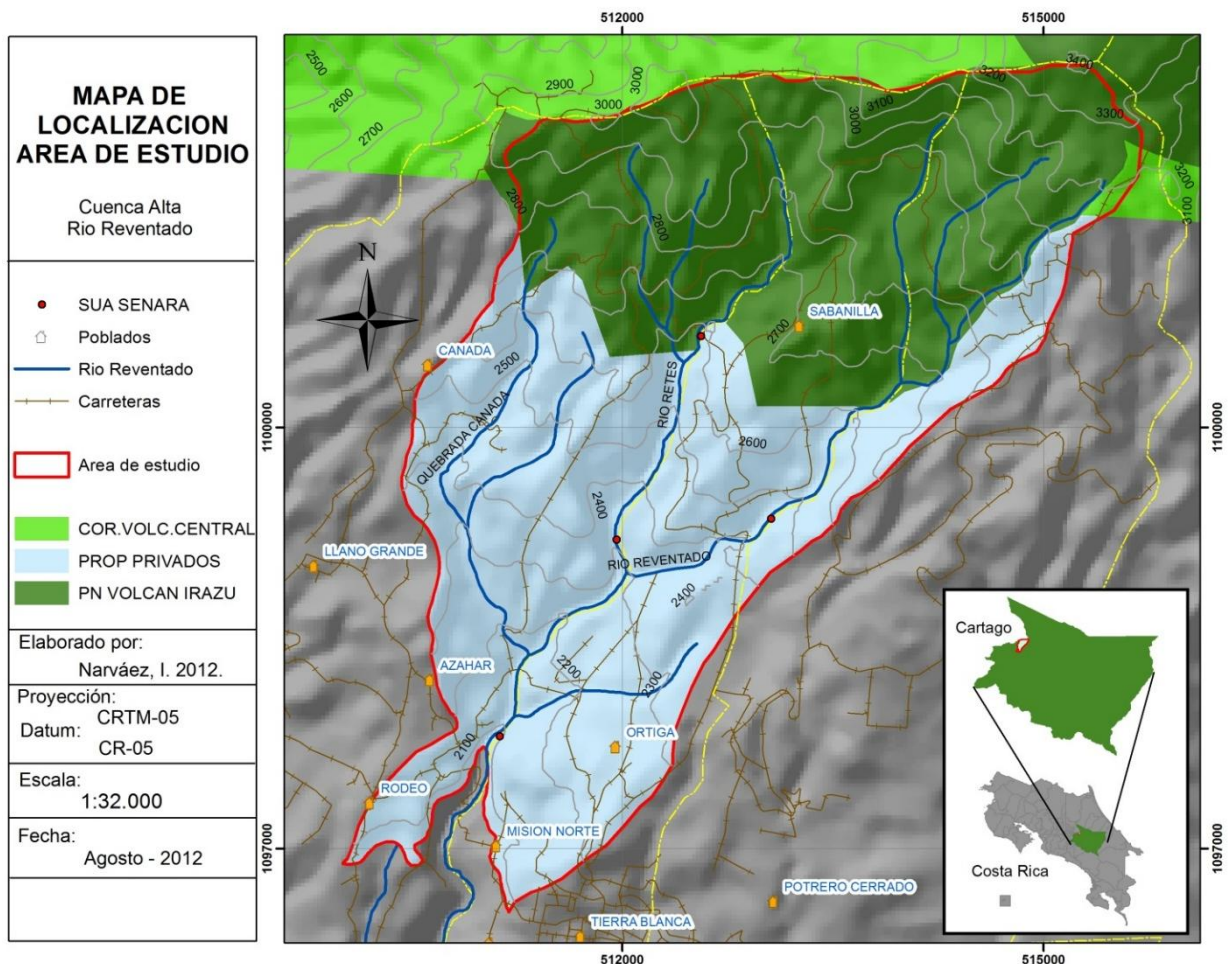


Figura 3. Localización del área de trabajo.

## 6.2 Las SUA en la zona norte de Cartago: cuenca del río Reventado

La mayor parte de los productores de la zona norte de Cartago manejan su producción en función del periodo de lluvias, lo que implica obtener una sola cosecha al año. A diferencia de la producción con riego en donde se alcanza al menos dos cosechas al año con mejor calidad y productividad. Este aumento de la producción y la disminución de riesgo de pérdidas siempre ha sido un motivante para implementar riego. No obstante, las aguas de los ríos de la región están concesionadas en su totalidad, es decir, la demanda supera la oferta (Ver Anexo 9).

En 1990 con el apoyo del SENARA se estableció la primera SUA en Tierra Blanca (Herrera, 2002). Actualmente existen 26 SUA distribuidas en la región norte de Cartago (MINAET, 2012), de las cuales 13 utilizan agua del Río Reventado beneficiando a 350 productores con 386 hectáreas (SENARA, 2006). De estas 13 SUA, SENARA apoya directamente a 4 registradas como: SUA Sanatorio Duran, SUA Río Reventado, SUA El Rodeo de Tierra Blanca y SUA Turusal los Comunes de Llano Grande<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Romero, E. 2012. Sociedades de Usuarios de Agua en la zona norte de Cartago (Comunicación personal). Turrialba, CR.



En total las SUA que son apoyadas por SENARA agrupan más de 150 productores y más de 100 hectáreas. En el Cuadro 1 se muestra la información básica en donde se puede notar que la cantidad de agua por usuario ronda entre 0.3 y 0.5 litros por segundo, asimismo la cantidad de litros por segundo para una hectárea esta alrededor de 0.5.

*Cuadro 1. Resumen SUA-SENARA del Río Reventado.*

SUA	Expediente **	Cantidad usuarios*	Área(ha)*	Concesión (litros/segundo)**	Litros / usuario	Litros / ha
<b>Sanatorio Duran</b>	9408 A	29	18.94	9.5	0.33	0.5
<b>Rio Reventado (Tierra Blanca)</b>	4646 A	69	72.27	35	0.51	0.48
<b>El Rodeo</b>	7668 A	40		15.6	0.39	
<b>Turusal los Comunes</b>	9880 A			8.95		

Fuente: \*SENARA, 2012; \*\*MINAET – Dirección de aguas, 2012

Como alternativas a la baja disponibilidad de agua SENARA ha revisado la posibilidad de uso de aguas subterráneas y la de trasvasar agua de otras cuencas. Para la primera se indica que los acuíferos están demasiado profundos subiendo los costos de perforación hasta límites no rentables. La segunda alternativa se encuentra en estudio con relación a la cuenca del río Turrialba y el río Pirris (SENARA, 2006). No obstante, se debe analizar experiencias como la cosecha de agua que pueden ayudar a solventar el déficit, pero no se tiene mucha información en la zona.

En cuanto al apoyo que SENARA brinda a 4 de las SUA que usan agua del rio Reventado es importante mencionar que: inició desde el momento de la gestión de los proyectos avanzando hasta el diseño, construcción y mantenimiento de las instalaciones que forman parte del sistema de riego. De esta forma el aporte por parte de los productores fue mínimo. Como consecuencia, en la actualidad los productores hacen una limitada inversión para mantener el correcto funcionamiento. A lo anterior se suma una baja asistencia técnica que se puede dar al sector implicando que cada productor aplique por su cuenta lo que considera correcto sin tener criterios técnicos claros.

Las cuatro SUA apoyadas por SENARA están dedicadas a la producción agrícola. Donde los cultivos principales son papa y cebolla, con rotaciones de remolacha, lechuga, zanahoria, brócoli, coliflor, entre otros. El 85 % de las fincas de la zona son pequeñas con una superficie inferior a 5 hectáreas, asimismo, la mayoría de los productores son propietarios de las fincas donde trabajan (Ramírez *et al*, 2008a).

La distribución del agua hasta cada finca o depósito se hace mediante tubería subterránea y las conexiones específicas para cada productor (pajas) se hacen con tubería de menor diámetro.

Cada productor tiene una asignación de caudal denominado cuota y que generalmente no alcanza para mantener regada la totalidad de su finca. No hay control o medición sobre el caudal que utiliza cada productor, esta función se ha encargado solo a los diámetros de la tubería. Lo anterior implica que el productor no asuma costos por fallas que ocasionen pérdidas y que no controlen su gasto mediante la completa implementación de sistemas de riego que usen eficientemente el agua.

El sistema de riego que se promueve en la actualidad es el de micro-aspersión, el cual por su alta eficiencia puede remplazar los tradicionales aspersores. Que tienen varias limitantes de las que se destacan: requerimiento de mayor cantidad y presión de agua para funcionar correctamente. Asimismo, el área regada no es uniforme y presenta alto desperdicio acentuando el déficit de agua<sup>3</sup>. Hasta el momento no se está aprovechando el máximo de eficiencia del sistema con micro-aspersores por falta de completar la instalación de mangueras adecuadas que permitan mantener homogénea la presión del agua a lo largo del recorrido. Sin estas adecuaciones y con las pronunciadas pendientes de la zona, la presión se concentra en la parte baja del área regada donde se aplica más agua de la necesaria mientras se espera a que los aspersores de la parte alta alcancen el nivel deseado.



*Figura 4. Sistema de riego con micro-aspersores.*

Fuente: El Autor

### **6.3 Captación, distribución y manejo del riego en las SUA del río Reventado**

Las SUA analizadas en general tienen un funcionamiento similar y están conformadas por la junta directiva, el juez de agua y los usuarios. El juez de agua es la persona que se encarga del manejo y la distribución del agua, hace la apertura y cierre de las llaves de acuerdo con el plan diseñado. De igual forma es el encargado de vigilar el cumplimiento del reglamento y los acuerdos que rigen a la SUA. Los usuarios son los productores quienes hacen uso del riego ya sea en una parte o en la totalidad de sus propiedades, con base al área permitida bajo riego se determina el número de aspersores que puede usar.

---

<sup>3</sup> Romero, E. 2012. Sociedades de Usuarios de Agua en la zona norte de Cartago (Comunicación personal). Turrialba, CR.

Para la captación del agua cada SUA tiene una toma en el río Reventado en las ubicaciones que muestra la Figura 3. Desde este punta salen tuberías de conducción hasta los punto donde se concentran los productores, que donde las tuberías cambian a diámetros menores. No se cuenta con medidores de la cantidad de agua que se utiliza ni en la toma principal ni en las divisiones (pajas) para cada productor, la función de determinación de caudal utilizado se encomienda en totalidad al diseño civil de la obra.

La SUA Sanatorio Duran tiene una toma de agua que abastece a un grupo de productores de su área de influencia más alta y a dos reservorios ubicados más abajo que tienen como finalidad el suministro de agua a los productores restantes. Inicialmente la distribución de agua se hizo simultáneamente para todos los usuarios, ocasionando que por la gravedad la presión se concentre en las partes bajas dejando sin el servicio de riego las zonas altas. Posteriormente, con la intervención del juez de aguas se dividió a los usuarios en sectores de acuerdo a la ubicación de la finca. En la actualidad se encuentran tres sectores que riegan dos veces a la semana de la siguiente forma: **sector 1:** lunes y jueves, **sector 2:** martes y viernes. **Sector 3:** miércoles y sábado.

En caso de presentarse anomalías como uso de mayor número de aspersores al permitido o aplicación de riego en los días que no corresponde son reportadas a la junta directiva que se encarga de tomar las medidas del caso. Dichas medidas consisten en primer lugar en un llamado de atención verbal, que al no ser acatado se procede a suspender el servicio de riego por 15 días y si el caso es extremo se suspende por 1 mes. No se ha dado el caso de suspender definitivamente el servicio, ya que siempre se ha solucionado mediante el dialogo, evidenciando que la figura de la SUA es una adecuada plataforma para participación y gestión, ya establecida y con reconocimiento tanto social como legalmente.

Las SUA tienen como referencia el uso de 200 micro-aspersores (Naan-Dan-501-U) (Ver Figura 4) por hectárea con base a que cada uno tiene un radio de acción de aproximadamente 3.5 metros. Sin embargo, durante las horas de riego diarias el productor tiene que poner en funcionamiento 50 micro-aspersores por cada puesta, que dura aproximadamente 3 horas. Para completar el total del área a regar el productor va rotándolos a lo largo de las horas permitidas (11 – 12 horas diarias).

*Cuadro 2. Características aspersor Naan-Dan 501U.*

Boquilla (Color)	Presión (Bar)	Caudal (l/h)	Espaciamiento (7 x 7 m)	
			Tasa precipitación (mm/h)	Uniformidad del riego
Verde (Boquilla estándar)	1.5	150	3.1	85 – 88 %
	2	170	3.5	88 – 92 %
	2.5	190	3.9	88 – 92 %
	3	210	4.3	88 – 92 %
	3.5	230	4.7	> 92 %

Fuente: IrriStand Systems, 2012.

La cuota que cada usuario paga por concepto de concesión ronda los 75.000 colones/año y por concepto de reparaciones se tiene una media de 25.000 colones/año. En total cada usuario aporta una cuota media anual de 100.000 colones, este valor puede subir o bajar en función del número de reparaciones que se presenten.

La mayor parte de los usuarios de las SUA son pequeños productores que cuentan con servicio de riego para la totalidad de la propiedad. En menor proporción se encuentra el riego parcial y generalmente corresponde a más del 50% del total.

## 7 METODOLOGIA

### 7.1 Análisis hidrometeorológico y cálculo de tendencia de caudales, precipitación y temperatura

Para caracterizar el comportamiento de la precipitación se obtuvieron registros de las estaciones Llano Grande-La Laguna, San Juan de Chicué y Sanatorio Duran, siendo la última la que contiene la información más completa iniciando en 1942 hasta 2010. Se encuentran ubicadas entre los 2000 y 3100 m.s.n.m, próximas a la cuenca del río Reventado. La temperatura se caracterizó con registros desde el año 2003 hasta 2010 de las estaciones; Volcán Irazú ubicada a 3400 m.s.n.m en la cima del volcán, Istarú y RECOPE-Ochomogo que se encuentran alrededor de los 1600 m.s.n.m en las proximidades de la ciudad de Cartago. Se utilizaron diferentes estaciones para precipitación y temperatura de acuerdo con la mayor disponibilidad de registros.

En el análisis para caudales se utilizaron registros de estaciones localizadas en el río Reventazón, esto como consecuencia de la falta de limnógrafos en el río Reventado. Las estaciones analizadas son Belén, Cachi y Montecristo con datos que inician en 1960 hasta la década de 1990 sin mostrar los eventos ocurridos posteriormente. Para elegir las estaciones se tuvo como criterios la proximidad al área de estudio y la mayor disponibilidad de datos hasta la actualidad. La ubicación de las estaciones se indica en la Figura 5.

Se adquirieron registros mensuales de variables climáticas del IMN (Temperatura, precipitación), ICE (Temperatura, precipitación y caudales) y SENARA (caudales) y en Excel se construyó la base de datos para preparar y revisar los registros. Para cada una de las variables climáticas se hizo el análisis de consistencia comprendiendo la revisión mediante gráficos y curva acumulada de doble masa, con la finalidad de quitar o corregir datos erróneos a causa de los instrumentos de medición o al momento de digitalizar desde el formato análogo.

Las tendencias se evaluaron con la media anual mediante la prueba no paramétrica de Mann-Kendall, la cual determina el estadístico Z para verificar la significancia y con el método de Sen se determina la pendiente. Para mayor claridad del procedimiento estadístico ver Anexo 2.

Los registros mensuales de precipitación de la estación Sanatorio Duran se promediaron por cada década y mes a partir de 1950 para determinar si se presentan diferencias estadísticas a lo largo del tiempo. Se utilizó Análisis de Varianza (ANAVA) y Modelos Lineales Generales y Mixtos (MLMix) con el paquete informático InfoStat. Este análisis solo se aplicó a los registros de precipitación debido a la disponibilidad de datos para varias décadas y años consecutivos.

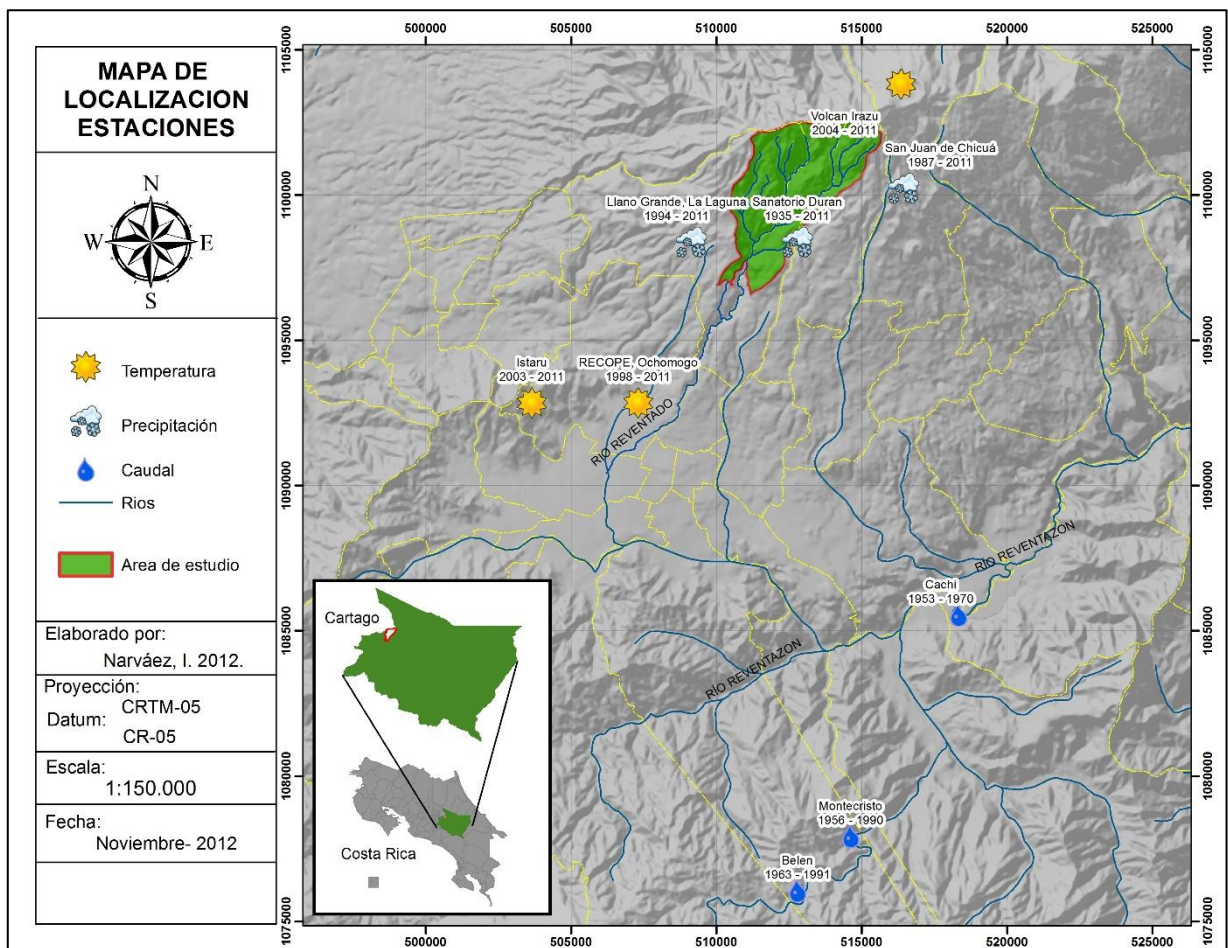


Figura 5. Localización de las estaciones meteorológicas.

Con base en los registros climáticos del IMN se construyó mapas de isoyetas para temperatura y precipitación. Se hizo interpolación por el método Spline utilizando el software ArcGIS 10.1.

## 7.2 Dinámica de uso del suelo

En esta fase se hizo el análisis para los años 1978, 1998 y 2011, se utilizaron fotografías aéreas en blanco y negro así como en color. En los dos primeros se utilizó fotografías aéreas suministradas por el IGN (Instituto Geográfico Nacional), para el año 2005 se hizo una adaptación de los usos del suelo identificados por el proyecto PRUGAM y el año 2011 se analizó mediante una imagen de satélite RapidEye 3A, ortorectificada y corregida atmosféricamente.

Inicialmente se visitó el área de estudio para tomar puntos con GPS que fueron usados como control para georeferenciar y ortorectificar las fotografías e imagen de satélite mediante el uso del software ENVI 5. Con este mismo programa se hicieron los mosaicos; monocromático para 1978 y color RGB (Rojo, Verde, Azul por sus siglas en ingles) para 1998.



En el mosaico monocromático de fotos aéreas de 1978 se hizo un pre-procesamiento que consistió en un análisis textural (Co-Ocurrence analysis) para obtener 8 capas representando el promedio, desviación estándar, segundo momento angular, homogeneidad, contraste, disimilitud, entropía y correlación. La combinación de estas capas permite obtener mayor claridad al momento de ejecutar la clasificación (Mendonça y Caridade, 2007)

Se definieron 6 clases de uso de suelo a saber; bosque, cultivos, pasturas, invernaderos, urbano/carreteras y suelo desnudo. Como bosque se consideraron todas las formaciones arbóreas encontradas en grandes masas o en pequeñas como cercas vivas. Como cultivos se agruparon todas las áreas de producción de la zona, en donde predominan la cebolla, la papa y la remolacha, los cuales son rotados frecuentemente en la misma área. Debido a que las zonas urbanizadas y las carreteras cumplen una función similar de impermeabilización del suelo, estas se juntaron en una sola clase denominada Urbano / Carreteras. Suelo desnudo hace referencia a zonas que por frecuentes deslizamientos o mal manejo se encuentran sin cobertura.

Teniendo definidas las clases, se hizo una clasificación supervisada con el método de *Mínima Distancia* para el mosaico monocromático de 1978 y con *Máxima Probabilidad* para 1998 y 2011, de esta manera se obtuvo la mínima confusión de clases posible. Para eliminar el ruido mostrado en la imagen resultante (salt/pepper noise: distribución de pequeñas unidades o puntos en toda el área de estudio que dificultan los siguientes análisis) se utilizó el proceso denominado **análisis de mayoría** (Majority analysis) que hace la generalización de los píxeles más abundantes y la eliminación por remplazo de los valores aislados encontrados en pocos píxeles.

Finalmente se exportó la clasificación de cada uno de los años seleccionados a formato \*.shp para dar el acabado final con el software SIG ArcGIS 10.1. En este formato se calcularon las áreas de cada clase y se preparó el gráfico comparativo final.

### **7.3 Percepción social frente al uso del suelo y las tendencias de caudales**

Se utilizó la técnica de la encuesta para conocer la percepción de los productores. El formulario se dividió en tres secciones; la primera de generalidades para conocer el perfil del productor, la segunda para conocer las características de la finca respecto al uso del suelo y agua y la tercera para analizar la percepción del encuestado (Quiroz et al, 2011).

Para conocer la percepción sobre el recurso agua y su uso en la agricultura de la zona norte de Cartago, se dividió la población en 3 grupos de acuerdo a la vinculación y rol que desempeñan: 18 encuestas a productores, usuarios de riego en SUA, 8 encuestas a productores no usuarios de riego en SUA y 6 entrevistas a líderes comunitarios e institucionales (SUA, SENARA, MAG, ICE). Además, se revisó información secundaria proveniente de estudios previos como Rios (2011), Rodas y Jiménez (2008) y Huerta (2008).

## **7.4 Restricciones y limitaciones**

El grado de detalle alcanzado en los resultados se vio afectado por factores como la limitación para el acceso a registros climáticos diarios para el caso de precipitación y temperatura. En el caso de caudal la ausencia de limnógrafos en el río Reventado.

El análisis de usos del suelo se hizo de forma general considerando solo 7 clases, sin entrar a discriminar entre tipos de cultivos, pasturas o bosques. El tiempo disponible para la elaboración de esta clasificación fue de tres meses desde el momento de la consecución de las imágenes y para hacer las corroboraciones en campo y dar mayor precisión a la clasificación se requiere alrededor de un año (Matriz de confusión ver Anexo 3).

Es importante tener claro que los promedios mensuales, más aun los anuales pueden esconder eventos extremos dentro de los días que componen el mes o año. Esto implica que la variación de días con lluvia durante un mes no se ve claramente reflejada al promediar<sup>4</sup>.

La extensión de los registros climáticos es muy corta para determinar claramente valores de tendencia, fundamentalmente en los registros de temperatura y caudales (1 década). Para el caso de precipitación se contó con datos mensuales para 6 décadas.

Para analizar la dinámica de uso del suelo fue necesario usar imágenes de diferentes características como; fotografías aéreas a blanco – negro y a color, imagen de satélite. Las características en que difieren es la resolución (1m fotografías, 6 metros imagen de satélite).

## **8 RESULTADOS**

### **8.1 Análisis hidrometeorológico (caudales, precipitación y temperatura)**

La cuenca del río Reventado se encuentra cerca de la divisoria continental de aguas, siendo impactada por los fenómenos que ocurren tanto del atlántico como del pacífico (Vahrson y Herrera, 1992); noviembre, diciembre y enero se presentan frentes fríos provenientes del atlántico. Febrero, marzo y abril son de época seca, mayo y junio es la primera etapa de la época lluviosa. Julio se presenta un corto periodo de verano conocido como el “*veranillo de San Juan*”. Agosto, septiembre y octubre es la segunda etapa de la época lluviosa que es más intensa que la primera. Este periodo comprendido entre mayo y octubre tiene influencia del pacífico<sup>5</sup> (ver Cuadro 3, Anexo 11).

---

<sup>4</sup> Romero, E. 2012. Sociedades de Usuarios de Agua en la zona norte de Cartago (Comunicación personal).

Turrialba, CR; Laporte, S. 2012. Disponibilidad de agua en la Zona hortícola de Cartago (Comunicación personal).

<sup>5</sup> Laporte, S. 2012. Disponibilidad de agua en la Zona hortícola de Cartago (Comunicación personal)



*Cuadro 3. Calendario agrícola.*

	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct
<b>Clima</b>	<i>Frentes fríos</i>			<i>Época seca</i>			<i>Época lluviosa (I etapa)</i>		<i>Veranillo de San Juan</i>	<i>Época lluviosa (II etapa)</i>		
	<i>Influencia atlántica</i>			<i>Influencia pacífica</i>								
<b>Sin riego</b>							Siembras					Cosecha
<b>Con riego</b>	Siembra (verano)			Siembra (invierno)								
	Cosecha										Cosecha mayor	

Fuente: Laporte. 2012; IMN, 2008.

En el Cuadro 4 se presenta la descripción de la simbología utilizada para mostrar los resultados del análisis de tendencias.

*Cuadro 4. Simbología análisis de tendencias.*

Significancia		
***	0,001	99,9%
**	0,01	99%
*	0,05	95%
+	0,1	90%

### 8.1.1 Caudales

En las Figuras 6 a, b y c se muestra el análisis de tendencia de las estaciones Belén, Cachi y Montecristo. Las dos primeras presentan tendencias significativas al 95 y 99 % respectivamente (ver Cuadro 5), con la diferencia que la primera es una tendencia descendente y la segunda ascendente. La estación Montecristo muestra una leve tendencia decreciente pero no alcanza a tener significancia. Las estaciones con tendencia descendente están ubicadas en el Río Macho en donde está ubicada una represa para generación eléctrica del ICE. Además desde este río se extrae agua para la ciudad de San José (IMN, 2008). La tendencia creciente mostrada en la estación Cachi está ubicada en el río Reventazón, en el cual se colectan varias corrientes de agua provenientes de la parte superior de la cuenca del mismo río.

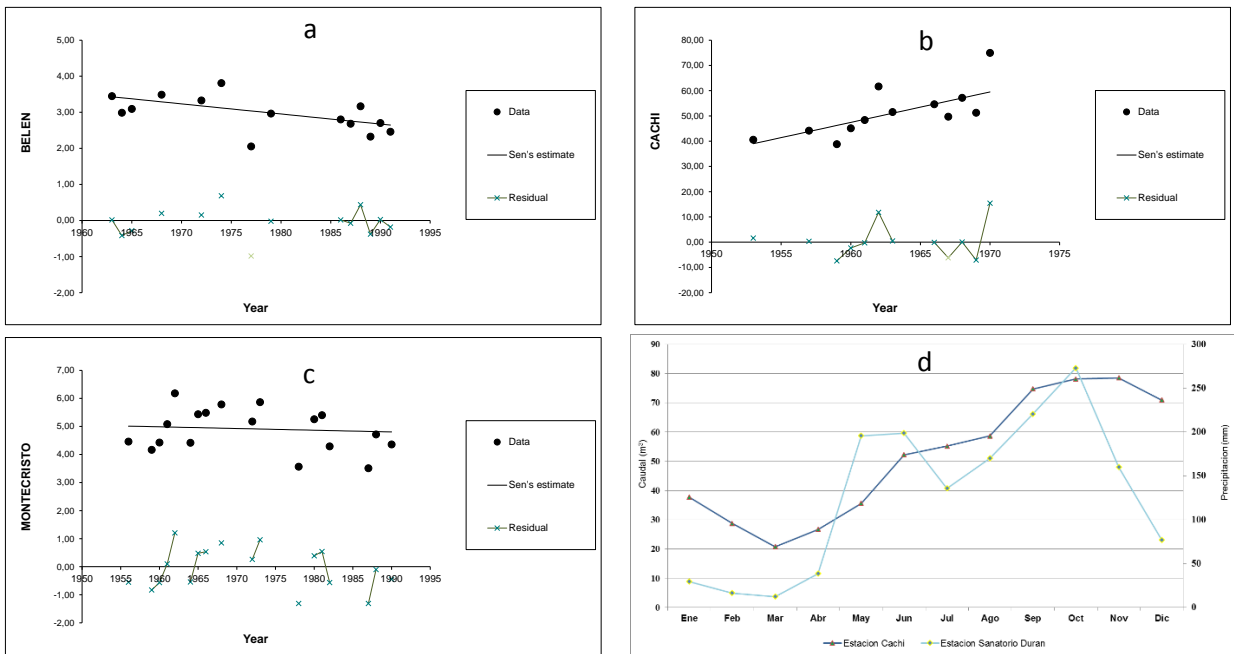


Figura 6. Tendencia de caudales ( $m^3$ ).

En el Grafico 6d se indica el comportamiento promedio anual de los caudales de la estación Cachi. El Grafico 7d presenta valores promedio mensuales de precipitación y caudal y se identifica similitud en el patrón de época seca y lluviosa.

Cuadro 5. Tendencias de caudales.

Estación	Año de inicio	Año final	n	Z	Significancia
Belén	1963	1991	14	-2,08	*
Cachi	1953	1970	12	2,81	**
Montecristo	1956	1990	18	-0,53	

### 8.1.2 Precipitación

En la Figura 7 a, b y c y el Cuadro 6 se muestran las tendencias para la precipitación, las cuales no presentan significancia. Sin embargo se puede observar leves cambios ascendentes en las estaciones de Sanatorio Duran y Llano Grande-La Laguna, por el contrario en la estación San Juan de Chicué hay una leve disminución.

En la Figura 7d se muestra el comportamiento decadal de los registros tomados en la estación Sanatorio Duran entre 1942 y 2010. Se aprecia que las décadas de 1960 y 2000 tienen predominancia de las más bajas y altas precipitaciones respectivamente. Los picos que aparecen en las series tanto en los meses como en los años se relacionan con las tormentas o huracanes que han afectado a Costa Rica específicamente la zona norte de Cartago. Como es el caso de octubre en la década de 1950 donde hizo paso el huracán Item en 1951 (IMN, 2012;

UNISDR, 2012). Sin embargo, las series mantienen un patrón general de época seca y lluviosa bien definidas.

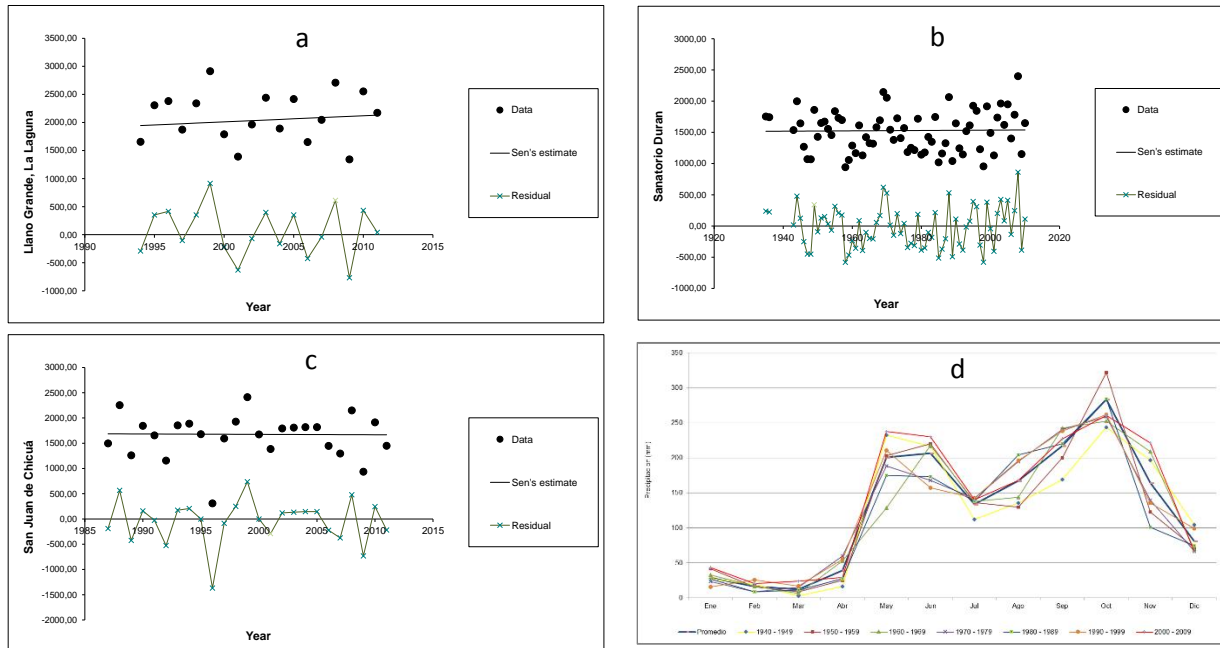


Figura 7. Tendencia de precipitaciones (mm)

Cuadro 6. Tendencias de precipitación.

Estación	Año de inicio	Año final	n	Z	Significancia
Sanatorio Duran	1935	2010	70	0,10	
San Juan de Chicué	1987	2011	25	-0,02	
Llano Grande, La Laguna	1994	2011	18	0,38	

### 8.1.3 Temperatura

Las tendencias para temperatura que se muestran en las Figura 8 a, b y c y el Cuadro 7 no presentan significancia, lo que indica que esta variable ha permanecido relativamente constante a lo largo del tiempo. Sin embargo en las gráficas se puede notar una leve tendencia a disminuir en las estaciones Istaru y RECOPE-Ochomogo, en cambio en la estación Volcán Irazú la recta indica aumento de la temperatura. Es importante tener en cuenta que para este análisis se contó solamente con registros para 10, lo cual es un periodo muy corto para determinar tendencias con alto nivel de confiabilidad.

En la Figura 8d se aprecia que a lo largo de los meses la temperatura promedio se mantiene un patrón en las tres estaciones consideradas, donde los puntos de mayor temperatura coinciden con los meses de baja precipitación. Esta configuración climática intensifica la evaporación y resequedad de los suelos aumentando los requerimientos de riego para satisfacer las necesidades del cultivo.

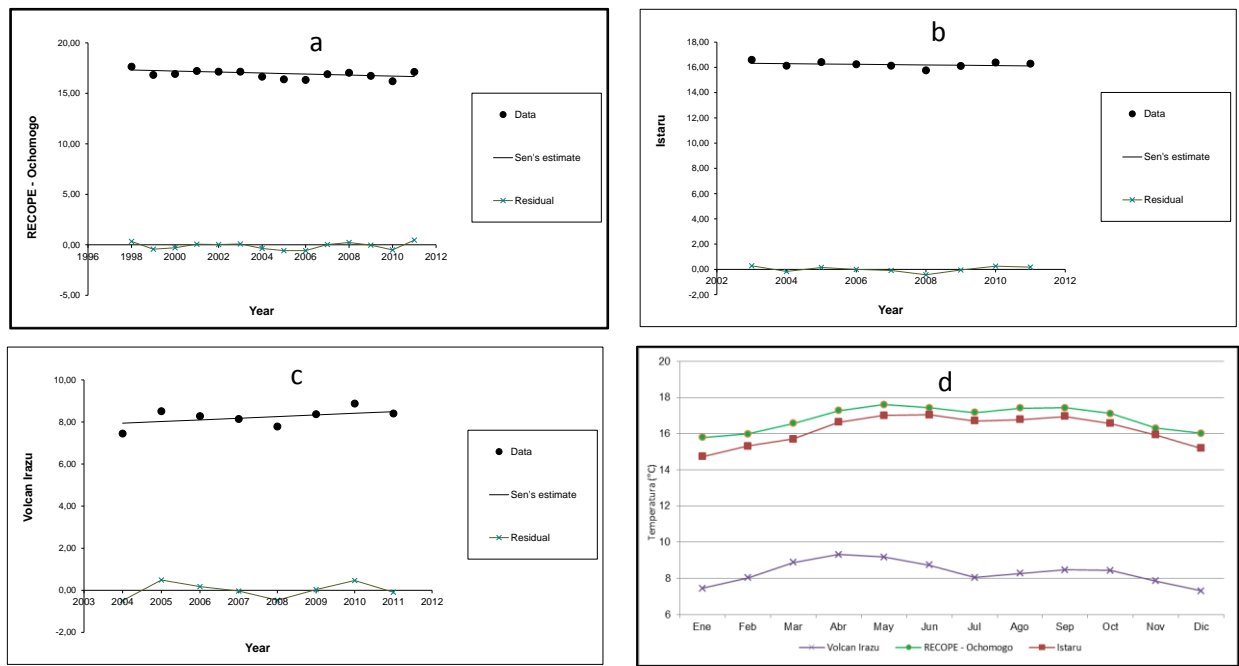


Figura 8. Tendencia de temperaturas (°C).

Cuadro 7. Tendencias de temperatura.

Estación	Año de inicio	Año final	n	S	Z	Significancia
Volcán Irazú	2004	2011	8	10		
Istarú	2003	2011	9	-10		
RECOPE – Ochohomogo	1998	2011	14		-1,64	

### 8.1.4 Balance hídrico

En la Figura 9 se muestra el balance hídrico para la Cuenca Alta del Río Reventado con registros de las estaciones Sanatorio Duran (Precipitación) y Llano Grande – La Laguna (Temperatura). Se puede ver que solamente entre los meses de diciembre y mayo se presenta déficit hídrico, para los meses restantes hay exceso de humedad.

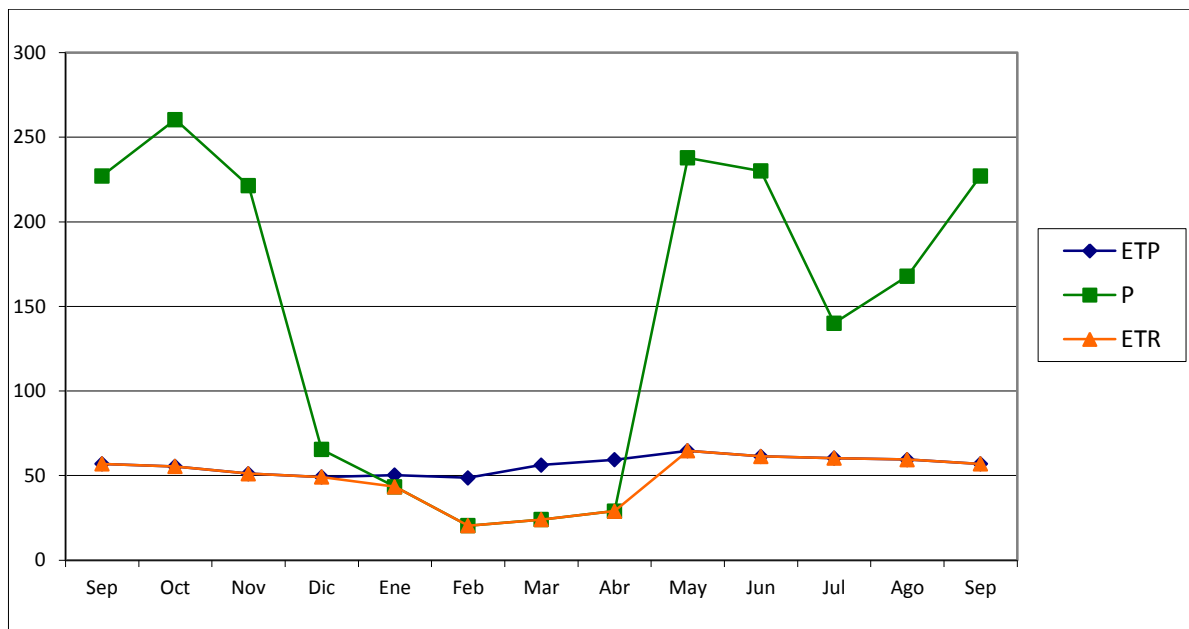


Figura 9. Balance hídrico

### 8.1.5 Topografía de la cuenca

La cuenca del río Reventado tiene una forma alargada con mayor concentración de superficie en la parte alta entre los 2000 y 3000 m.s.n.m, tal como lo indica el valor del coeficiente de compacidad (1.947), la curva hipsométrica y la frecuencia de distribución de áreas mostradas en la Figura 10.

Cuadro 8. Parámetros morfométricos.

Coefficiente	Valor	Descripción
Área (km <sup>2</sup> )	22.41	
Perímetro (km)	32.93	
Coefficiente de compacidad	1.95	Cuanto más próximo a 1 se encuentre su valor, es más redonda la cuenca. En este caso el resultado es alejado de 1 indicando que la cuenca tiene forma alargada.

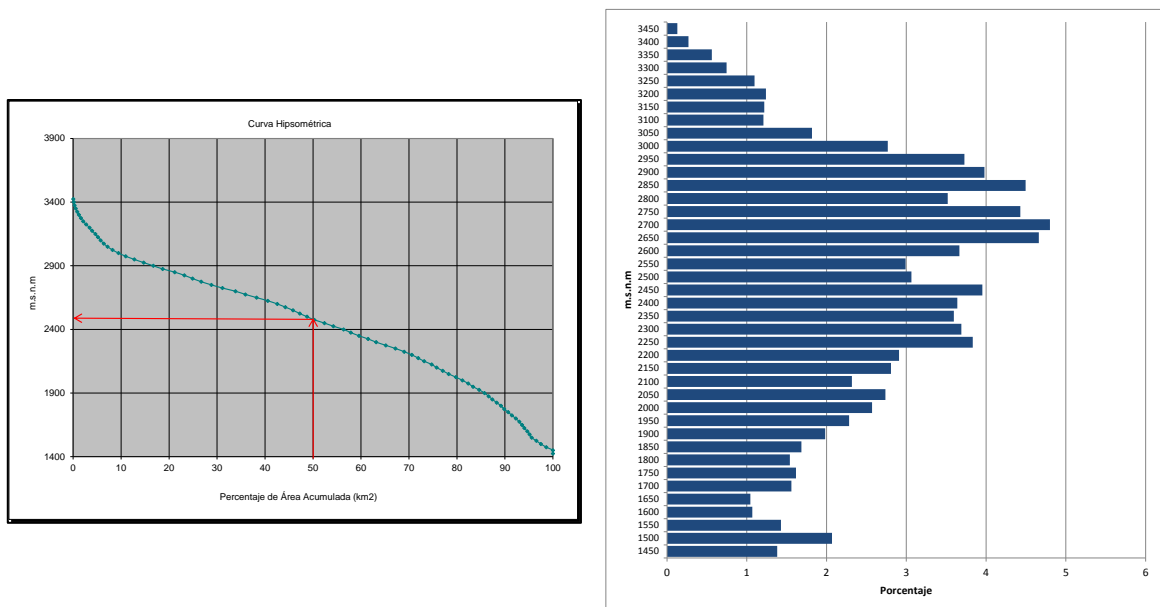


Figura 10. Curva hipsométrica y frecuencias de área de la cuenca.

### 8.1.6 Pendientes y suelos

Las pendientes de la cuenca del río Reventado en general son fuertes tal como se muestra en la Figura 11. La mayor parte del área sobrepasa los  $15^\circ$  y a lo largo de las riveras de los cauces se concentran los mayores valores de pendientes con rangos que van desde  $35^\circ$  hasta  $55^\circ$ , con áreas de menor magnitud que pueden alcanzar los  $70^\circ$ . Este tipo de accidentes geográficos hacen que se presenten deslizamientos que pueden afectar las tuberías de conducción ya sea por rompimiento o taponamiento, asimismo se afecta los sistemas de aspersión.

El perfil longitudinal del cauce de la Figura 12 muestra que el río Reventado mantiene constante la pendiente a lo largo del recorrido. Esto aunado con la forma, distribución de la superficie y el efecto de impermeabilización a corto plazo causado por las cenizas volcánicas hacen que exista alta escorrentía superficial al momento de las lluvias y que se generen grandes caudales de poca duración (Cortés, 1997).

Por otra parte, las altas pendientes asociadas con el continuo laboreo incrementan el riesgo de erosión hídrica y/o eólica. La primera se puede dar a causa de lluvias intensas o sistemas de riego inadecuados y la segunda tiene relevancia debido a que la zona se caracteriza por tener continua presencia de vientos causando erosión y desecamiento de los suelos. De acuerdo con Muñoz (2002) la velocidad del viento tiene una relación inversa con la cantidad de precipitación, es decir, cuando se presentan temporadas secas la velocidad del viento es mayor generando amenaza de erosión a lo largo de todo el año.

Los suelos de la cuenca del río Reventado son derivados de cenizas volcánicas y han estado bajo la influencia de las cenizas, brechas y fragmentos de lava como consecuencia de la cercanía del cráter del volcán Irazú (Ramírez *et al*, 2008b). Son suelos profundos y de buena

fertilidad impactados por erosión hídrica que se agudiza en época de lluvia y se relaciona con las prácticas de preparación de suelo que dejan el suelo descubierto (Alvarado *et al*, 2001; Ramírez *et al*, 2008b). A pesar de los impactos erosivos superficiales se han mantenido condiciones adecuadas para la producción y esto se ha convertido en un factor que desmotiva a los productores para realizar prácticas de conservación de los suelos<sup>6</sup> (SENARA, 2006).

Como limitantes a la producción están las altas pendientes y la erosión, las dos son complementarias. Cuando se presentan lluvias los suelos con altas pendientes y que tienen manejo agronómico inadecuado sufren erosión hídrica. La erosión se ve fortalecida porque las siembras se hacen a favor de la pendiente y además no se cuenta con ningún tipo de barreras.

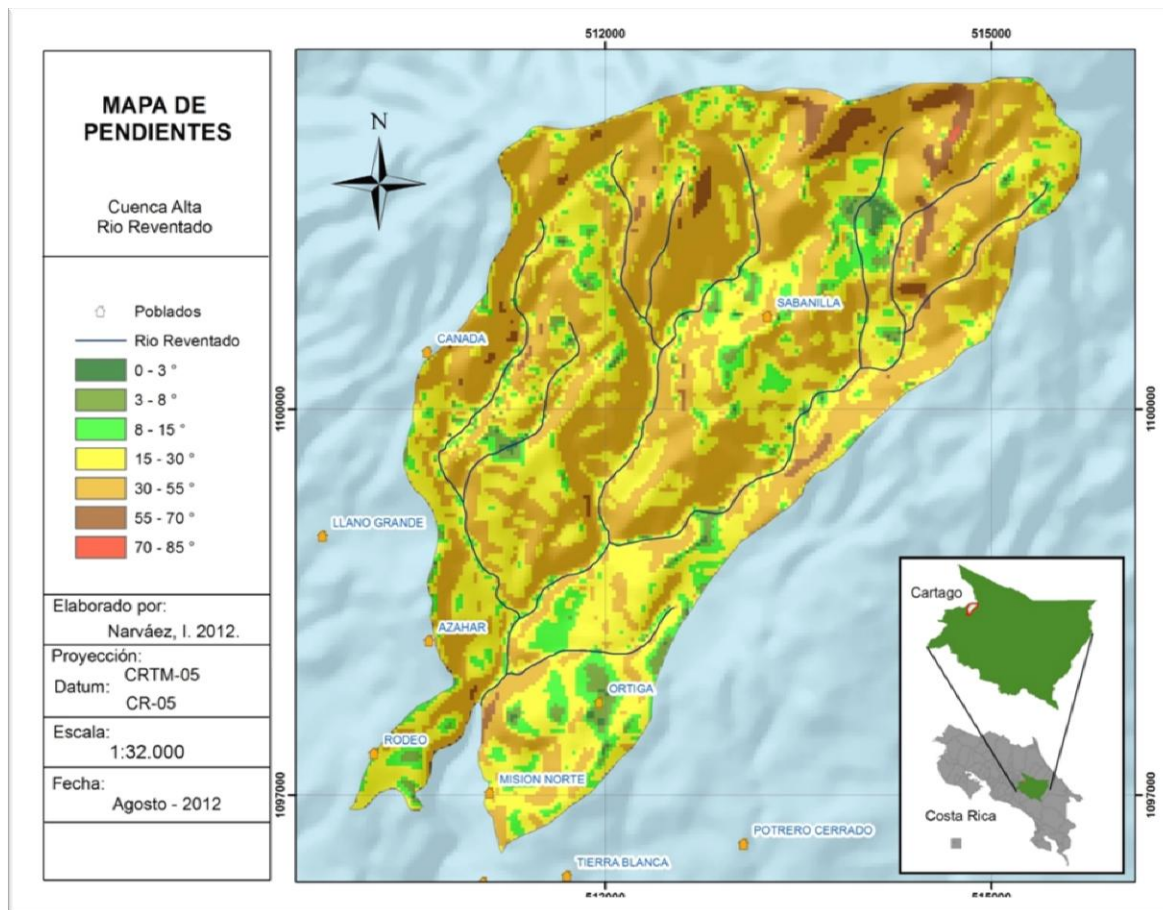


Figura 11. Mapa de pendientes.

<sup>6</sup> Cortés, V. 2012. Factores que inciden en la de adopción de prácticas de conservación de suelos en la cuenca del Río Reventado (Comunicación personal).

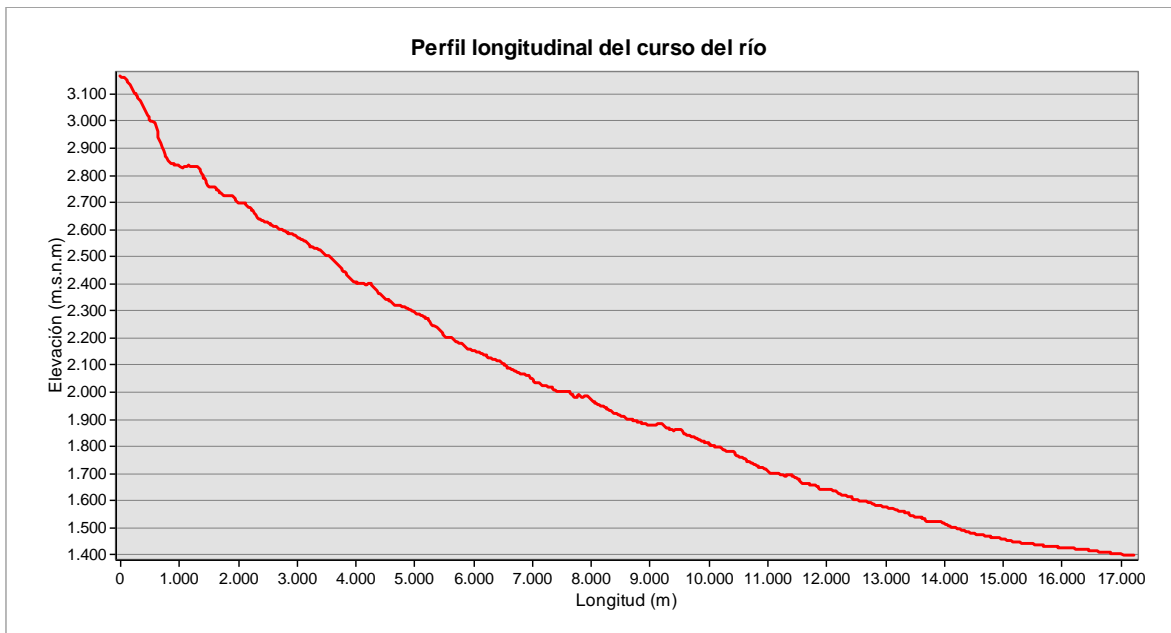


Figura 12. Perfil longitudinal del Río Reventado.

### 8.1.7 Isoyetas precipitación y temperatura

Los mapas mostrados en la Figura 13 corresponden a las isoyetas resultado de la interpolación de precipitación y temperatura. En el gráfico de la izquierda las zonas con menor temperatura están en la parte alta y las de mayor temperatura en la zona baja. En las isoyetas para precipitación se puede destacar que la zona este (Cot, Tierra Blanca, Sanatorio Duran) de la cuenca presenta la menor precipitación por el orden de 1500 mm. A medida que se avanza al oeste (Llano Grande) la precipitación se incrementa alcanzando los 2100 mm. Las tomas de agua de la SUA están ubicadas en la parte más seca de la cuenca y los usuarios de riego principalmente se ubican en la parte baja donde las temperaturas aumentan, lo que exige mayor uso y mejor manejo del agua.

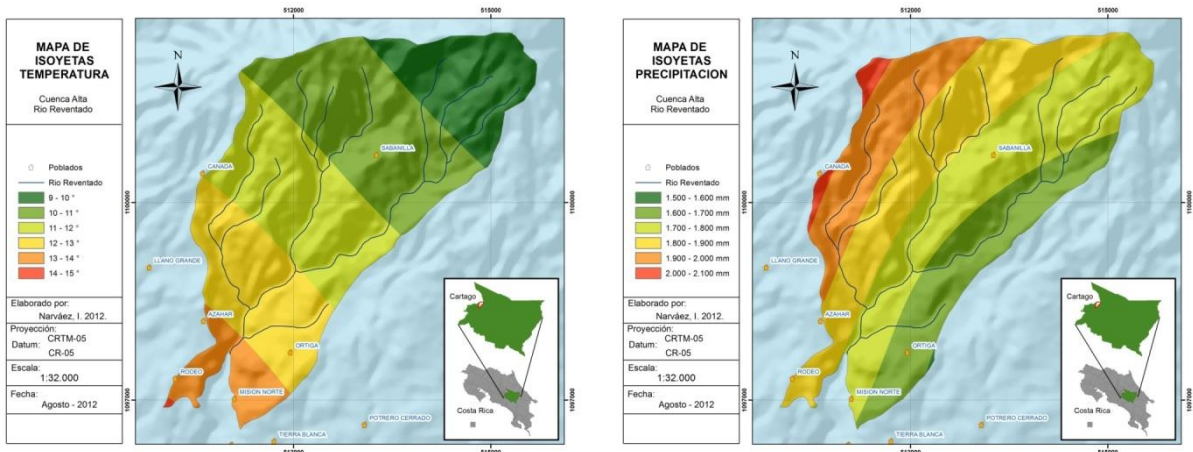


Figura 13. Mapa de isoyetas para temperatura y precipitación.



## 8.2 Dinámica del uso del suelo

En 1955 mediante la ley 1917 se estableció que el área comprendida en un radio de dos kilómetros alrededor de los cráteres de los volcanes de Costa Rica, deben estar bajo custodia y conservación y en este momento se establecieron los parques nacionales Volcán Irazú y Volcán Turrialba. Posteriormente mediante el decreto ejecutivo N° 26945-MINAE del año 1998 el Parque Nacional Volcán Irazú fue ampliado incluyendo el área de Prusia (Cuenca alta del río Reventado), que había sido afectada por la erupción del volcán Irazú en 1963 en donde se realizaron reforestaciones con ciprés, pinos y eucaliptos fundamentalmente (Cortes, 1997; SINAC-ACCVC, 2008).

De acuerdo con lo anterior una fracción de la cuenca alta del río Reventado (Aproximadamente 700 ha) está incluida como PNVI. En esta área se encuentran sitios con mínima alteración que pueden ser utilizados para investigación, monitoreo y educación restringida. De igual forma, incluye áreas con alto grado de intervención antrópica (Cultivos, pasturas) que posteriormente se pueden integrar al parque si se les da un manejo adecuado que ayude a recuperarlas (SINAC-ACCVC, 2008).

Como se muestra en la Figura 14 y coincide con lo afirmado por los productores entrevistados. Para el año de 1978 se presentaba mayor abundancia de árboles en linderos y/o cercas vivas. En años posteriores se fueron disminuyendo a causa de la intensificación de la producción y la fragmentación de las propiedades (ver Anexo 8). En la parte alta de la cuenca se conservan cercas vivas sobre todo en los márgenes de las carreteras utilizando especies como Ciprés (*Cupressus spp*), Sauce (*Salix spp*) y Poró (*Erythrina spp*).

Es importante resaltar que con la ampliación del PNVI en 1998 no se han dado cambios significativos en cuanto a la conservación de los recursos (ver Anexo 4). Tal como se puede apreciar en la Figura 14, donde a y b corresponden al periodo antes de la ampliación del PNVI y c y d cuando la parte superior de la cuenca ya está incluida en el parque. Notándose que la superficie cubierta por pasturas y cultivos se ha aumentado y la superficie de bosque disminuyó en aproximadamente 100 ha como lo muestra el Cuadro 9.

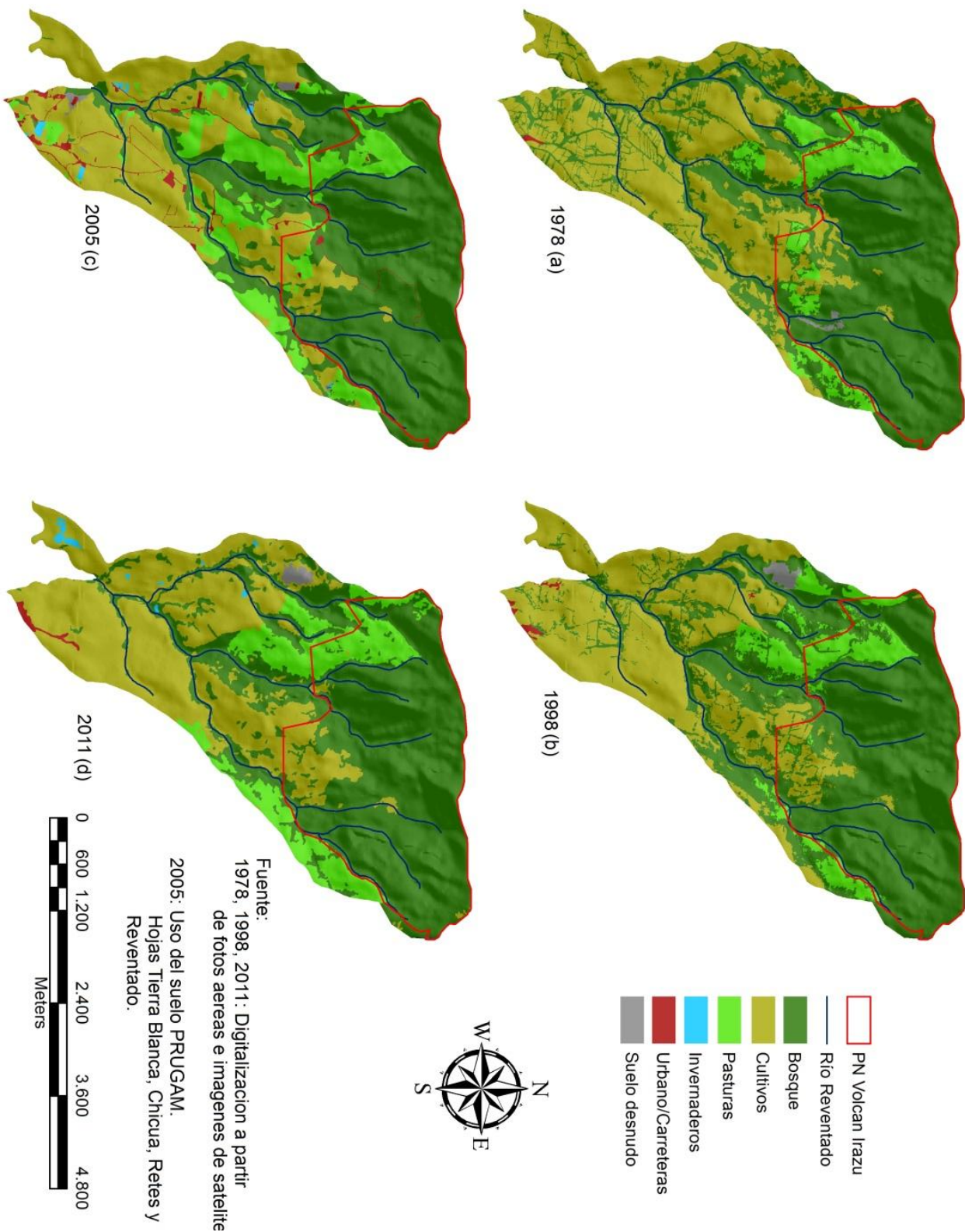


Figura 14. Usos del suelo 1978, 1998, 2005 y 2011.  
 Fuente: Elaboración propia

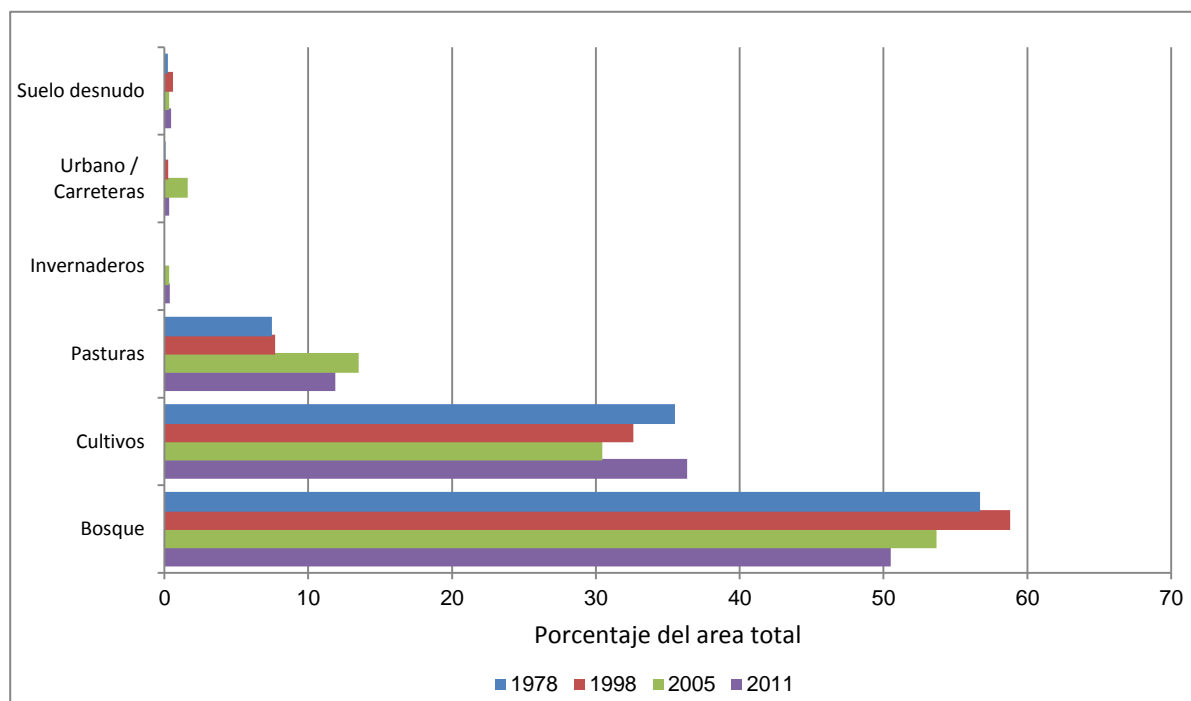


Figura 15. Superficie ocupada por cada uso en 1978, 1998, 2005 y 2011.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 15 y el Cuadro 9 se indica el porcentaje del área total y la superficie en hectáreas ocupada por cada una de las clases consideradas en los cuatro espacios temporales elegidos (para tener más claridad sobre la dinámica del uso del suelo ver Anexo 10). El bosque tuvo un aumento de área mostrado en 1998 que se relaciona con la recuperación tanto en espacio como en densidad de los bosques de galería de la parte superior de la cuenca y el crecimiento de las reforestaciones realizadas con especies exóticas (pinos) que fueron plantadas para recuperar las áreas afectadas la erupción del volcán Irazú en 1973.

El bosque es el que más área ocupa a lo largo de los cuatro años analizados, pero presenta una disminución de más de 100 ha hasta 2011. La cual se relaciona con la disminución del área correspondiente a cercas vivas y bosques de galería en la parte baja de la cuenca principalmente entre 1978 y 1998.

Los cultivos conforman el segundo grupo en lo que respecta a la superficie cubierta. Han tenido una dinámica muy oscilante con reducciones del área hasta 2005 y a partir de este momento hasta 2011 se aumenta superando el área inicial de 1978. La cantidad de cultivos está estrechamente relacionado con los precios y costos de producción. Asimismo, las condiciones climáticas influyen en la cantidad de siembras que se realicen.

Las pasturas se concentran en la parte alta de la cuenca y tienden a aumentar, mostrando disminución en 2011. Las clases Urbano/carreteras y suelo desnudo en los cuatro años analizados corresponden a menos del 1% del área.

Los invernaderos se empiezan a notar desde el año de 1998, con un crecimiento rápido para la producción de flores, hortalizas y mini vegetales, aunque la mayor cantidad se concentran en el área de Llano Grande. En menor número están distribuidos dentro o cerca de la cuenca del río Reventado (SENARA, 2006).

En términos de producción las tierras de la zona norte de Cartago tienen vocación agrícola, donde se produce de forma intensiva cultivos como papa, cebolla y remolacha principalmente. La producción de estos se hace en la misma área de manera consecutiva, dando descanso al suelo solo cuando por condiciones climáticas es imposible sembrar. Esto ocurre cuando hay ausencia de precipitaciones y se carece de sistemas de riego, al disponer de sistemas de riego la producción se hace permanente a lo largo del año limitando al máximo la recuperación de los suelos. La producción intensiva se va acentuando con la segmentación de las propiedades a causa de la venta y conformación de pequeñas fincas.

La segmentación de la fincas se inició con los programas de apoyo a pequeños productores que dio la Cooperativa Tierra Blanca (Coop-TierraBlanca) durante la década de 1980 hasta su cierre en 1996 (IICA, 2001). Dichos programas financiaron la compra de pequeños predios (promedio 3 ha) por parte de las personas que trabajaban como peones en las grandes fincas. La cuenca del río Reventado hace aproximadamente 25 años estuvo cubierta con abundantes potreros, árboles en linderos y cercas vivas. Progresivamente este paisaje fue cambiando estimulado por la transformación a pequeñas fincas dedicadas a la explotación hortícola intensiva. De las 5 grandes fincas que se encontraban, en la actualidad se pasó a tener entre 15 – 17 pequeños productores por cada una<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> Gómez, JF. 2012. Características del pasado y actuales de la cuenca del Río Reventado (Comunicación personal).

Cuadro 9. Matriz de cambio de uso del suelo.

Clases	Uso 1978		Cambio 1978 - 1998		Uso 1998		Cambio 1998 - 2005		Uso 2005		Cambio 2005 - 2011		Uso 2011	
	Ha	%	Rel %	Abs ha	ha	%	Rel %	Abs ha	ha	%	Rel %	Abs ha	ha	%
<b>Bosque</b>	968,61	56,71	2,10	35,87	1004,48	58,81	-5,12	-87,41	917,07	53,69	-3,19	-54,50	862,57	50,50
<b>Cultivos</b>	606,17	35,49	-2,88	-49,14	557,04	32,61	-2,17	-37,00	520,04	30,45	5,89	100,68	620,72	36,34
<b>Pasturas</b>	127,70	7,48	0,22	3,78	131,48	7,70	5,81	99,31	230,79	13,51	-1,64	-27,98	202,81	11,87
<b>Invernaderos</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	5,62	5,62	0,33	0,05	0,87	6,50	0,38
<b>Urbano/Carreteras</b>	1,39	0,08	0,18	3,11	4,50	0,26	1,36	23,26	27,76	1,63	-1,29	-21,97	5,79	0,34
<b>Suelo desnudo</b>	4,10	0,24	0,35	5,90	10,00	0,59	-0,26	-4,37	5,63	0,33	0,14	2,33	7,96	0,47
<b>Total</b>	1707	100			1707	100			1707	100			1707	100

### 8.3 Percepción de los productores y líderes

Los productores de la cuenca del río Reventado son conscientes de la problemática que se presenta con el agua para uso agrícola. Por esta razón se han conformado las SUA y se han establecido planes para la distribución del agua concesionada. Identifican a la deforestación y el mal manejo de los recursos como causante de la disminución de caudales y también conocen de algunas prácticas que potencialmente pueden ayudar a sobrellevar la situación. Además los productores identifican al viento como un agente que acelera el secamiento de los suelos, y que su efecto se ha venido incrementando a medida que los árboles y cercas vivas se fueron eliminando y pasaron a ser áreas de producción.

Frente al uso de árboles en medio de la finca o en linderos los productores expresan que estos disminuyen la calidad y la velocidad de crecimiento de las plantas que se ubican dentro del radio de la copa. Los productores mencionan que es grande la diferencia de ver el cebollar bajo un árbol y a pleno sol, el primero esta amarillo y pequeño en cambio al sol esta verde y más grande (Ver Anexo 8).

La mayor parte de los productores tienen conocimiento de prácticas de conservación de suelos y de los recursos naturales. Dichas prácticas están ligeramente aplicadas debido a que son producciones familiares en su mayoría y no poseen el suficiente terreno para hacer conservación y mantener una rentabilidad económica sin tener que hacer producción intensiva. Esto a pesar de los programas promovidos por varias instituciones como el INA, ICE y MAG.

Los productores entrevistados coincidieron en que la temperatura ha aumentado principalmente en los últimos tres años. La precipitación ha variado en cuanto a la frecuencia; según lo mencionan los productores años atrás durante el periodo de lluvia (Mayo, junio y julio) llovía casi a diario en cambio en la actualidad llueve con más separación (aproximadamente cada 3 – 4 días) pero son aguaceros más fuertes. Las lluvias en años atrás eran moderadas satisfaciendo las necesidades de agua de los cultivos, por el contrario en la actualidad, las lluvias son fuertes ocasionando erosión y lavado de nutrientes.

Con la variabilidad del clima los productores no perciben cambios en la calidad de los suelos, sin embargo, es necesario aplicar más cantidad y agroquímicos más fuertes para contrarrestar los efectos de plagas y enfermedades. A esto se suma que las plantas tienen mayor susceptibilidad al encontrarse con estrés hídrico. Como ejemplos a esto podemos citar; cuando se aplica un producto químico (curas) bajo el supuesto que al atardecer llueve y si este supuesto no se cumple se hace necesario una nueva aplicación del producto dado que el efecto se completa con humedad. El caso contrario también se puede presentar en el cual se aplica un producto bajo el supuesto de tiempo seco y puede llover inesperadamente.

Los productores entrevistados tienen propiedades con una media de 1.5 ha, la mayor parte de estas cuenta con el servicio de riego en la totalidad de la finca, las fincas restantes tienen al menos el 50% del área bajo riego. En general los productores no tienen obras o practicas alternativas para la obtención de agua, solo una pequeña fracción cuenta con tanques para

almacenamiento de agua de lluvia o transportan agua desde arroyos cercanos para ser utilizada esencialmente en el establecimiento de plantones<sup>8</sup> y atomizaciones.

Cuando la finca no cuenta con riego en su totalidad los productores buscan ampliar sus áreas de cultivo sin considerar la cantidad de agua disponible de acuerdo con la capacidad de las SUA. Lo que implica más superficie sembrada pero con malas condiciones de riego y repercusiones negativas en la calidad final de la cosecha.

El uso de sistemas de riego de alta eficiencia como goteo o cintas de exudación no es considerado rentable, ya que aumenta las labores que se tienen que hacer en el área de cultivo. Esto se debe a que son sistemas que van instalados a lo largo de los surcos o líneas de cultivo y cuando se hace el aporque (Poner tierra en la base de las plantas para que broten nuevas raíces y asegurar mejor nutrición) y la cosecha se tendría que desinstalar e instalar nuevamente el sistema.

**Los productores no usuarios de SUA** buscan tomas de agua sin previa concesión en el río Reventado o sus afluentes, en algunos casos usan el agua de arroyos cercanos a pesar de que estén contaminados. En estas condiciones se han presentado conflictos a causa de que el agua no es suficiente o está distribuida de forma inadecuada. Generalmente las tomas en las zonas altas son las que consumen la mayor parte de agua, lo que ha generado acciones de sabotaje a los sistemas de captación o conducción como resultado de la competencia por el recurso. Los impactos por la competencia no han llegado directamente a las SUA debido a que sus concesiones están en la zona superior de la cuenca, más arriba de donde se concentran las conexiones ilegales.

Algunos productores han solicitado ser admitidos en alguna SUA pero se encuentran con la dificultad de que estas no tienen capacidad para ampliar el número de usuarios. La opción que se les plantea es esperar hasta que alguno de los usuarios se retire.

Como se muestra en el **Cuadro 3** al producir sin acceso a riego se puede obtener una cosecha al año, para la cual es difícil garantizar la calidad y cantidad del producto final, debido a que las hortalizas son altamente sensibles al estrés hídrico y cuando se presenta déficit se causan daños irreversibles. Cuando se dispone de riego se pueden obtener al menos dos cosechas al año con garantizada calidad y cantidad del producto gracias al aporte de agua cuando el cultivo lo necesita.

**Las personas no usuarias de SUA** y que laboran en fincas hortícolas como empleados no perciben la escasez de agua. Esta percepción se relaciona con el agua para uso doméstico la cual es suficiente y permanente.

**Los líderes comunitarios e institucionales** mencionan el desconocimiento de los requerimientos de agua de cada cultivo y la forma en que el agua se mueve por el suelo.

---

<sup>8</sup> Plantones: son los espacios de pequeña área donde se germinan las semillas para luego ser llevadas al campo hasta la producción.

Asimismo el desconocimiento de la forma de operación de los sistemas de riego tanto la conducción como los aspersores. Este conjunto conforma limitantes para que haya más adopción de sistemas o prácticas que brinden mayor eficiencia en el uso del agua.

Se destaca que los productores usuarios de SUA han recibido capacitaciones para llevar a cabo el mantenimiento de las redes de distribución principales, pero que ha sido muy poco lo que se ha impartido con enfoque a las fincas y los cultivos específicamente.

#### **8.4 Análisis estadístico**

Los promedios decadales mensuales de precipitación no presentan diferencias significativas, pero se advierte que el valor más bajo de  $p$  es el correspondiente a noviembre donde la década de promedio menor es 1980 y la mayor es 2000 (Ver Anexo 7).

### **9 ANALISIS DE LA EXPERIENCIA Y DE LA UTILIDAD DE LOS RESULTADOS**

En la zona norte de Cartago el 75% de la población tiene un nivel básico de educación, 20% educación secundaria y solamente el 5% nivel superior (Ramírez, 2000; Ramírez *et al*, 2008a). Cuentan con medios de transporte tanto personales como el servicio público de bus hasta la ciudad de Cartago (Ramírez *et al*, 2008a). En la región se encuentran centros de formación a nivel de primaria y secundaria y para tener acceso a educación superior es necesario desplazarse a Cartago o San José. Generalmente los profesionales no tienen afinidad con la actividad agrícola lo cual hace que busquen trabajo fuera de zona.

Los habitantes de la cuenca del río Reventado no han tenido como prioridad la educación con fines de encontrar mejores empleos, a razón de que la agricultura se ha mantenido como un sustento constante. Entre las razones asociadas a este comportamiento también está la necesidad de mano de obra en las fincas y la ascendencia o tradición agrícola que tienen los padres. Se da la situación que una persona inmediatamente termina sus estudios básicos se incorpora a los trabajos de la finca (IICA, 2000).

En las pequeñas propiedades se cultiva en la totalidad del área y del tiempo para que sea económicamente rentable cubriendo los costos de producción y los gastos de la familia. La mayor parte de las actividades son realizadas por los miembros de la familia ayudando a disminuir los costos en efectivo. Sin embargo, al momento de la cosecha y transporte se hace contrataciones externas.

La economía en la cuenca del río Reventado tradicionalmente se ha basado en la producción de hortalizas aprovechando ciertas condiciones favorables como la temperatura y las características físicas de los suelos. No obstante, las anomalías climáticas, la continua influencia de corrientes de viento y la predominancia de suelos con texturas arenosas hacen que la dependencia al riego se incremente (SENARA, 2006).



Al analizar las medias mensuales de precipitación y temperatura se determinó que la han permanecido constantes a lo largo del tiempo. Sin embargo, los productores afirman que en la actualidad se presentan menos lluvias y más calor. Para corroborar a nivel local esta afirmación es necesario repetir los análisis con registros diarios que permitan ver los cambios dentro de un mismo mes. De esta forma dar claridad a la variabilidad que reportan los productores con relación a la frecuencia de lluvias y aumento del calor.

La variabilidad que se reporta se caracteriza principalmente al presentarse menos días con lluvias (Más intensas que antes) e intervalos de varios días secos (Ver Anexo 8). De igual manera la temperatura ha permanecido constante y la percepción de más calor puede estar asociada con la ausencia de lluvia que favorece el secamiento de los suelos y consecuente afectación a los cultivos. A similares conclusiones llegaron Chang y Jung (2010) en cuanto a las variaciones de volúmenes de caudal y precipitación en los cuales se presenta mayor número de eventos extremos para el caso de Oregón en Estados Unidos.

La reducción de las lluvias que hacen referencia los productores se relaciona con el cambio en la frecuencia de precipitaciones a lo largo de cada mes con poca afectación al volumen (IMN, 2008). Además, es posible que la ocurrencia o no de lluvias sea inconsistente con el calendario agrícola, siendo más impactante para los productores. También tiene implicaciones el aumento del área regada lo que genera competencia por el recurso a la vez que vuelve evidente la variabilidad climática (SENARA, 2006).

Por otra parte, al revisar el balance hídrico (Figura 9) se puede notar que la mayor parte del año presenta exceso de humedad. Sin embargo, este comportamiento no refleja los cambios que manifiestan los productores, quienes afirman que en el pasado cuando iniciaban las lluvias estas sucedían a diario, permitiendo que los cultivos se desarrollen, y en la actualidad las lluvias suceden con más intensidad pero cada dos o tres días afectando los cultivos hortícolas.

A pesar de los cambios en precipitación y temperatura percibidos por los productores el uso del suelo en la Zona Norte de Cartago no ha cambiado con relación a la década de 1990. Hay predominancia de monocultivos agrícolas, viveros de flores y pasturas con alto consumo de agroquímicos (Astorga, 2007). Que aunado con problemas de erosión de los suelos a causa de las practicas agronómicas inadecuadas y factores climáticos adversos se ocasiona altos niveles de turbiedad y contaminación de las aguas del río Reventado (Astorga, 2007).

Además, La geología y topografía predominante en la cuenca del río Reventado genera alta susceptibilidad ante avenidas del río o deslizamientos en masa. Este tipo de sucesos se han venido dando como consecuencia de la proximidad de fallas geográficas, sismos y eventos climáticos extremos (Vahrson y Herrera, 1992; Ramírez *et al*, 2008b). Por esta razón se puede encontrar áreas de cultivo sobre suelos inestables resultado de previos deslizamientos<sup>9</sup>(ver Anexo 5) (Cortes, 1997). Estas condiciones llevan hasta un nivel económicamente no rentable el uso de pozos profundos para extracción de agua para riego (SENARA, 2006). Además con

---

<sup>9</sup> Cortés, V. 2012. Geología y geomorfología de la cuenca del Río Reventado (Comunicación personal).

la disminución de los bosques de galería se incrementa el riesgo de desbordamiento con consecuencias negativas para las áreas de cultivo y viviendas.

De acuerdo con el IMN (2008) la región central de Costa Rica se divide en Valle Occidental y Valle Oriental, en este último se encuentra la cuenca del río Reventado. Los dos valles presentan características climáticas diferentes pese a su cercanía. El Valle Occidental es más lluvioso (ver Figura 12) alcanzando 2300 mm, en cambio el Valle Oriental tiene un máximo de 1700 mm. Sin embargo, en el lado oriental se presenta mayores lluvias en diciembre, enero y febrero como resultado de la influencia del caribe.

El Valle Central Occidental se encuentra en la vertiente del pacífico y el Valle Oriental se ubica en la vertiente del atlántico con proximidad a la divisoria continental de agua (Cortes, 1998; IMN, 2008). No obstante reciben influencia tanto del pacífico como del caribe gracias a la configuración de las montañas que generan pasos o canales. El acceso desde el caribe hacia el Valle Oriental donde se encuentra el río Reventado fundamentalmente está conformado por la depresión del río Reventazón entre los volcanes Irazú y Turrialba lo que permite el acceso de los vientos alisios y frentes fríos durante los meses de diciembre y enero principalmente (IMN, 2008).

En la Figura 16 se muestra la relación entre la velocidad del viento y la precipitación. Dicha relación es inversa, es decir, la velocidad del viento es mayor en los periodos secos y se reduce durante las lluvias. Además, la variabilidad climática hace que los valores extremos de lluvia y sequía se intensifiquen y sean cada vez más frecuentes (IPCC, 2007). Lo anterior se conjuga con prácticas agronómicas inadecuadas generando alta susceptibilidad a erosión eólica en periodos secos o erosión hídrica en periodos lluviosos, de igual forma afectaciones mecánicas en los cultivos. Además, los vientos disminuyen la eficiencia del riego al ocasionar que las gotas de agua se desplacen fuera del área de interés (Zapata *et al*, 2007). En el caso de micro-aspersión este efecto es notable dado que el pequeño tamaño de las gotas.

De acuerdo con Zapata *et al* (2007), las regiones con predominancia de vientos presentan disminuciones de la velocidad por cortos periodos de tiempo a lo largo del día (24 horas) y generalmente las menores velocidades se presentan en la noche. Concluyendo que el requerimiento hídrico de los cultivos se debe suplir en las noches o en cortos periodos de tiempo donde la velocidad se reduce. Sin embargo, en la cuenca alta de río Reventado es una práctica de difícil adopción, ya que implica altos costos al tener que utilizar sistemas automáticos operados por software especializado que aplique el riego en el momento indicado. Igualmente, se requiere que el volumen y presión de agua sea suficiente para mantener operativos todos los micro-aspersores de forma simultánea y así lograr cubrir las necesidades de riego en los cortos periodos de tiempo con ausencia de vientos.

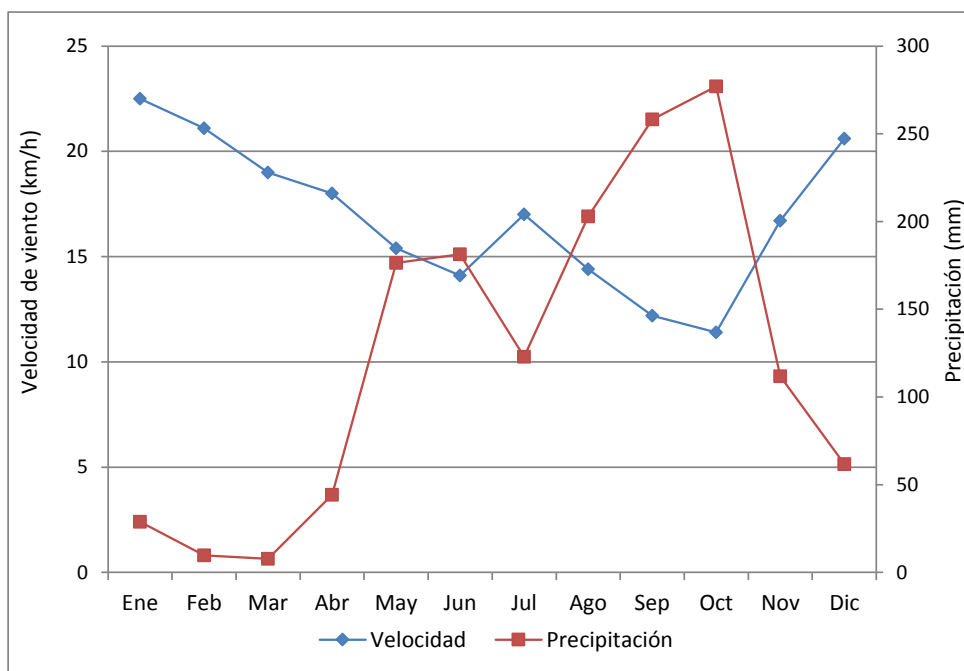


Figura 16. Comparación entre velocidad del viento y precipitación.

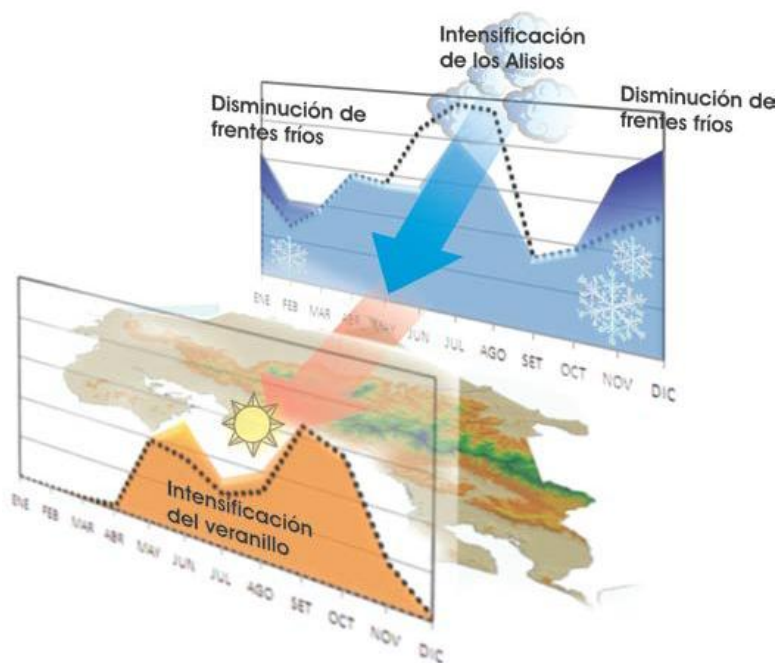
Fuente: Elaboración propia con datos de IMN de la estación Coop. Tierra Blanca

En cuanto al clima, los eventos extremos han aumentado tanto en frecuencia como en intensidad (IPCC, 2007; ProDUS, 2012). En Costa Rica estos eventos tienen implicaciones tanto en la precipitación como en la temperatura, asimismo, se prevén sequías (ProDUS, 2012). Para el caso de la región central los eventos relacionados con la precipitación son de mayor magnitud en el Valle Oriental que en el Valle Occidental (IMN, 2008). A pesar de que los eventos extremos de precipitación aportan el 43% del agua del país, esto no conlleva a tener buenas reservas hídricas. Por el contrario se generan grandes caudales por cortos periodos que son causantes de inundaciones (IMN, 2008).

Los estudios de vulnerabilidad realizados por IMN – MINAET (2012b) utilizando índices de condición humana, servicios e infraestructura muestran bajo nivel de vulnerabilidad para los cantones de Cartago y Oreamuno donde está ubicada la cuenca del río Reventado. Sin embargo se resalta que para la provincia de Cartago los problemas se concentran en la disponibilidad de agua más la competencia con el riego agrícola.

En la Figura 17 se muestran las estimaciones de cambio para el periodo 2011 – 2040 en la vertiente del pacífico y la del atlántico. En la región caribe se estima aumento de la precipitación con marcada estacionalidad. Para la región central se estima menor precipitación que la actual y mayor intensidad en el periodo de verano ubicado entre julio y agosto (IMN – MINAET, 2012). Es importante destacar que la intensificación del verano entre julio y agosto y la disminución de frentes los fríos en diciembre tendrán impactos en la producción de la cuenca del río Reventado. Además, la intensificación de los vientos (Ver Figura 16) alisios acentúa la erosión eólica y desecamiento de los suelos con afectaciones negativas en la

eficiencia de riego. Estas condiciones limitaran la producción agrícola y la harán cada vez más dependiente del riego.



*Figura 17. Estimación de cambios de clima 2011 - 2040.*

Las líneas punteadas corresponden al clima futuro y las áreas corresponden al clima actual

Fuente: IMN – MINAET, 2012

De acuerdo con SENARA-MINAET (2010) la cosecha de agua es una alternativa con altas potencialidades para ayudar a complementar los requerimientos de riego y entre las áreas definidas para cosecha de agua se encuentra la Zona Norte de Cartago. Sin embargo, la implementación es incipiente generalmente por desconocimiento o falta de interés, ya que hasta el momento en predios pequeños el agua suministrada por la SUA ha sido suficiente. Asimismo, el alto precio de la tierra y el espacio que ocupan los depósitos de agua hacen que el productor vea estas obras como disminución de la superficie y del potencial productivo. A esto se suma que la mayoría de fincas son pequeñas rondando 1.5 ha.

Los reservorios que mejor se aplican en Costa Rica son los reservorios Dique – Represa, los reservorios Excavados y los reservorios Estanque (SENARA – MAG, 2010). Los primeros se construyen en los causes de los ríos o arroyos, sin embargo en el área del río Reventado esta práctica presenta limitantes como la contaminación del agua en las partes bajas. Por otra parte los reservorios excavados ocupan espacios de gran valor económico y productivo, además, se requiere recubrimiento para evitar la infiltración. Por último los reservorios estanque, son estructuras con base en concreto y pueden almacenar agua por encima de la superficie del suelo convirtiéndose en una alternativa sin afectar el potencial productivo de la finca.

Otra alternativa poco documentada pero que no ocupa espacio productivo de la finca; es el almacenamiento de agua de forma subterránea que ha sido aplicado para invernaderos de

flores<sup>10</sup>. Este sistema tiene un alto costo inicial pero sin disminuir el área de producción, y al estar confinado se limita el crecimiento de organismos como algas que hacen el agua perder su calidad.

En la cuenca alta del río Reventado no siempre se requiere agua para todo el ciclo del cultivo, sino solo para complementar los efectos causados por la ausencia de lluvias y/o disminución de caudal. En estos casos donde el reservorio es un complemento y no a un sustituto a la fuente de agua (río Reventado), se puede establecer almacenes de agua como estañones (200L) o tanques que ocupan poco espacio y pueden ser llenados con el agua que corre por los techos de las viviendas.

Por otra parte, el uso de sistemas de riego de alta eficiencia es otra alternativa que permite ampliar las áreas bajo riego. En la zona Norte de Cartago se utiliza el aspersor Naan-Dan-501-U que en promedio puede tener una eficiencia de 85%, pero en sistemas mal diseñados o con mal manejo se puede tener pérdidas de agua considerables. Dichas pérdidas pueden darse a causa de riego excesivo o la fuga de agua que puede generar escorrentía superficial y erosión del suelo (Antúñez *et al*, 2010). Asimismo, la falta de manejo de la humedad para cada cultivo puede incidir en la eficiencia de riego.

A pesar de que el sistema por goteo es el de mayor eficiencia alcanzando el 90 % (Antúñez *et al*, 2010) en la cuenca del río Reventado no ha sido adoptado debido a la forma de cultivar y cosechar. En el sistema de producción que se utiliza se requiere hacer prácticas agronómicas que hacen necesario remover la infraestructura de riego de cada predio. Además, los cultivos hortícolas tienen una duración máxima de 6 meses lo que impide mantener un sistema de riego por tiempo indefinido.

Considerando los cambios en el uso del suelo, la morfología de la cuenca, las fuentes de agua y variabilidad climática se puede ver que la vulnerabilidad de los habitantes de la cuenca del río Reventado es alta, ante eventos extremos de precipitación o sequía. Para asegurar la seguridad alimentaria y el sustento de cada familia se requiere de organización y participación tanto local como de los gobiernos. La cuenca del río Reventado tiene alta importancia económica y la mayor parte de la población depende de actividades agrícolas.

En el caso de la cuenca del río Reventado las SUA han demostrado ser una estable plataforma de participación y gestión. No obstante el paternalismo que se ha mantenido, hace que se limite la inversión tanto en tiempo como en recursos al momento de hacer innovación tecnológica. Por otra parte, las condiciones del suelo tanto en profundidad como en fertilidad que se han mantenido pese a la erosión hídrica y eólica generan conformismo y escasa adopción de prácticas de conservación de suelos.

Para diseñar planes de adaptación a corto plazo es necesario conocer las condiciones actuales, y con la ayuda de los escenarios posibles de cambio se puede establecer planes a largo plazo

---

<sup>10</sup> Romero, 2012. Almacenamiento subterráneo de agua (Comunicación personal).

que permitan enfrentarse satisfactoriamente a la variabilidad (IMN – MINAET, 2012). En los dos casos se requiere la activa participación de los productores, con la finalidad de mostrar que el problema no solo es la falta de agua para riego. En este sentido se resalta la vulnerabilidad ante los deslizamientos en masa, sismos, fallas y avenidas del río que no solo afectan los cultivos sino a la población en general (Ver Anexos 5 y 6). Sin embargo, desde el punto de vista de los productores siempre esta primero el aseguramiento del sustento de su familia, luego están los proyectos y alternativas de conservación.

De acuerdo con lo presentado en los anteriores párrafos la cuenca del río Reventado tiene a la agricultura como la primera actividad económica y esta se ha mantenido constante dando sustento a la población. No obstante se tiene que enfrentar a la variabilidad climática, inestabilidad de suelos, progresiva erosión, entre otros. Estas condiciones generan mayor dependencia del riego aumentando la competencia y presión sobre el recurso tanto de forma legal como ilegal.

Para las autoridades es difícil fiscalizar que el uso del agua se está dando solamente bajo concesión, además es inviable limitar la extracción de agua ilegal ya que esto impactaría directamente la producción y sustento de los habitantes. Es importante resaltar que la ley 276 de 1942 (Ley de aguas) y la ley 1647 de 1953 (Otorga al ICE la cuenca del río Reventazón como reserva hidráulica) fueron emitidas en un contexto social y económico distinto, donde la mayor parte de la población se concentraba en el Valle Central sin sobrepasar el medio millón de habitantes (Aguilar, 2009).

## **10 RECOMENDACIONES PARA EL USO Y MANEJO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA**

Con base en los resultados del trabajo sobre las percepciones tanto de productores como de líderes y condiciones biofísicas y climáticas se pueden formular recomendaciones encaminadas a lograr mayor eficiencia en el uso del agua y la conservación de los recursos naturales.

Para llevar a cabo estas recomendaciones es necesaria la integración y discusión de intereses de las partes que confluyen en la cuenca del río Reventado. Los aspectos fundamentales a tener en cuenta se resumen en producción, conservación y bienestar de los productores.

Entre los actores sobresalientes se encuentran el ICE, el MAG, el MINAET, el INA, el SENARA y las organizaciones locales incluidas las SUA. El MAG es el encargado de velar por la producción agropecuaria y en tal sentido puede participar en lo referente a políticas o programas de buenas prácticas agrícolas y los mercados para la producción. Asimismo como el riego es un apoyo a la agricultura el MAG puede trabajar en conjunto con SENARA. Durante todo el proceso se debe trabajar en conjunto con el MINAET con la finalidad de acercarse a un equilibrio entre producción y conservación.

El INA se puede encargar de impartir capacitaciones prácticas con especial énfasis en las fincas y manejo específico de cultivos. Bajo los lineamientos ambientales, legales y de producción.

La participación de las organizaciones locales es importante a lo largo de todo el proceso, ya que conocen y sienten las necesidades y capacidades propias de sus comunidades. El uso de este conocimiento facilita el encontrar alternativas que tenga un mayor grado de adopción. La mayor adopción se puede alcanzar mediante el uso del conocimiento y recursos locales, sin fuertes cambios en sus sistemas tradicionales evitando los altos costos.

Además las organizaciones locales cumplen la función de mediar ante los organismos estatales, convirtiéndose en medios de gestión y enlace entre los intereses de los gobernantes, líderes institucionales y los intereses de las personas reduciendo el sesgo causado por la falta de participación o ausencia de opinión.

Para la aplicación de recomendaciones y alternativas para optimizar el uso del agua es importante hacer una tipificación de fincas y productores con el fin de ajustarse a los requerimientos específicos por grupos. Es decir, las prácticas que se fomenta con los productores usuarios de riego no necesariamente se pueden aplicar directamente en predios donde no se cuenta con el servicio.

En este sentido se presentan las siguientes recomendaciones:

1. Con relación a la continua presencia de vientos y a la disminución de las barreras naturales es conveniente fomentar el establecimiento de cercas vivas resaltando los beneficios adicionales como mantener la humedad, aporte de biomasa y nutrimentos, entre otros que no son percibidos o valorados.
2. Para generar mayor cobertura del riego no solo es importante encontrar nuevas fuentes, si no también aumentar la eficiencia del uso del agua disponible mediante la implementación de la medición y un pago proporcional por el consumo de agua. Para los usuarios, cuando el desperdicio tenga un costo van a buscar manearas donde se dé mayor eficiencia.
3. Considerando que la variabilidad no se ha dado en cuanto a volumen de agua precipitada es conveniente fomentar y establecer cosecha de agua para equilibrar el cambio en la frecuencia de las lluvias. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la tierra en la zona norte de Cartago tiene un alto costo y son pequeñas propiedades (promedio 1.5 ha). Esto implica que la construcción de estructuras para cosecha de agua ocupa un espacio muy importante para el productor.
4. Con la finalidad de dar mayor eficiencia en el uso del agua disponible se recomienda realizar capacitaciones y acercamientos con el productor con relación al manejo de la

humedad en campo y requerimientos hídricos de los cultivos. De esta forma el productor comprende la manera en que funcionan los ciclos naturales y estará en capacidad de diseñar un plan de riego básico que se adecue a las condiciones específicas de su finca. Y de esta forma disminuir pérdidas por exceso de riego en determinados sitios u horas o por averías en el sistema de distribución.

5. Teniendo en cuenta que las soluciones deben nacer o tener un fuerte aporte de los productores y que hay más facilidad de incluir cambios en una práctica en lugar de incorporar una nueva. Es recomendable tener a la figura de SUA como la estructura de organización fundamental, ya que ha demostrado ser una adecuada plataforma para la gestión y administración, además está legalmente reconocida. Asimismo, se convierte en un vínculo que permite el intercambio de opiniones entre los productores y los organismos gubernamentales y demás apoyo externo.

#### **Para futuros trabajos o investigaciones se recomienda:**

1. Establecer el grado de vulnerabilidad y amenaza tanto biofísica como climática de la cuenca del río Reventado frente a las condiciones climáticas actuales y estimaciones de variabilidad futuras.
2. Hacer un análisis hidroclimatológico utilizando registros diarios de estaciones representativas de la zona para determinar la variabilidad climática local.
3. Analizar variables como la intensidad y frecuencia de lluvias en comparación con las fechas importantes del calendario agrícola de los productores como germinación, siembra, aporque y cosecha.

## **11 LECCIONES APRENDIDAS**

En el transcurso de la ejecución de este trabajo se pudo avanzar en caracterizar y profundizar acerca de lo que acontece con relación al agua para uso agrícola en la cuenca alta del río Reventado. El trabajo se dividió en caracterización biofísica y social, a continuación se exponen las principales lecciones:

Ante todo y para cuando se trabaja en condiciones locales es importante considerar desde el inicio de las actividades el hecho de que la información a este nivel es escasa, convirtiéndose en un impedimento para identificar con claridad lo que sucede. Sin embargo, las personas en general manejan información valiosa que sirve como punto de partida.

En términos biofísicos la distribución de las estaciones climatológicas o limnigráficas hace que sea necesaria la inferencia para grandes áreas con condiciones cambiantes. Esto implica



un nivel de sesgo en los resultados que puede ser confrontado y discutido con los habitantes de la comunidad.

Es limitado el acceso a registros hidroclimatológicos diarios que permitan hacer análisis detallados con información representativa de la zona.

## 12 CONCLUSIONES

- El área ocupada por actividades agropecuarias ha permanecido relativamente constante. Sin embargo se ha dado un proceso de fragmentación de las propiedades que conlleva a producción intensiva en áreas pequeñas. De esta forma se incrementa la presión sobre los recursos con impactos como erosión eólica e hídrica y reducción de áreas de bosque de galería.
- Existe incongruencia entre la percepción de los productores y el análisis climático. Desde el punto de vista de los productores en la actualidad hace más calor y llueve menos, sin embargo el análisis climático indica que las precipitaciones han permanecido constantes a lo largo del tiempo en cuanto a volumen pero con variación en la frecuencia de ocurrencia de lluvias o eventos extremos.
- La fragmentación de las propiedades ha conllevado a la conformación de pequeñas áreas (1.5 ha) de producción familiar. Donde se cultiva de forma intensiva y con baja adopción de prácticas de conservación de suelos, perdiendo progresivamente la estructura del suelo y aumentando la susceptibilidad a erosión eólica y/o hídrica. Es decir, que a lo largo de la año se presenta erosión ya sea a causa del viento o las precipitaciones.
- Los sistemas de riego de alta eficiencia como goteo o cintas de exudación tienen baja adopción debido al mayor costo e incompatibilidad con el sistema de producción, ya que se requiere repetida instalación – desinstalación del sistema a lo largo de un ciclo de cultivo que no dura más de 6 meses.
- La cuenca del río Reventado no cuenta con registros de medición de caudal consecutivos y en el mismo punto. Asimismo es difícil el acceso a registros diarios de temperatura y precipitación de estaciones representativas. Esto dificulta el estudio del comportamiento hidrológico de la cuenca con fines de diseño de nuevas alternativas para enfrentarse a la escasez de agua, considerando que los cultivos hortícolas son susceptibles a déficit hídrico y que la variabilidad dentro de un mes puede ser decisiva para mantener la producción.

### 13 LITERATURA CITADA

- Aguilar, G. 2009. Gobernanza de agua en Mesoamérica; Dimensión ambiental. UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) Política y derecho ambiental no 63. CH. 277 p.
- Alvarado A, Bertsch F, Bornemiza E, Cabalceta G, Forsythe W, Henríquez C, Mata R, Molina E y Salas R. 2001. Suelos derivados de cenizas volcánicas (Andisoles) de Costa Rica. ACCS (Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo). San José, CR. 111 p.
- Antúñez, A; Mora, D y Felmer, S. 2010. Eficiencia en sistemas de riego por goteo en el secano. INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias - CL). 4 p.
- Aparicio, F. 1992. Fundamentos de hidrología de superficie. Editorial Limusa SA de CV, México DF. 291 p.
- Arcos, I; Jiménez, F y León, J. 2006. Percepción local acerca del papel de los bosques ribereños en la conservación de los recursos naturales en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras. Recursos Naturales y Ambiente no 48. 118-122 p.
- Astorga, Y. 2007. Estado de la nación en desarrollo humano sostenible. Estado de la Nación, Décimo tercer informe. 35 p.
- Chang H y Jung W. 2010. Spatial and temporal changes in runoff caused by climate change in a complex large river basin in Oregon. Journal of Hydrology no 388. 186 – 207 p.
- Chow, Ven Te; Maidment, D; Mays, L. 1994. Hidrología aplicada. Trad. Saldarriaga, J. Santa Fe de Bogotá, CO. McGrawHill. 577 p.
- Cortes, V. 1997. Impacto de las cenizas del volcán Irazú, en la cuenca del Río Reventado durante 1963 – 1965, Costa Rica. Geografía Aplicada y Desarrollo, 17(35). 36-50 p.
- Nº 26945-MINAE, Adiciona área de Prusia al Parque Nacional Volcán Irazú. Diario oficial la Gaceta nº 98. 22 de mayo de 1998.
- Estado de la nación. 2010. Capítulo 4, Armonía con la naturaleza, San José, CR.
- Fernández, M; Mora, M y Barquero, R. 1998. Los procesos sísmicos en el volcán Irazú (Costa Rica). Revista Geológica de America Central. no 21. 47 -59 p.
- Guan-Wei, JIA; Ton, ZHAN; Yun-Min, CHEN; Fredlund, DG. 2009. Influence of rainfall pattern on the infiltration into landfill earthen final cover. International symposium on geoenvironmental engineering. Zangzhou, CN. 5 p.
- Herrera, V. 2002. Riego en áreas pequeñas. Las acciones de SENARA en este campo. Agronomía costarricense 26(1). 73 – 83 p.
- Huerta, G. 2008. Diagnóstico de condiciones mínimas y validación de una guía para el desarrollo de esquema de PSE-hídrico en las microcuencas de los ríos Reventado, Parrita Chiquito-Salado, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 138 p.
- Hurkmans, L; Terink, W; Uijlenhoet, R; Moors, E; Troch, P; Verburg, P. 2009. Effects of land use changes on streamflow generation in the Rhine basin. Water resources research 45. 1 – 15.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudio Ambientales – CO). 2008. Guía técnica científica para la ordenación de las cuencas hidrográficas en Colombia. Segunda versión. IDEAM. Bogotá – CO. 92 p.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura, CR). 2001. Capacitación de jóvenes agricultores de Tierra Blanca de Cartago: Sistematización de una Experiencia de Formación de Capital Humano y Análisis de su Importancia en el Diseño de Líneas de Acción Estratégicas para el Desarrollo Rural Sostenible. IICA. San José. CR. 82 p.

- IMN (Instituto Meteorológico Nacional, CR), 2012. Huracanes; Huracanes y sus efectos en Costa Rica. Consultado 11 de septiembre de 2012. Disponible en: <http://www.imn.ac.cr/educacion/huracanes/huracan06.html>
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2008. Clima, Variabilidad y Cambio Climático en Costa Rica. Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. IMN-CRRH-MINAET-PNUD. San José, CR. 75 p.
- IMN – MINAET, 2012. Riesgo futuro del sector hídrico de Costa Rica ante el cambio climático. Instituto Meteorológico Nacional – Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones- CR. San José, CR. 20 p.
- IMN – MINAET, 2012b. Mejoramiento de las capacidades nacionales para evaluación de la vulnerabilidad y adaptación del sistema hídrico al cambio climático en Costa Rica, como mecanismo para disminuir el riesgo al cambio climático y aumentar el índice de desarrollo humano. Instituto Meteorológico Nacional – Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones- CR. San José, CR. 46 p
- IPCC. 2007. Synthesis report: Climate change 2007. IPCC. Suiza. 52.
- IrriStand Systems. 2012. Turbo hammer low-volumen sprinkler mounted on IrriStand 50: 501-U. Consultado 11 de septiembre de 2012. Disponible en: <http://2.imimg.com/data2/FC/JU/MY-2813257/501-u.pdf>
- Ley 1657, Respaldo Económico al ICE Planta Eléctrica La Garita. Diario Oficial La Gaceta. San José, CR. 19 de octubre de 1953.
- Ley n° 276, Ley de aguas. Diario Oficial La Gaceta n° 190, San José, CR. 27 de agosto de 1942.
- Ley n° 1917. Ley orgánica del Instituto Costarricense de Turismo (ICT). Diario Oficial La Gaceta n° 175, San José, CR. 9 de agosto de 1955.
- Ley n° 6756, Ley de asociaciones cooperativas. Diario Oficial la Gaceta n° 87. San José, CR. 7 de mayo de 1982.
- Ley n° 7788. Ley de biodiversidad. Diario Oficial La Gaceta n° 101, San José, CR. 27 de mayo de 1998.
- Mendonça y Caridade, 2007. The use of texture for image classification of black & white air-photographs. *New Developments and Challenges in Remote Sensing*. Millpress. Rotterdam. NL. 345 - 354 p.
- Muñoz, A. 2002. Variación estacional del viento en Costa Rica y su relación con los regímenes de lluvia. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos* 9(1). 1 – 13.
- MINAET, 2012. Registro nacional de concesiones de agua. Consultado 18 de junio de 2012. Disponible en: <http://www.drh.go.cr/registro+.html>
- NAAN-DAN Irrigation systems. 2012. Sistemas irristand. Consultado 21 de Noviembre de 2012. Disponible en: [http://irrigation.bg/asi/wp-content/uploads/NAAN\\_Irristand.pdf](http://irrigation.bg/asi/wp-content/uploads/NAAN_Irristand.pdf)
- Quiroz, I; Pérez, A; Landeros, C; Morales, V; Zetina, R. 2011. Percepción y actitud de productores cañeros sobre la composta de cachaza y vinaza. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* n° 14. 847 – 856.
- Ramírez, L. 2000. Indicadores de sostenibilidad en la cuenca del río Reventado. Asesora de desarrollo rural, Proyecto IICA-GTZ.
- Ramírez, L; McHugh, A; Alvarado, A. 2008a. Evolución histórica y caracterización de la cuenca media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica. *Agronomía costarricense* 32(2). 53 – 72.
- Ramírez, L; Alvarado, A; Pujol, R; Brenes, LG. 2008b. Caracterización física de cuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica. *Agronomía costarricense*, 32(2). 73 – 92.

- Rientjes, T; Haile, T; Kebede, E; Mannaerts, C; Habib, E; Steenhuis, T. 2011. Changes in land cover, rainfall and streamflow in Upper Gilgel Abbay catchment, Blue Nile basin – Ethiopia. *Hydrology and earth systems sciences* 15. 1979 – 1989.
- Rios, S. 2011. Vulnerabilidad al cambio climático de tres grupos de productores agropecuarios en el área de influencia del Bosque Modelo Reventazón (BMR) – Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 77 p.
- Sánchez, V. 2003. *Gestión Ambiental Participativa de Microcuencas*. Primera edición. Heredia, CR. Editorial EUNA. 289 p.
- Rodas, R y Jiménez, F. 2009. Percepción de los actores sobre la gestión de zonas de recarga hídrica en Honduras. *Recursos Naturales y Ambiente* no 56-57. 116-123 p.
- SINAC-ACCVC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación – Área de Conservación Cordillera Volcánica Central. CR), 2008. Plan general de manejo Parque nacional Volcán Irazú. ACCVC y ONCA Natural, San José, CR. 101 p.
- SENARA (Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento, CR). 2006. Estudio de factibilidad técnica del proyecto de riego zona norte y este de Cartago. SENARA. Costa Rica. 227 p.
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, CR). 2012. Información general: sistema nacional de áreas de conservación. Consultado 30 de mayo de 2012. Disponible en: <http://www.sinac.go.cr/informacion.php>
- Siu, M. 2012. ICE deja sin agua a chayoteros de Cartago. *Diario Extra*. Lunes 14 de mayo de 2012.
- Vahrson W y Herrera N. 1992. Deslizamientos en la cuenca media y superior del río Reventado, Cartago, Costa Rica. *Revista geográfica de América Central* no. 25 – 26. 171 – 192 p.
- UNISDR (The United Nations Office for Disaster Risk Reduction), 2012. Eventos históricos relevantes. Consultado 11 de septiembre de 2012. Disponible en: [http://www.eird.org/comunicapraes/index.php/Eventos\\_Hist%C3%B3ricos\\_Relevantes](http://www.eird.org/comunicapraes/index.php/Eventos_Hist%C3%B3ricos_Relevantes)
- Zapata, N; Playán, E; Martínez-Cob, A; Sánchez, I; Faci, J y Lecina, S. 2007. From on-farm solid set-sprinkler irrigation design to collective irrigation network design in windy areas. *Agricultural water management* no 87. 187 – 199 p.

## 14 ANEXOS

### **Anexo 1: Protocolo de encuesta semi-estructurada para productores**

Mi nombre es Ildefonso Narváez, estudiante de Maestría del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza – CATIE, estoy desarrollando mi trabajo de graduación:

Antes de iniciar deseo aclararle algunos aspectos importantes:

- Su participación en esta entrevista es totalmente voluntaria.
- Sus respuestas son anónimas
- Si en algún momento se incomoda y no quiere continuar, por favor me lo hace saber.
- Si desea alguna explicación adicional por favor no dude en preguntarme.
- Tomaremos notas (fotos y/o grabación) de nuestra entrevista para no perder la información y poderla analizar, esperamos que esto no le incomode. Si le incomoda, por favor me lo hace saber.

La entrevista forma parte de un estudio que hace el seguimiento de estudios anteriores, para profundizar en aspectos relacionados al agua para uso agrícola, sus conflictos y oportunidades.

El estudio tiene como objetivo entender mejor cuales son los factores que afectan en la disponibilidad del agua para uso agrícola. Entendiendo que estamos en una época de continuos cambios, y nos interesa conocer como en general los productores agrícolas perciben estos cambios, cuáles son sus fortalezas y como utilizan sus oportunidades. Los resultados serán discutidos en talleres con ustedes y con expertos en el tema de desarrollo y trataremos con ustedes definir recomendaciones que les podrían ayudar a prepararse mejor para la producción agrícola.

Después de esta entrevista, más o menos entre octubre y noviembre de 2012, organizaremos un taller para discutir los resultados.

Les solicito firmar este papel como indicación que les he explicado el propósito de la entrevista y su consentimiento a participar en ella.

---

---

- 1 El entrevistado es: 1. Dueño \_\_\_\_\_  
2. Administrador \_\_\_\_\_  
3. Otro \_\_\_\_\_  
Tel: \_\_\_\_\_
- 2 Edad: \_\_\_\_\_ años  
1. M 2. F
- 3 Cuál es su nivel educativo alcanzado? 1. Ninguno  
2. Primaria incompleta  
3. Ciclo común  
4. Bachillerato  
5. Universidad
- 4 Estado civil 1. Soltero (a)  
2. Unión libre  
3. Casado (a)  
4. Divorciado (a)  
5. Viudo (a)
- 5 Su familia vive dentro de la finca? 1. SI:  
2. NO:
- 6 Cuantos son los miembros de la familia Hijos \_\_\_\_ Hijas \_\_\_\_ Otro \_\_\_\_

#### CARACTERISTICAS DE LA PROPIEDAD

- 7 Nombre de la propiedad \_\_\_\_\_
- 8 Área de la propiedad 1. Superficie \_\_\_\_\_
- 9 Hace cuánto tiempo tiene la propiedad? Años: \_\_\_\_\_
- 10 Cuál ha sido el uso histórico del suelo? \_\_\_\_\_
- 11 A qué comunidad pertenece? 1. Comunidad:  
2. Distrito:  
3. Cantón:  
4. Provincia:  
Lat: \_\_\_\_\_ Lon: \_\_\_\_\_

USOS DEL SUELO – RIEGO						
Cultivo / uso del suelo	Área total (ha)	Área regada (ha)	Rend.	Riego /Consumo de agua	Tipo de Riego	Concesión (si-no, volumen)
<b>Otros:</b>						
<b>Otros:</b>						
<b>TOTAL FINCA:</b>						
12	Paga una tarifa de agua?	1. SI: 2. NO: Cuánto, promedio:				

### PRACTICAS DE ALMACENAMIENTO DE AGUAS

- 13 Aplica algún tipo de práctica de almacenamiento de agua **1. SI:**  
**2. NO (pasar a la pregunta 17):**
- 14 

<b>Cuáles?</b>	<b>De que material está construido (superficie)</b>
- 15 Ha recibido capacitación formal para la implementación y manejo de estas prácticas? **1. SI:**  
**2. NO:**  
De quien: \_\_\_\_\_
- 16 Como financio la construcción de las obras? **1. Dinero propio**  
**2. Préstamo**  
**3. Donación**  
**4. Proyecto comunitario**  
**5. Otro** \_\_\_\_\_
- 17 Porque no ha implementado ninguna practica para almacenamiento de agua? **1. Falta de recursos económicos**  
**2. La propiedad no es mía**  
**3. No conozco obras de almacenamiento**  
**4. Otro**  
\_\_\_\_\_
- 18 Ha presentado solicitudes de concesión de aguas? **1. SI:**  
**2. NO:**
- 19NU Fue aprobada su solicitud? **1. SI:**  
**2. NO:**  
**3. Por qué?** \_\_\_\_\_

### LOCALIZACION DE LA FINCA: MICROCUENCA Y TOMA DE AGUA

20	Su finca está cerca de alguna quebrada o rio?	<b>1. SI:</b> <b>2. NO:</b>
21	Ha tenido problemas con el abastecimiento de agua?	<b>1. SI:</b> <b>2. NO:</b>
22	Que hace cuando la cantidad de agua no es suficiente?	
23	Que hace cuando el abastecimiento de agua se interrumpe inesperadamente?	
24	Qué medidas preventivas toma para disminuir los efectos de los periodos donde hay poco suministro de agua?	
25	Considera fácil o difícil enfrentar los problemas de abastecimiento de agua?	
26	Estaría dispuesto a pagar un costo superior por otras fuentes de agua?	<b>1. SI:</b> <b>2. NO:</b>

## PERCEPCION

- 27 Considera usted que el clima en los últimos 20 años ha cambiado? **1.** Nada **4.** Bastante  
**2.** Muy poco **5.** Demasiado  
**3.** Regular  
 Porque?
- 28 Que es lo que más ha cambiado? **1** Temperatura**2.** Precipitación
- 29 En la actualidad existe? **1** Más lluvia **2.** Menos lluvia  
**3** Más calor **4.** Menos calor  
 Porque?
- 30 Considera que ha cambiado la cantidad de agua de los ríos o quebradas? **1.** Nada **4.** Bastante  
**2.** Poco **5.** Demasiado  
**3.** Regular  
 Porque?
- 31 En la actualidad existe? **1** Más agua **2.** Menos agua
- 32 Considera que la variación del clima ha afectado la calidad del agua que utiliza? **6.** Nada **9.** Bastante  
**7.** Poco **10.** Demasiado  
**8.** Regular  
 Porque?
- 33 Considera que la variación del clima ha afectado la cantidad del agua que utiliza? **1.** Nada **4** Bastante  
**2** Poco **5** Demasiado  
**3** Regular  
 Porque?
- 34 Considera que la variación del clima ha afectado la calidad del suelo? **1** Nada **4** Bastante  
**2** Poco **5** Demasiado  
**3** Regular  
 Porque?
- 35 Cuanto ha disminuido el área apta para cultivo? **1** Nada **4** 0.75 ha  
**2** -0.25 ha **5** +0.75 ha  
**3** 0.5 ha  
 Porque?
- 36 A que considera que se deba estos cambios?



## Anexo 2: Calculo de tendencias con la Prueba de Mann-Kendall

La prueba no paramétrica de Mann Kendall es ampliamente utilizada para el estudio de tendencias de fenómenos hidrológicos (Donna *et al*, 2010) y se calcula para cada una de las series de datos. Para determinar si la tendencia es creciente o decreciente la prueba de Mann-Kendall utiliza los estadísticos S y Z. El S se utiliza cuando la cantidad de datos es menor a 8, en caso contrario se utiliza Z. Esta separación se debe a que los Residuos están normalmente distribuido cuando hay más de 8 datos permitiendo aplicar el estadístico Z y su correspondiente  $\rho$ -value (Eric *et al*, 2006). Los valores negativos o positivos de S o Z indican si la tendencia es creciente o decreciente. Con el método no paramétrico de Sen se determina la pendiente de una tendencia que se asume como lineal (Salmi *et al*, 2000).

### Calculo del estadístico S

El estadístico S permite determinar si la tendencia es creciente o decreciente cuando se tienen menos de 8 datos. Para calcularlo se usa la siguiente fórmula:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

Dónde:  $x_j$  y  $x_k$  son los valores anuales de los años  $j$  y  $k$ ,  $j > k$  respectivamente, y:

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{si } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{si } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{si } x_j - x_k < 0 \end{cases}$$

### Calculo del estadístico Z

Cuando la cantidad de datos es superior a 8 el estadístico S asume la distribución normal. Lo que permite utilizar la probabilidad del estadístico Z, con hipótesis nula y alternativa. La hipótesis nula corresponde a ausencia de tendencia y la hipótesis alternativa indica que hay tendencia positiva o negativa. Inicialmente se necesita calcular la varianza de S utilizando la siguiente ecuación.

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right]$$

Aquí  $q$  es el número de datos vinculados,  $t_p$  es el número de datos en el grupo  $P^{th}$ . Los valores de S y  $\text{VAR}(S)$  son usados para calcular el estadístico Z mediante la siguiente ecuación:

$$Z = \begin{cases} \frac{s - 1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{s + 1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{si } S < 0 \end{cases}$$

El valor resultante de este cálculo se compara con la tabla de  $Z$  para determinar si es o no significativa la tendencia.

### **Método no paramétrico de Sen (Pendiente de la tendencia)**

Para determinar la pendiente que tiene la tendencia (cambio por año) se utiliza el método no paramétrico de Sen. Este método se usa cuando las tendencias puedan ser asumidas como lineales. Esto significa que  $f(t)$  en la ecuación del modelo será igual a:

$$f(t) = Qt + B$$

Dónde:  $Q$  es la pendiente y  $B$  es una constante.

Para obtener la estimación de la pendiente  $Q$  con la anterior ecuación, primero necesitamos calcular la pendiente de todos los datos agrupados por pares, con la siguiente fórmula:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k}$$

Dónde:  $j > k$

### Anexo 3: Matriz de confusión: precisión de la clasificación de imágenes

1978

		Predicho			Total	Precisión de productor
		Bosque	Cultivos	Pasturas		
Real	Bosque	12	3		15	80,00%
	Cultivos	2	18		20	90,00%
	Pasturas		1	3	4	75,00%
	Total	14	22	3	39	
Precisión usuario		85,714286	13,636364	0		
Precisión promedio					81,67%	
<b>Precisión absoluta</b>					<b>84,6%</b>	

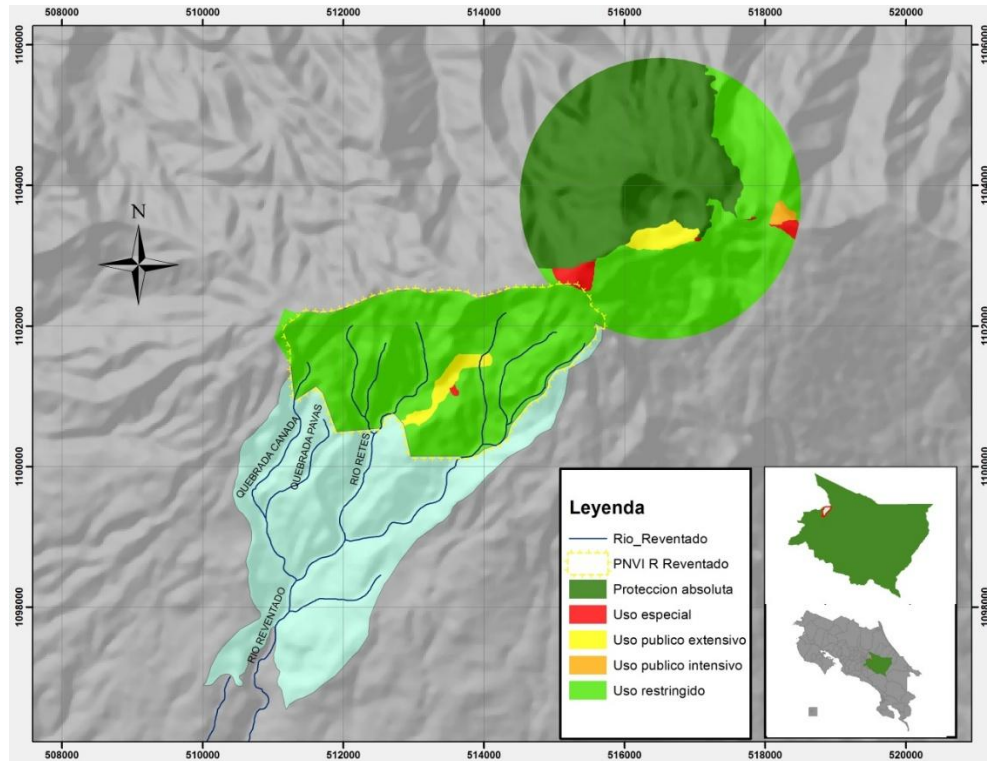
1998

		Predicho					Total	Precisión de productor
		Bosque	Cultivos	Pasturas	Urbano / Carreteras	Suelo desnudo		
Real	Bosque	16	1	3			20	80,00%
	Cultivos	1	9	1			11	81,82%
	Pasturas	1	1	5			7	71,43%
	Urbano/Carreteras				1		1	100,00%
	Suelo desnudo					1	1	100,00%
	Total	18	11	9	1	1	40	
Precisión usuario		88,89	9,09	33,33	0,00	0,00		
Precisión promedio					86,65%			
<b>Precisión absoluta</b>					<b>80,0%</b>			

2011

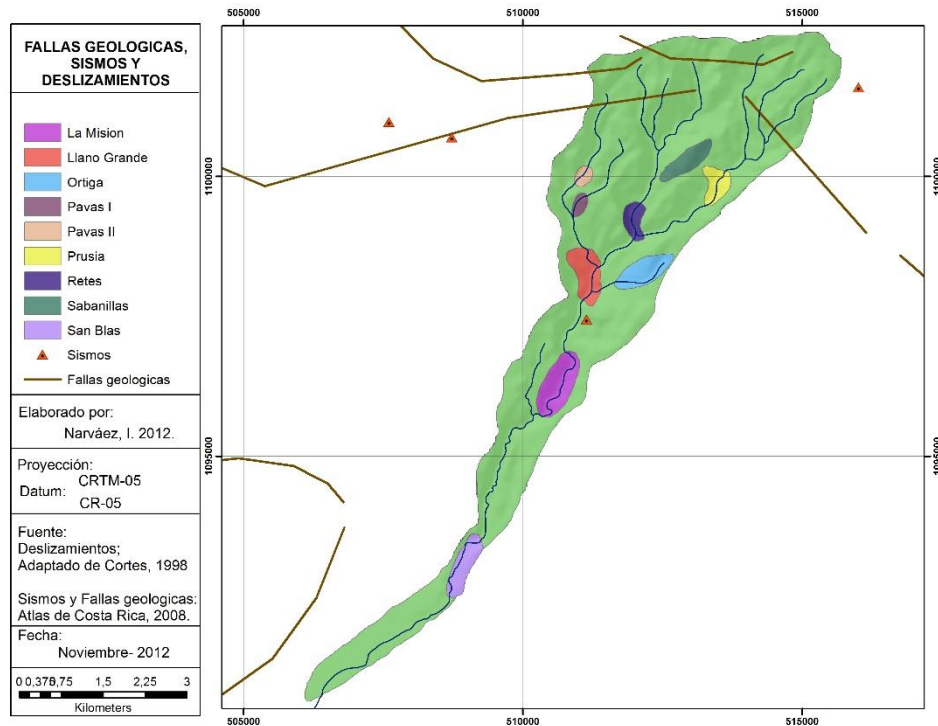
		Predicho						Total	Precisión de productor
		Bosque	Cultivos	Pasturas	Invernaderos	Urbano / Carreteras	Suelo desnudo		
Real	Bosque	11	1	2				14	78,57%
	Cultivos		14	1				15	93,33%
	Pasturas	1	3	3				7	42,86%
	Invernaderos				1			1	100,00%
	Urbano/Carreteras					1		1	100,00%
	Suelo desnudo						1	1	100,00%
	Total	12	18	6	1	1	1	39	
Precisión usuario		91,6667	5,555556	33,3333	0	0	0		
Precisión promedio					85,79%				
<b>Precisión absoluta</b>					<b>79,5%</b>				

## Anexo 4: Zonas de manejo Parque Nacional Volcán Irazú



Fuente: Elaboración propia; adaptado del Plan general de manejo Parque nacional Volcán Irazú. ACCVC y ONCA Natural, San José, CR. 2008.

## ANEXO 5: Deslizamientos en masa en la cuenca del río Reventado





## Anexo 7: Salida de los análisis estadísticos de promedios decadales.

### Análisis de la varianza

Mes	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Abr	Precipitacion	61	0,09	0,01	110,23

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo.	11360,75	5	2272,15	1,12	0,3614	0,3614
Decada	11360,75	5	2272,15	1,12	0,3614	0,3614
Error	111738,37	55	2031,61			
Total	123099,12	60				

Mes	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ago	Precipitacion	59	0,11	0,03	48,41

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo.	46942,80	5	9388,56	1,32	0,2696	0,2696
Decada	46942,80	5	9388,56	1,32	0,2696	0,2696
Error	376754,04	53	7108,57			
Total	423696,84	58				

Mes	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Dic	Precipitacion	58	0,04	0,00	80,79

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo.	7561,75	5	1512,35	0,44	0,8187	0,8187
Decada	7561,75	5	1512,35	0,44	0,8187	0,8187
Error	178836,42	52	3439,16			
Total	186398,18	57				

Mes	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ene	Precipitacion	60	0,14	0,06	86,92

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo.	5924,76	5	1184,95	1,72	0,1450	0,1450
Decada	5924,76	5	1184,95	1,72	0,1450	0,1450
Error	37131,17	54	687,61			
Total	43055,93	59				

Mes	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Feb	Precipitacion	60	0,08	0,00	127,52

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo.	2092,21	5	418,44	0,99	0,4322	0,4322
Decada	2092,21	5	418,44	0,99	0,4322	0,4322
Error	22810,01	54	422,41			
Total	24902,22	59				

Mes	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Jul	Precipitacion	61	2,3E-03	0,00	42,13

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	430,21	5	86,04	0,03	0,9997
Decada	430,21	5	86,04	0,03	0,9997
Error	188693,85	55	3430,80		
Total	189124,06	60			

Mes	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Jun	Precipitacion	61	0,14	0,06	37,95

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	48922,47	5	9784,49	1,80	0,1282
Decada	48922,47	5	9784,49	1,80	0,1282
Error	299095,20	55	5438,09		
Total	348017,67	60			

Mes	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Mar	Precipitacion	60	0,14	0,06	116,76

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2155,32	5	431,06	1,71	0,1474
Decada	2155,32	5	431,06	1,71	0,1474
Error	13591,93	54	251,70		
Total	15747,24	59			

Mes	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
May	Precipitacion	61	0,11	0,03	52,77

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	70273,76	5	14054,75	1,39	0,2417
Decada	70273,76	5	14054,75	1,39	0,2417
Error	555439,22	55	10098,89		
Total	625712,98	60			

Mes	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Nov	Precipitacion	58	0,27	0,20	52,19

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	122396,91	5	24479,38	3,80	0,0052
Decada	122396,91	5	24479,38	3,80	0,0052
Error	335014,92	52	6442,59		
Total	457411,83	57			

Mes	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Oct	Precipitacion	60	0,06	0,00	36,45

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo.	33178,76	5	6635,75	0,67	0,670	0,6470
Decada	33178,76	5	6635,75	0,67	0,670	0,6470
Error	533924,88	54	9887,50			
Total	567103,64	59				

Mes	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Sep	Precipitacion	60	0,03	0,00	39,00

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo.	10980,36	5	2196,07	0,28	0,9227	0,9227
Decada	10980,36	5	2196,07	0,28	0,9227	0,9227
Error	425103,96	54	7872,30			
Total	436084,32	59				

**Prueba de comparación de medias para Noviembre****est:Tukey Alfa=0,05 DMS=108,28572**

Error: 6442,5946 gl: 52

Decada	Medias	n	E.E.	
1980	84,43	8	28,38	A
1950	122,66	10	25,38	A B
1990	135,29	9	26,76	A B
1970	139,36	10	25,38	A B
1960	197,16	10	25,38	B
2000	221,37	11	24,20	B



## **Anexo 8: Respuestas de los productores en las encuestas y entrevistas**

*“Antes había más árboles y más potreros, y los dueños eran pocos, hace 25 años tal vez eran 5 y nosotros éramos peones. Cuando existió coope-tierrablanca les vendió a pequeños productores”*

*“Una finca se ha dividido entre 15 y 17 dueños, antes eran potreros y con linderos de árboles y cercas vivas”*

*“Allá aquella zona del volcán arriba, cuando yo era carajillo todo eso era una montaña y véalo ahora, lo que tiene es papas”*

*“Se ha talado pero para tener donde trabajar y dar sustento a la familia pese a estar conscientes de lo malo de la deforestación.”*

*“Antes menor producción pero limpia sin herbicidas, ahora se usa herbicidas y demás generando monocultivos”*

*“Estamos sujetos a la naturaleza, ella es la que nos da el agua y nos la quita, años atrás lo que era un mayo, un junio eran lluvias que corrían las aguas”*

*“Estamos hablando de que esto no es ni 1 ha para el alimento de toda mi familia”*

*“El que se cansa es uno, el que se muere es uno, la tierra no se va a cansar, dependiendo como la maneje”*

*“Antes los cultivos tenían malezas y es ahí donde estaban las plagas, ahora con las herbicidas no se deja malezas es cuando se van contra los cultivos”*

*“Antes el río se escuchaba y era necesario atravesarlo a caballo. Ahora no se escucha nada y se lo puede pasar pisando las piedras”*

*“Es grande la diferencia de ver el cebollar bajo un árbol y a pleno sol, el primero esta amarillo y pequeño en cambio al sol esta verde y más grande”*

*“periódicamente llueve, cada ocho días pero un poquitico”*

*“Estos de terrenos no se dejan descansar, no se deja enyerbar, ni se incorporar hierbas. Como son pedacitos pequeños los que tenemos, no hay espacio para darnos ese lujo*

*“El nivel de agroquímicos usados si ha cambiado un montón, ahora se echa mucho, ahora si no se hecha agroquímico no se produce”*

*“A lo largo de todo el año hay vientos, porque ya no hay nada que lo detenga, como montañas o árboles”*

*“De octubre en adelante aparecen los temporales que vienen del atlántico, casi no llegan a Tierra Blanca”*

*”Es mejor regar áreas pequeñas para mantener mejor la humedad”*

*”La gente busca ampliar el área de producción, pero sin considerar que el agua no es suficiente para regar. El mal riego es muy común bajo esta causa”*

*”Si se riega a las 6 am con 3 horas, en la tarde puede estar ya seco”*

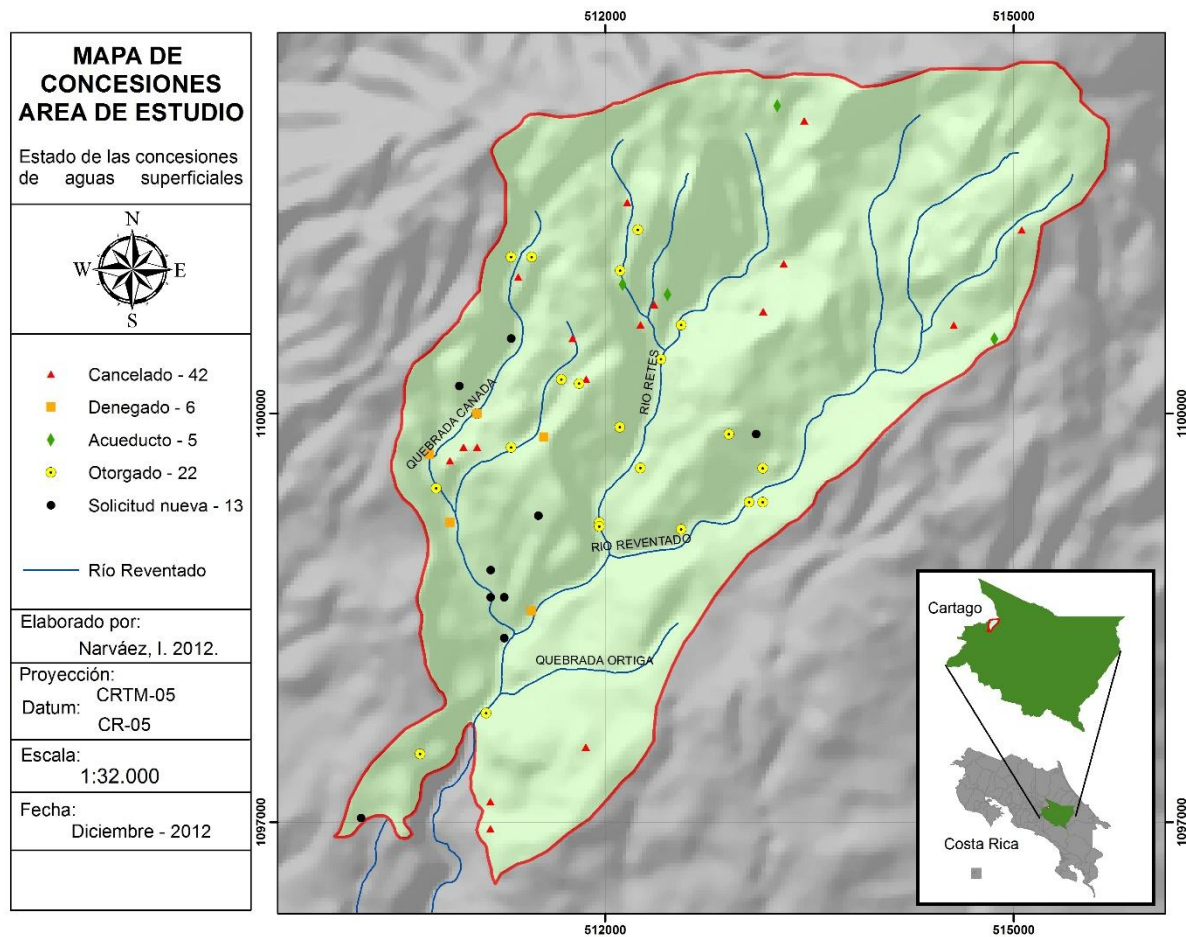
*”Para que con un micro-aspersor se riegue bien se debe mantener aprox 3 horas”*

*”No ha habido capacitaciones en manejo del riego, como para determinar la cantidad de agua debe tener el terreno”*

*”Se ha probado goteros y se mantiene en proyecto, en Tierra Blanca por el sistema de siembra hace necesario el movimiento permanente de los suelos. Lo que implica mayores trabajos de desinstalación e instalación. Inclusive se tiene algunos inconvenientes con los micro-aspersores al momento de las cosechas”*

*”Controlar la humedad con hidrómetro, falta de capacitación y tecnología a los productores”*

**Anexo 9: Mapa de concesiones superficiales en la cuenca alta del Río Reventado a 2 de diciembre de 2012.**



## Anexo 10: Matriz de transición de usos del suelo

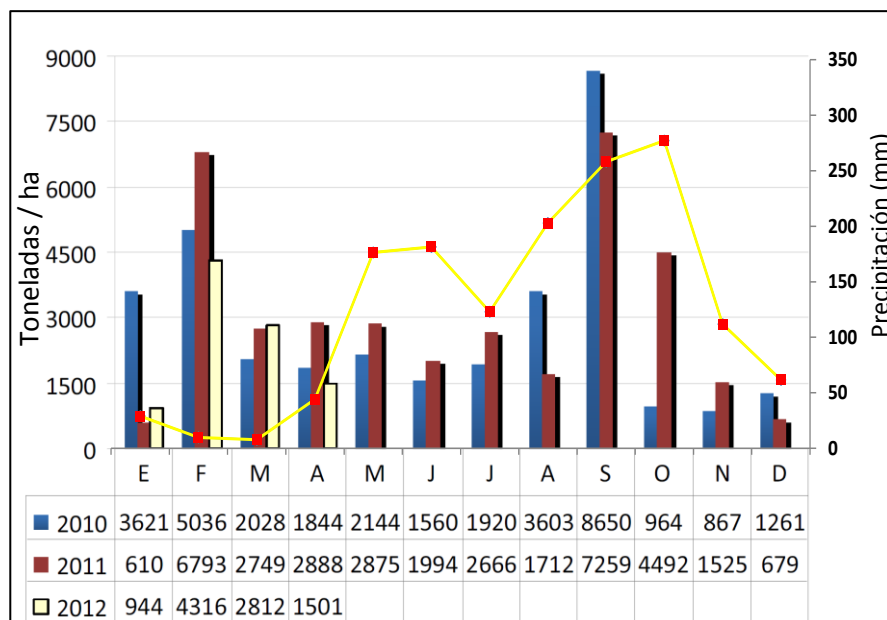
Los valores resaltados tanto en hectáreas como en porcentaje corresponden a las áreas que no sufrieron cambios.

	TRANSICION DE USOS DE 1978 A 1998									
	Bosque		Cultivos		Pasturas		Urbano / Carreteras		Suelo desnudo	
<i>Usos 1978</i>	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
<b>Bosque</b>	840,65	86,79	94,45	9,75	27,90	2,88	0,94	0,10	4,21	0,43
<b>Cultivos</b>	118,74	0,00	446,53	73,66	32,80	5,41	2,29	0,38	5,79	0,96
<b>Pasturas</b>	40,91	32,04	16,02	32,04	70,78	55,42	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Urbano/Carreteras</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,26	90,80	0,00	0,00
<b>Suelo desnudo</b>	4,10	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

	TRANSICION DE USOS DE 1998 A 2005											
	Bosque		Cultivos		Pasturas		Urbano / Carreteras		Suelo desnudo		invernaderos	
<i>Usos 1998</i>	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
<b>Bosque</b>	807,72	80,41	98,99	9,85	88,99	8,86	6,54	0,65	0,34	0,03	0,00	0,00
<b>Cultivos</b>	65,11	11,69	404,18	72,56	61,58	11,05	18,68	3,35	3,03	0,54	4,76	0,85
<b>Pasturas</b>	42,17	32,08	9,42	7,16	79,07	60,14	0,64	0,48	0,00	0,00	0,18	0,14
<b>Urbano/Carreteras</b>	0,02	0,39	2,62	58,25	0,30	6,74	1,41	31,27	0,00	0,07	0,15	3,28
<b>Suelo desnudo</b>	1,59	15,91	4,82	48,24	0,84	8,43	0,49	4,87	2,25	22,55	0,00	0,00

TRANSICION DE USOS DE 2005 A 2011												
<i>Usos 2011</i>	Bosque		Cultivos		Pasturas		Suelo desnudo		Urbano / Carreteras		Invernaderos	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
<b>Bosque</b>	789,82	86,12	71,19	7,76	54,42	5,93	0,61	0,07	0,00	0,00	0,45	0,05
<b>Cultivos</b>	34,09	6,56	448,27	86,20	25,73	4,95	3,06	0,59	3,02	0,58	5,85	1,13
<b>Pasturas</b>	33,95	14,71	73,19	31,71	121,22	52,52	1,79	0,78	0,64	0,28	0,00	0,00
<b>Suelo desnudo</b>	0,02	0,33	3,56	63,24	0,00	0,00	2,05	36,43	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Urbano/Carreteras</b>	3,16	11,38	20,91	75,30	1,17	4,22	0,45	1,62	2,00	7,19	0,05	0,19
<b>Invernaderos</b>	0,36	6,35	4,60	81,75	0,39	6,95	0,00	0,00	0,14	2,40	0,14	2,55

**Anexo 11: Comparación entre patrón de precipitaciones y patrón de producción nacional de cebolla.**



Fuente: Adaptado de SIIM/CNP

Las barras corresponden a producción nacional de cebolla en diferentes años y la línea corresponde al patrón de precipitación en la estación Coop Tierra Blanca.