



Universidad Nacional

Facultad de Ciencias de Tierra y Mar

Escuela de Ciencias Agrarias

Título:

Determinar la factibilidad de la cosecha de agua, en cinco fincas, en la parte alta de la cuenca del río Jesús María, en Llano Brenes de San Ramón de Alajuela

Estudiante:

Roy Ademar Artavia Carmona

Profesores:

Gabriela Soto

Carlos Hernández

Tutor:

Fernando Mojica Betancourt

Año:

2013

Contenido

Introducción	3
Objetivos	5
Objetivo general	5
Objetivos específicos	6
Hipótesis.....	6
Justificación	6
Marco teórico.....	7
Agua y sostenibilidad	8
Cosecha de agua.....	9
Componentes de los sistemas de cosecha de agua	9
Características de la cosecha de agua.....	9
Clasificación de las técnicas de recolección de agua	10
Existen varios tipos de cosecha de agua, puede ser de agua de lluvia o desviando ríos o quebradas:.....	10
Microcaptación.....	11
Cosecha de agua de lluvia	11
Antecedentes históricos de la cosecha de agua de lluvia	12
Contexto nacional con respecto a la cosecha de agua	12
Reservorios para almacenar agua	13
Tipos de reservorios	14
Variables que se deben considerar en la fabricación del reservorio:	14
Aspectos legales sobre los reservorios	17
Los requisitos legales para la construcción de proyectos de cosecha de agua de lluvia	17
Marco metodológico	18
Localización de la zona de estudio	18
Criterios para selección de fincas.....	19
Metodología	19
Resultados	20
Resultados de las características físicas del suelo.....	20
Determinación de las necesidades de riego para los cultivos	22
Diseño de los reservorio.....	24

Discusión	26
Conclusiones	28
Recomendaciones	30
Bibliografía	32
Anexos.....	31

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. FACTORES DEL SUELO Y DEL TERRENO QUE FAVORECEN LA ESCORRENTÍA DE LA LLUVIA POR EL SUELO.	15
CUADRO 2. INDICADORES PARA SELECCIONAR EL ÁREA DE CAPTACIÓN.	16
CUADRO 3. CLASES DE TEXTURA DE SUELO DETERMINADOS EN LAS 5 FINCAS MUESTREADAS, EN LA ZONA DE ESTUDIO, LLANO BRENES DE SAN RAMÓN.	20
CUADRO 4. DATOS PARA CLASIFICACIÓN POR VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA	21
CUADRO 5. DATOS QUE SE PRESENTARON SOBRE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA DE LAS MUESTRAS DE SUELO EN LAS CINCO FINCAS.....	21
CUADRO 6. RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO QUE SE MIDIERON EN EL LABORATORIO DE SUELOS DE LA ECA.	22
CUADRO 7. COEFICIENTE DE LOS CULTIVOS (K_c) DE LOS CULTIVOS A IRRIGAR POR LOS PRODUCTORES DE LAS 5 FINCAS.....	22
CUADRO 8. CICLO DE LOS CULTIVOS QUE DESEAN SEMBRAR LOS PRODUCTORES	22
CUADRO 9. DIFERENTES PORCENTAJES DE EFICIENCIA DE LOS DISTINTOS TIPOS DE RIEGO, QUE SE PUEDEN EMPLEAR.....	23
CUADRO 10. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL REQUERIDO POR LOS CULTIVOS QUE SE PIENSAN SEMBRAR E IRRIGAR POR PARTE DE LOS PRODUCTORES DE LAS 5 FINCAS.....	23
CUADRO 11. CAUDAL REQUERIDO POR EL CULTIVO VERSUS CAUDAL BRINDADO POR LA NACIENTE O POR EL AGUA DE ESCORRENTÍA.....	23
CUADRO 12. SITUACIÓN QUE SE PRESENTA UTILIZANDO UN TIPO DE RIEGO MÁS EFICIENTE (POR GOTEO). 23	
CUADRO 13. NECESIDADES DE RIEGO PARA EL CULTIVO REVISAR	23
CUADRO 14. PRESUPUESTO PARA ELABORACIÓN DE LOS RESERVORIOS.....	25

Índice de figuras

FIGURA 1. CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE AGUA.....	10
FIGURA 2. ESQUEMA DEL DISEÑO DEL RESERVORIO EN GENERAL.....	24

Introducción

“La cosecha de agua se puede entender como una forma muy provechosa de producir agua” (Rodríguez et al. 2010). “La captación de agua de lluvia es considerada como la recolección o cosecha de la escorrentía superficial para propósitos de producción agropecuaria y forestal”(FAO. 2000). “Las prácticas de captación de aguas generadas por las lluvias disminuyen el riesgo de erosión al reducir la escorrentía libre del agua sobre los terrenos”(FAO. 2013). “Los reservorios se pueden construir para almacenar agua de escorrentía proveniente de quebradas y ríos, o para capturar aguas llovidas, lo que se puede definir como cosecha de agua de lluvia” (Rodríguez et al. 2010).

Muchas de las obras históricas de captación de agua de lluvia para uso doméstico se originaron principalmente en Europa y Asia. Parte de la agricultura en estas zonas, se basó en técnicas como derivación de torrentes. En Israel, han sido descubiertos sistemas de captación de agua de lluvia que datan de 4 000 años o más. “En el sur este de Túnez se utilizaron técnicas de microcaptación de agua, para el crecimiento de árboles frutales. Técnicas muy parecidas de cosecha de agua se practicaron por toda una región del sur oeste de los Estados Unidos, noreste de México y en el Altiplano de México Central y Sur”(FAO. 2000).

Bajo la perspectiva del calentamiento global, las alteraciones que ocurren de los patrones climáticos afectarán indudablemente la producción y la productividad agrícola de distintas maneras, de acuerdo con los tipos de prácticas agrícolas, sistemas y periodo de producción, cultivos, variedades, y zonas donde se presentan los impactos de este cambio en las condiciones climatológicas. “El problema de la escasez de agua debido al calentamiento climático, tiende a empeorar en aquellas regiones en las que ya se presentan déficit, sea por la tendencia de reducción de los niveles de precipitación o por el aumento de los niveles de evaporación y transpiración. De esta manera, el problema en muchas de las regiones de América Latina y El Caribe, podría extenderse y agudizarse, alcanzando y afectando zonas actualmente subhúmedas y húmedas” (FAO. 2013).

Según la ONU, “alrededor de 1 500 millones de personas en todo el mundo sufren directamente el impacto de la degradación del suelo, y al menos, doce millones de hectáreas de tierra se vuelven improductivas por causa de la desertificación”, el cambio climático agrava los efectos cada vez más por ello se pretende incentivar y fomentar técnicas de cosecha de agua, las cuales disminuyen el impacto negativo para el suelo y de paso se aprovecharían las diferentes fuentes de agua disponibles.

Las técnicas de captación de agua de lluvia desempeñaban un papel importante en la producción agrícola y la vida en general en las zonas áridas y semiáridas en diversas partes del mundo(FAO. 2000).

En América Latina y el Caribe, su utilización aún es limitada. Debido a esto, los gobiernos y comunidades buscan estrategias y unifican esfuerzos para enfrentar la creciente demanda, de ahí

la urgencia de masificar la cultura del buen aprovechamiento del recurso. El almacenamiento de agua en reservorios es de suma importancia para la producción de cultivos rentables en una región donde hay escasez de la misma. Además, la represa tiene su utilidad en el uso doméstico, como abrevadero para el ganado, o en otros beneficios. Esta práctica de elaboración de reservorios de agua, en Costa Rica puede resultar de gran beneficio para algunas regiones en donde se presenta escases de agua principalmente en época de verano, por ejemplo para las regiones Chorotega, Huetar Norte y algunas zonas del Pacífico Central, entre otras (Rodríguez et al. 2010).

Tomando en cuenta las visiones anteriores se plantea como objetivo principal de esta investigación. Determinar la factibilidad de la cosecha de agua en cinco fincas ubicadas en la parte superior de la cuenca del río Jesús María que satisfaga los requerimientos hídricos de los cultivos.

También se analizará la cosecha de agua, actividad de suma importancia en estos momentos, donde el agua escasea cada vez más y por consiguiente se cuenta con menor disponibilidad, para utilizarla en riego a cultivos o en bebederos para animales, por lo que se presenta la opción de cosechar o captar el agua ya sea de lluvia o de nacientes.

Se desarrollará todo lo referente a proyectos de elaboración de reservorios para la cosecha de agua de en la parte alta de la cuenca del río Jesús María, en Llano Brenes, San Ramón de Alajuela. Este trabajo se realizará en conjunto con la Comisión Asesora sobre Degradación de Tierras (CADETI), la cual es parte del Ministerio de Ambiente Energía y Telecomunicaciones (MINAET).

Objetivos

Objetivo general

- Determinar la factibilidad de la cosecha de agua en cinco fincas ubicadas en la parte superior de la cuenca del río Jesús María, en San Ramón, mediante análisis físicos del suelo, y mediciones de caudales, que satisfagan los requerimientos hídricos de los cultivos.

Objetivos específicos

- ✓ Diagnosticar las propiedades físicas del suelo (textura, porosidad total, densidad aparente, densidad de partículas y conductividad hidráulica) por medio de pruebas apropiadas que indiquen los sitios idóneos para la cosecha de agua.
- ✓ Determinar las fuentes de agua existentes en las fincas en estudio y el potencial que mantenga el espejo de agua requerido para el riego de los cultivos.
- ✓ Identificar los materiales idóneos para la construcción del reservorio de acuerdo con las condiciones de sitio y la oferta del mercado.
- ✓ Plantear el diseño para la creación de los reservorios factibles en cada una de las fincas en estudio.
- ✓ Determinar la viabilidad financiera de la construcción de los reservorios, mediante un presupuesto acorde con el momento en que se desarrolle el proyecto.

Hipótesis

Existen cinco áreas para la construcción de los reservorios de agua con la capacidad de captación de la escorrentía para riego en las cinco fincas ubicadas en la parte superior de la cuenca del río Jesús María, San Ramón de Alajuela.

Justificación

Costa Rica como país miembro de la Organización de la Naciones Unidas (ONU) y firmante de la

“Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación en los países Afectados por Sequía Grave o Desertificación en particular en África”. En cumplimiento de las obligaciones de implementación de la Convención, elaboró el Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Degradación de la Tierra en Costa Rica (PAN), por parte de la Comisión Asesora sobre Degradación de Tierras (CADETI); en el cual, están los lineamientos técnicos básicos para la implementación de la Ley de Uso, Manejo y Conservación de Suelos (La Gaceta 120. 2009).

El CADETI, definió como área piloto la cuenca del río Jesús María para la ejecución de los 27 proyectos que en este momento se están iniciando. Esta cuenca de 36 000 km², ha sido dividida en 3 partes; parte alta, parte media y parte baja. Una de las estrategias para el trabajo en la cuenca, es la elaboración de reservorios para la cosecha de agua.

En este proyecto, se trabajará en la parte alta de la cuenca del río Jesús María, la cual da inicio en la división entre Palmares y San Ramón hasta el río Jesús de San Ramón, pasando por el río Brenes y Berlín, en San Ramón de Alajuela, en la elaboración de reservorios para la cosecha de agua de lluvia.

En Costa Rica el uso de tecnología de cosecha de agua de lluvia ha sido utilizado principalmente en las zonas más secas del país. En producciones pecuarias de la región Chorotega, como abrevaderos para el ganado, y también los productores de arroz han establecido sistemas que les permite la recolección de agua durante el invierno, para ser utilizados posteriormente como riego en “los veranillos” o durante la estación seca. Este estudio en cosecha de agua, será pionero en la Cuenca Alta del Río Jesús María.

Marco teórico

El marco teórico sustentará cada uno de los asuntos propuestos en esta investigación, sobre la relevancia de la cosecha de agua mediante reservorios, en este caso en la parte alta de la cuenca del río Jesús María.

Según la FAO (2000), “La captación de agua de lluvia está definida como la recolección de escorrentía superficial para su uso productivo”. “Los sistemas de captación y del aprovechamiento del agua de lluvia han sido, son, y serán la base para el desarrollo sostenible de los recursos naturales y el bienestar de la humanidad” (Ventura et al. S.f).

Agua y sostenibilidad

Según la UNESCO (2003), “La escasez de agua es un problema que aqueja a muchas regiones y personas en el mundo. La tierra, con sus diversas y abundantes formas de vida, que incluyen a más de 6.000 millones de seres humanos, se enfrenta en este comienzo del siglo XXI con una grave crisis del agua”. El agua es un recurso vital para la producción vegetal y animal. Los seres vivos están más adaptados a sobrevivir con escasez de alimentos que con falta de agua (FAO. 2013).

El agua, ha sido, es y seguirá siendo uno de los recursos naturales renovables más importantes para el desarrollo de la humanidad. El agua es el elemento fundamental en las funciones metabólicas que realizan los seres vivos del planeta. El agua de lluvia representa un regalo de la naturaleza que se debe de aprovechar de forma integral, es el componente más importante en el ciclo hidrológico. Se dice un milímetro de lluvia equivale a un $1\text{L}/\text{m}^2$, lo cual indica el enorme potencial que el ser humano tiene en este recurso natural para su desarrollo integral y sostenible (Anaya. 1998).

A pesar de las enormes cantidades de agua en el mundo, esta no está disponible para todos los pueblos sedientos. Se estima que una tercera parte de la población mundial carece de agua potable. Los porcentajes de la reserva en agua dulce; el 69,6% se encuentra en forma de hielo y nieve, el 30,15% se encuentra como aguas subterráneas, en lagos y pantanos se encuentra el 0,29%, el agua contenida en la atmosfera 0,04% y finalmente le agua en los ríos corresponde a 0,006% (Anaya. 1998).

El agua en la actualidad es una mercancía con un incalculable valor y su escasez provoca grandes pérdidas en la producción cada año (Medina et al. 2012). Según Anaya (1998), una persona necesita $30\text{ m}^3/\text{año}$, para una calidad de vida aceptable, en Malasia la disponibilidad de agua es menor a $1\text{m}^3/\text{año}$, y pagan alrededor de \$20, mientras que en Estados Unidos Y Canadá hay un consumo percapita de $200\text{ m}^3/\text{año}$ y pagan solamente \$ 0,25 por cada m^3 . Por lo que la disponibilidad del recurso y su valor es muy variable a nivel mundial, siendo los países más pobres los más afectados con la escases de agua y de dinero para poder adquirir agua de buena calidad para mantener una vida de regular calidad.

El consumo per-cápita de agua en Costa Rica es de aproximadamente $156\text{m}^3/\text{año}$. El valor del metro cúbico de agua potable cuesta ₡ 330, aproximadamente \$ 0,65 (Rivera S.f y Segura et al. 2004).

Las instituciones responsables del recurso hídrico en Costa Rica son el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), Servicio Nacional de Aguas subterráneas Riego y Avenamiento (SENARA) y Acueductos y Alcantarillados (AyA) el Ministerio de Salud (MS), la Secretaría Técnica Nacional

Ambiental (SETENA), Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y las Municipalidades (Morales et al, 2010 y Rivera S.f).

Pero la protección y conservación del uso de cuencas hidrográficas y sistemas hídricos, le corresponde al Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) del Ministerio de Ambiente Energía y Telecomunicaciones (MINAET)(Castro y Jiménez. 2010).

El agua disponible, si no es aprovechada inmediatamente o almacenada para uso posterior, fluye hacia fuera de la zona de interés y alcance del agricultor y su familia, pasando a otras fases y componentes del ciclo hidrológico(FAO. 2013). Por lo cual es muy importante poder cosechar o captar el agua en reservorios para su posterior uso y que no se pierda o salga del alcance del agricultor y pierde su potencial como fuente para riego, para bebederos del ganado u otros usos domésticos que se le puede dar.

Cosecha de agua

Según la FAO, “La captación de agua puede ser considerada como una forma rudimentaria de riego”.La cosecha de agua se debe entender como la captación del agua de lluvia o de otra fuente en un sitio o suelo determinado, evitando su escurrimiento y pérdida innecesaria. Esto con el propósito de recoger, almacenar y conservar escorrentía local y superficial para la agricultura en regiones áridas y semiáridas principalmente, realizando su cosecha en algunas obras de captación construidas para este fin (Orsag. 2010 y Mongil y Martínez de Azagra. 2007).

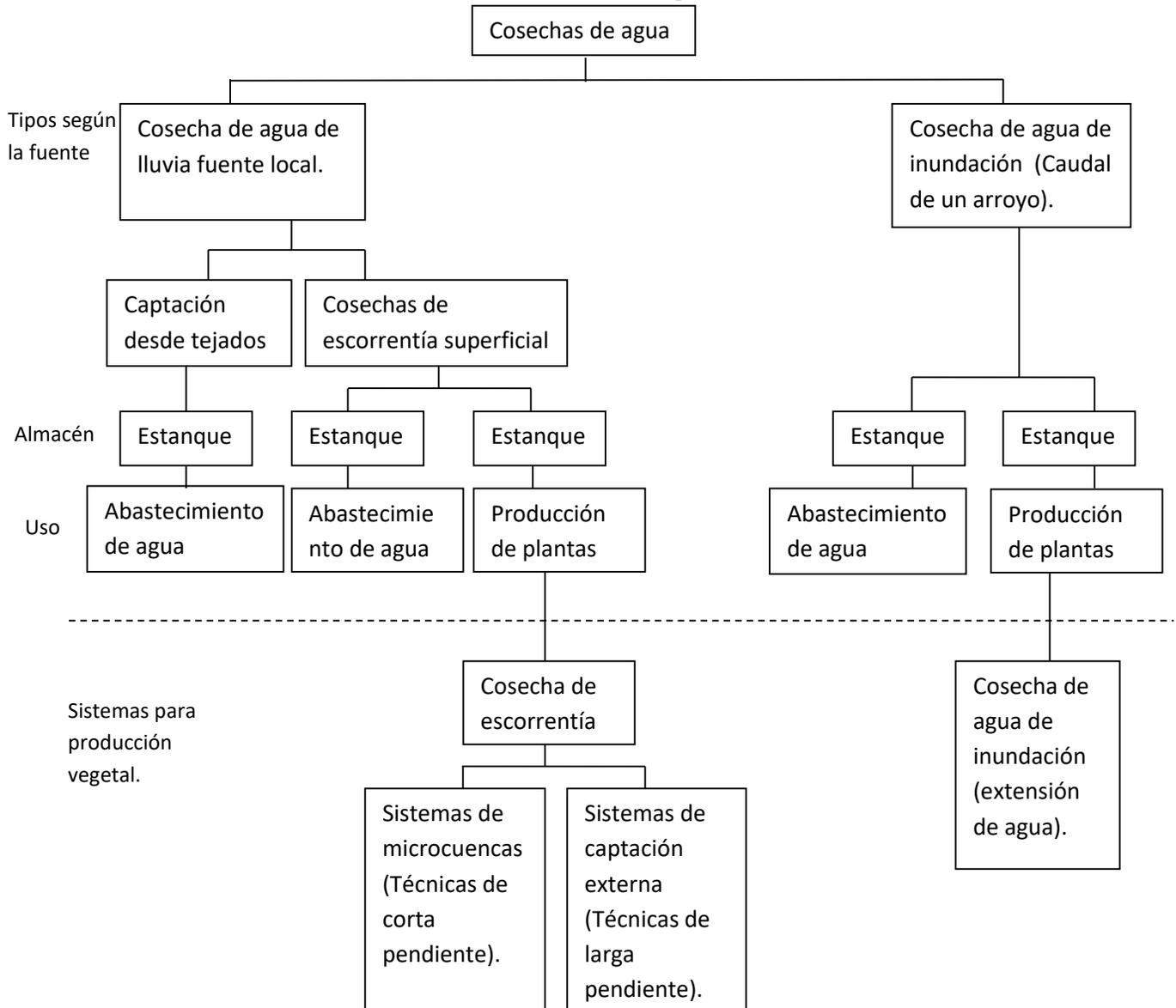
Componentes de los sistemas de cosecha de agua

- 1) El área de captura, en donde se recolecta el agua para ser transportada hasta el reservorio.
- 2) El área de almacenaje o reservorio (reservorio artificial, perfil del suelo, acuíferos subterráneos).
- 3) El área objetivo o de uso del agua (agricultura, uso doméstico o industrial) (Rodríguez et al. 2010).

Características de la cosecha de agua

- Son aplicadas en zonas áridas y semiáridas, donde la escorrentía tiene un carácter intermitente.
- Dependen de agua de origen local, como puede ser la escorrentía superficial, el caudal de un arroyo, o de un manantial efímero.
- Son proyectos a pequeña escala, en cuanto al área de captación, al volumen de almacenamiento y al capital invertido (Mongil y Martínez de Azagra. 2007).

Clasificación de las técnicas de recolección de agua



Fuente: Mongil y Martínez de Azagra. 2007.

Figura 1. Clasificación de las técnicas de recolección de agua.

Existen varios tipos de cosecha de agua, puede ser de agua de lluvia o desviando ríos o quebradas:

Derivación de manantiales y cursos de agua mediante bocatomas; consiste en la derivación y captación de manantiales y cursos de agua establecidos (nacientes, arroyos, embalses) (Rodríguez et al. 2010).

Captación de agua de lluvia de techos y otras estructuras impermeables; consiste en captar el agua de la precipitación proveniente de los techos y superficies impermeables o poco permeables,

dirigirla por tuberías y almacenarla en cisternas, piletas, zanjas y pequeñas lagunas para su posterior uso (Anaya. 1998).

Microcaptación;consiste en captar la escorrentía superficial generada dentro del propio terreno de cultivo, en áreas contiguas al área plantada (Salinas. 2010).

Macrocaptación:Consiste en captar la escorrentía superficial generada en áreas más grandes, ubicadas contiguas al cultivo (macrocaptación interna) o apartadas del área de cultivo (macrocaptación externa), para hacerla infiltrar en el área de cultivo y ser aprovechada por las plantas (FAO. 2013).

Algunas de estas técnicas de cosechas de agua se han establecido tradicionalmente en puntos concretos del planeta situados en zonas muy castigadas por el clima (con escasísimas precipitaciones) y por ello muy empobrecidas (Mongil y Martínez de Azagra. 2007).

Microcaptación

Los sistemas de microcaptación de agua de lluvia para cultivos anuales y perennes se conocen también como sistemas de captación in situ, y que para su establecimiento es necesario obtener información sobre la cantidad y distribución de la lluvia en el año, la capacidad de almacenamiento de agua en el perfil del suelo, las necesidades hídricas del cultivo a explotar y considerar los recursos con que se cuenta para establecer el sistema de captación in situ que mejor se adapte a las condiciones del área de trabajo (Ventura et al. S.f).

Cosecha de agua de lluvia

“Como técnica de captación y aprovechamiento de agua de lluvia se entiende la práctica capaz de, individualmente o combinadas con otras, aumentan la disponibilidad de agua en la finca, para uso doméstico, animal o vegetal”. Por lo general, son técnicas mejoradas de manejo de suelos y agua, de manejo de cultivos y animales, así como la construcción y manejo de obras hidráulicas que permiten captar, derivar, conducir, almacenar y distribuir el agua de lluvia de la mejor forma dentro de los distintos subsistemas de la unidad productiva (FAO. 2013).

La falta de fuentes de agua permanentes y de buena calidad, acompañado de la variabilidad pluvial interanual y además experiencias muy ingratas en la provisión de agua a la producción agropecuaria en años muy secos, han desafiado al hombre a desarrollar sistemas de captación de agua que le generen mayor autonomía en la gestión de un recurso tan esencial en la producción agropecuaria como lo es el agua (Harder. 2012).

Se conoce una amplia variedad de técnicas sobre captación de agua de lluvia de diferentes fuentes (precipitación, niebla, nieve), con diferentes técnicas y para diferentes usos (FAO. 2000).

Antecedentes históricos de la cosecha de agua de lluvia

La recolección de agua para el consumo humano o animal es una actividad tan antigua como el hombre. Muchas de las obras históricas de captación de agua de lluvia para uso doméstico se originaron principalmente en Europa y Asia. Es muy posible que las primeras formas de recoger el agua fueran simples hoyos excavados en la roca, que captarían y almacenarían la escorrentía producida durante las tormentas. Por lo que estas técnicas de captación de agua de lluvia desempeñaron un papel importante en la producción agrícola y vida en general de las poblaciones antiguas (Mongil, Martínez de Azagra. 2007 y FAO. 2000).

En la actualidad países como Brasil, Israel, México, Estados Unidos, India, China, entre otros, utilizan sistemas de captación de agua lluvia para la producción (Medina et al. 2012). Las cosechas de agua son más practicadas intensamente en las zonas áridas de muchos países para cultivos agrícolas (Mongil y Martínez de Azagra. 2007).

Los sistemas de captación de agua lluvia se plantean como una alternativa de producción tecnológicamente no compleja y ecológicamente viable (Medina et al. 2012). Los sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia ayudan a resolver los problemas de abastecimiento para su uso doméstico y riego (Salinas. 2010).

La circunstancia de que las prácticas y obras de captación de agua de lluvia sean poco costosas, las hace accesibles a los productores rurales de bajos ingresos que predominan en la agricultura de secano de las zonas semiáridas de América Latina y El Caribe. Por ese motivo el aumento de rendimientos que pueden generar estas prácticas, debe considerarse no sólo como un medio realista y práctico para obtener el aumento de producción, sino también para lograr el alivio de la pobreza de los productores rurales de esas zonas, los cuales están necesitados de más opciones para cultivar y ser más eficientes, ya que desean seguir en la producción agropecuaria (FAO. 2000).

Contexto nacional con respecto a la cosecha de agua

En Costa Rica, algunas regiones presentan déficit hídrico en ciertas épocas del año en cuanto a precipitación. Esta situación propicia la realización de un esfuerzo con tal de analizar las posibilidades existentes de suplir las necesidades de agua con fuentes alternativas, en este caso la cosecha de agua de lluvia (Rodríguez et al. 2010).

De acuerdo con los siguientes criterios (Variación en la estacionalidad de las lluvias, meses secos que presentan, régimen de la precipitación, tipo de producción de la región y evaporación) y las experiencias en el campo, técnicos del MAG, definieron seis áreas prioritarias en las cuales el gobierno de la República deberían iniciar acciones, en pro de incentivar la tecnología de elaboración de reservorios de agua. Estas regiones prioritarias son:

- Región Chorotega: toda la región Chorotega exceptúa el Distrito de Riego Arenal Tempisque.
- Región pacífico central: Cóbano, Paquera, Jicaral, Guacimal, Chomes, Isla Chira, Sardinal, Esparza, Orotina y San Mateo.
- Región Huetar Norte: algunas partes del cantón de los Chiles, Cutris y Pocosol de San Carlos.
- Región Central Occidental: Zarcero
- Región Central Sur: Puriscal
- Región Central Oriental: Oreamuno y el Guarco (Morales et al. 2010).

En Costa Rica, el uso de la tecnología de cosecha de agua de lluvia se ha utilizado, principalmente, en producciones pecuarias en la región Chorotega, donde los ganaderos construyen abrevaderos, con el fin de brindar agua a los animales en los meses más secos. También algunos productores de arroz han establecido sistemas que les permite la recolección de agua en invierno, para utilizarla posteriormente en arroz con riego en las sequías que se presentan también en la época seca (Rodríguez et al. 2010 y Morales et al. 2010).

Reservorios para almacenar agua

El almacenamiento de agua en reservorios permite tener, al productor agropecuario un suministro de agua de buena calidad en la estación seca o durante las sequías o veranillos que se presentan en la estación lluviosa (Salinas. 2010).

La captación de agua de lluvia está basada en el uso de la escorrentía, y entonces se caracteriza por tener un área para producir la escorrentía y un área para recibir esta escorrentía. Las técnicas de captación de agua de lluvia se clasifican en tres categorías básicas:

1. Microcaptaciones o captación dentro del sistema
2. Sistemas de Captación Externa
3. Sistemas de Inundación derivación y distribución (FAO. 2000).

Las características principales de los sistemas de captación son:

- Captación de aguas de escorrentía superficial, laminar y de arroyos.
- Escorrentía superficial almacenada en el perfil del suelo.
- Área de captación varía desde los 30 los 200m de radio.
- Se requiere de suficiente superficie para ubicar las áreas de captación, almacenamiento y siembra.
- La relación de captación/área de cultivo, usualmente de 2:1 a 10:1 (Rodríguez et al. 2010).

Los principales componentes de un sistema de captación de agua son:

- El área de captura, en donde se recolecta el agua para ser transportada hacia el reservorio hacia el reservorio.
- El área de almacenaje o reservorio.
- El área objetivo o de uso del agua, agropecuario (Salinas. 2010).

Tipos de reservorios

Los principales tipos de reservorios aplicables a las diferentes zonas de Costa Rica son:

- Reservorios dique-represa, con algunas variantes:
 - Reservorios Dique-Represa
 - Reservorios Dique-Represa con revestimiento
 - Reservorios Dique-Represa con gaviones.

- Reservorios Excavados, con algunas variantes:
 - Reservorio excavado
 - Reservorio excavado con revestimiento.

- Reservorio estanque, con las siguientes variantes:
 - Reservorio estanque
 - Reservorio estanque con revestimiento
 - Reservorio envase
 - Reservorio dique escalonado (Salinas. 2010) y (Rodríguez et al. 2010).

Variables que se deben considerar en la fabricación del reservorio:

Topografía

La ubicación ideal para un reservorio es una depresión natural ancha y plana con una garganta estrecha en el extremo inferior, que permita embalsar el agua con una represa transversal. Se debe ubicar el punto en donde se pueda represar la mayor cantidad de agua, con profundidad suficiente y realizando el mínimo movimiento de tierra. Para estanques excavados se escogen áreas planas, tomando en cuenta que por cada metro cúbico de agua almacenada, es preciso excavar y retirar un metro cúbico de tierra (Salinas. 2010).

Precipitación

La precipitación es la primera fuente que el agricultor debe contabilizar como agua disponible en su finca. La precipitación tiene duración (tiempo total de precipitación), intensidad (volumen de precipitación por unidad de tiempo) y frecuencia (el número de precipitaciones en un tiempo dado y con determinadas características) (FAO. 2013).

La precipitación es uno de los factores que se debe analizar para definir si es, o no factible realizar obras de captación. La tarea más difícil es seleccionar el diseño apropiado de acuerdo a la lluvia (FAO. 2000).

El agua que se precipita en forma de lluvia, puede tomar los siguientes caminos:

- Quedar depositada en la superficie vegetal
- Alcanzar la superficie del suelo e infiltrarse
- Alcanzar la superficie del suelo y escurrir.

Frecuencia: es la periodicidad media estadística en años en que pueden presentarse eventos de características similares en intensidad y duración (Anaya, 1998).

La duración y la intensidad: la intensidad y la duración de un chubasco exceden la capacidad de almacenaje de agua del suelo. Son importantes porque la escorrentía ocurre sólo después de exceder un cierto límite (FAO. 2000).

La lluvia de diseños la cantidad de lluvia estacional en la cual, o arriba de la cual, el sistema está diseñado para proveer escorrentía superficial suficiente para cubrir el requerimiento de agua de los cultivos. Si la lluvia es inferior a esta lluvia de diseño, hay un riesgo de fracaso del cultivo debido a estrés por humedad. Cuando la lluvia es superior, entonces la escorrentía superficial está en excedente y podría sobrepasar los bordos y pues resultar en un daño a las estructuras (FAO. 2013).

La mejor manera de establecer una relación lluvia-escorrentía superficial es midiendo simultáneamente ambas en el mismo lugar donde se va a realizar la captación (FAO. 2013).

Cuadro 1. Factores del suelo y del terreno que favorecen la escorrentía de la lluvia por el suelo.

Factores del suelo o terreno	Favorecen la escorrentía
Textura	Limosa; arcillosa, estructura masiva.
Estructura	Compactada o masiva, baja macroporosidad, agregados poco estables.
Porosidad	Predominio de microporos con poca macroporosidad.
Presencia de horizontes muy permeables	No es favorable.
Presencia de horizontes poco permeables	Es favorable
Materia Orgánica	Pobres en contenido.
Presencia de rastrojo	No favorable.
Presencia de cobertura vegetal viva	Poca o rala.
Uniformidad de la superficie	Superficie lisa y uniforme.
Pendiente	Elevada

Longitud de la pendiente	Entre más larga mejor.
Área de captación, cuenca	Montañosa, suelos delgados.

Fuente: FAO. 2013.

Suelos

Las propiedades físicas del suelo afectan la escorrentía del agua. Idealmente el suelo en el área de captación debería tener un coeficiente de escorrentía superficial alto, mientras el suelo en el área cultivada debería ser profundo, fértil y suficientemente permeable (FAO. 2000).

Los suelos del área de captación deben ser impermeables para producir la mayor escorrentía superficial posible (FAO. 2013).

Cuadro 2. Indicadores para seleccionar el área de captación.

Suelo	Poco permeable Rocoso Superficial (Perfil delgado) Arcilloso con estructura masiva Pobre en materia orgánico
Terreno	Inclinado Superficie difícil para cultivar.

Fuente: FAO. 2013.

Textura: se refiere a su composición en tamaños de las partículas minerales que lo componen, lo que tiene influencia sobre diversas características importantes, incluyendo la velocidad de infiltración y la capacidad de retención de agua disponible (FAO. 2000). Se prefieren texturas arcillosas para la construcción de los estanques, ya que la compactarse adquiere cierta impermeabilidad y estabilidad, sin embargo con la implementación de geomembranas, pueden construirse en suelos con texturas francas y arenosas.

Estructura: se refiere a la forma y consistencia del agrupamiento de las partículas de suelo en agregados y al arreglo de estos agregados (FAO. 2000).

Los suelos arcillosos con formas de estructura masiva y alta cohesión suelen ser poco permeables y pesados para labores manuales y pueden ser destinados a áreas de captación de agua de lluvia. Por otro lado, los suelos con textura arenosa (>85% de arena), debido a su baja capacidad de retención de agua y elevada permeabilidad, no se adapta como área de captación (FAO. 2013).

Profundidad del perfil del suelo: este parámetro es particularmente importante para el sistema de captación de agua de lluvia. Los suelos profundos tienen la capacidad de almacenar más escorrentía superficial captada, mientras que los suelos con menos de un metro de profundidad son poco apropiados para la captación de agua de lluvia (FAO. 2013).

Si el reservorio se llena con agua de escorrentía, lo idóneo es que esta provenga de pastizales cercanos, con buena cobertura, con el propósito de reducir el arrastre de sedimentos hacia el reservorio (Salinas. 2010).

Escorrentía

La cosecha y almacenamiento de agua con diferentes prácticas de conservación de suelos y otro tipo de obras complementarias es fundamental, no solo para contar con mayores cantidades de agua para diferentes usos, sino también, para evitar la erosión de los suelos (Orsag. 2010).

Las prácticas de captación de lluvia disminuyen el riesgo de erosión al reducir la escorrentía libre del agua sobre las tierras. En las zonas tropicales por lo general se producen lluvias intensas, las cuales ocasionan grandes escorrentías que por lo general causan inundaciones y erosión sobre las tierras (FAO. 2000).

La ocurrencia y cantidad de la escorrentía superficial dependen de las características de la precipitación, clima, suelo, vegetación, pendiente y tamaño del área (FAO, 2000).

Aspectos legales sobre los reservorios

En Costa Rica los responsables de la protección y conservación del uso de cuencas hidrográficas y sistemas hídricos, son las instituciones como:

Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) y a el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET) (MAG. 2010).

Por lo que le corresponde al MINAET disponer y resolver sobre el dominio, aprovechamiento, utilización, gobierno o vigilancia de las aguas de dominio público esto según (Artículo 15 de la Ley de Aguas) (Castro y Jiménez. 2010).

Los requisitos legales para la construcción de proyectos de cosecha de agua de lluvia

1. **Viabilidad ambiental.** A cargo de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA).
2. **Permisos de construcción.** Previa aprobación y vigilancia de la Municipalidad correspondiente.
3. **Concesión de aguas.** Según el artículo 4 de la ley de Aguas, son aguas de dominio privado y pertenecen al dueño del terreno las aguas pluviales que caen en su predio mientras discurren por él. Podrá el dueño, construir dentro de su propiedad, cualquier tipo de reservorio para conservarlas. Cuando se vayan a construir presas a fin de aprovechar en el riego las aguas pluviales o los manantiales será necesario permiso de MINAET.
4. **Regulaciones ambientales.** Las obras o la infraestructura se construirán de manera que no dañen los ecosistemas de humedales.
5. **Regulaciones sanitarias.**
6. **Conservación de Suelos.** La *Ley de Uso, Manejo y Conservación de Suelos* tiene como objetivo fundamental “proteger conservar y mejorar los suelos en gestión integrada y sostenible con los demás recursos naturales, mediante el fomento y la planificación ambiental adecuada” (Castro y Jiménez. 2010)

Marco metodológico

Localización de la zona de estudio

El cantón de San Ramón presenta las coordenadas geográficas medias del cantón están dadas por 10°13'13" latitud norte 84°35'20" longitud oeste. Presenta tres unidades geomórficas, denominadas forma de origen volcánico, de sedimentación aluvial y originada por acción intrusiva. El relieve presenta laderas cercanas a los 30°. La altura de 1057 m.s.n.m(Alpízar. 2007).

La cuenca del río Jesús María es drenada por el río Grande de Tárcoles y su afluente es el río Agua Agria lo mismo que por el río Machuca y sus tributarios las quebradas Calera y Robles (Alpízar. 2007).

La cuenca del río Jesús María da inicio en la división entre Palmares y San Ramón hasta el río Jesús de San Ramón, pasando por el río Brenes y Berlín, en San Ramón de Alajuela.

Criterios para selección de fincas

Las fincas fueron seleccionadas debido a la mayor participación y que mostraron mayor interés estos 5 productores y dueños de las fincas, en el proyecto de manejo integral de la cuenca del río Jesús María, además de que presentan fuentes de agua provenientes de nacientes en su mayoría o bien de agua de lluvia, por lo que les facilita e interesa formar parte del proyecto de creación de reservorios para almacenar agua para riego en la época seca principalmente.

Metodología

Se realizó el muestreo del suelo en cada una de las fincas seleccionadas, se tomaron 10 muestras de cada finca, las cuales se tomaron en zig-zag en el área determinada para la elaboración del reservorio.

Se realizó un diagnóstico de las características físicas del suelo como; la textura, densidad aparente, densidad de partículas y conductividad hidráulica. Estas pruebas se realizaron, en el laboratorio de Suelos de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional. El propósito de estos análisis que se realizaron es determinar las características de cada uno de los suelos encontrados en las cinco fincas seleccionadas, para realizar la cosecha de agua, y con base a los datos que se obtuvieron poder determinar si es necesario incorporar capas de suelo arcilloso que recubran la superficie interior del reservorio de agua, además de ubicar los sitios más apropiados para realizar la cosecha de agua.

Se midió el caudal de las fuentes de agua (nacientes), disponibles en algunas de las cinco fincas (cuatro fincas), para con base en los datos obtenidos, determinar el potencial con que cuenta cada productor en su finca para poder realizar la cosecha de agua. Manteniendo un volumen constante o suficiente para poder realizar el riego de los cultivos que se desean mantener durante la época seca principalmente. También el análisis de los datos meteorológicos, precipitación principalmente, área de captura de escorrentía, intensidad de precipitación y duración. Esto para determinar la escorrentía que se presenta en el área de influencia de la cosecha de agua, ya que en algunas de las cinco fincas (una finca), se pretende cosechar o utilizar esta agua proveniente de la escorrentía, para cosecharla en el microreservorio.

La medición del caudal de las nacientes de agua presentes en cada finca, se realizó mediante la utilización del método volumétrico que consiste en desviar o hacer un solo canal donde se colecta el agua en una mini-represa, posteriormente se coloca una manguera o tubo, la cual descarga el contenido o el caudal de agua en un recipiente, y se toma el tiempo que tarda en llenarse el recipiente. Se debe de conocer el volumen del recipiente. Posteriormente mediante cálculos se determina el caudal, que es el resultado de la división entre el volumen colecta, por el tiempo promedio que tardó en llenarse el recipiente.

Se analizará la opción del uso de geomembranas y de capas de arcilla sobre la superficie interior del reservorio, como materiales que evitan o reducen la infiltración del agua cosechada, de acuerdo a los análisis de conductividad hidráulica, textura del suelo y densidad de las partículas que se obtuvieron en los análisis de los suelos. Esto tomando en cuenta las disponibilidades para su obtención de acuerdo a la oferta del mercado o bien a la facilidad de ingreso de alguno de estos materiales hasta el punto del reservorio.

Se realizó el diseño de cada uno de los reservorios para las cinco fincas respectivamente, principalmente en cuanto a la profundidad con que debe contar cada uno de estos, ya que con respecto al área del reservorio hay un poco de limitaciones con el espacio disponible. Pero de acuerdo a la necesidad de cada cultivo en cada finca, se tomará la decisión de cuenta profundidad a fin de cosechar el volumen adecuado para suplir las necesidades del cultivo durante su ciclo.

Se determinó el costo económico en que se debe incurrir para la construcción del reservorio de agua, con el propósito de que cada productor tenga una idea del dinero que debe invertir en la elaboración de dicho sistema de captación.

Resultados

Resultados de las características físicas del suelo

Cuadro 3. Clases de Textura de Suelo determinados en las 5 fincas muestreadas, en la zona de estudio, Llano Brenes de San Ramón.

Muestra/finca	% de arena	% de arcilla	% de limo	Textura del suelo
1	39,3	41,7	19	Arcillosa
2	55,05	22,2	22,7	Franco-arcillo-arenoso
3	53,3	29,7	17	Franco-arcillo-arenoso
4	35,8	40,9	23,2	Arcillosa

5	48,3	33,4	18,2	Franco-arcillo-arenoso
---	------	------	------	------------------------

En el cuadro 3, se logra observar claramente los contenidos de cada uno tres materiales que componen la textura del suelo, donde los contenidos de arcilla que es el material más importante para analizar en la creación de los reservorios, se encuentran en rango de 22,2% para la muestra 2, que es la de menor contenido de arcilla, mientras que la muestra con mayor contenidos de arcilla es la muestra 1, con 41,7% de arcilla, de acuerdo a estos datos obtenidos de los 3 materiales que contenía cada muestra y su proporción, entonces se determinó la textura del suelo, con la utilización del triángulo de texturas del suelo.

Cuadro 4. Datos para clasificación por velocidad de infiltración de la conductividad hidráulica

Rango (en cm/hora)	Velocidad
0 a 0,13	Muy lenta
0,13 a 0,51	Lenta
0,51 a 2	Moderadamente lenta
2 a 6,3	Moderada
6,3 a 12,7	Moderadamente rápida
12,7 a 25,4	rápida
>25,4	Muy rápida

Fuente: Acevedo et al. 2006.

Cuadro 5. Datos que se presentaron sobre la Conductividad hidráulica de las muestras de suelo en las cinco fincas.

Muestra	Conductividad Hidráulica (cm/hora)	Velocidad de infiltración
	Promedio	
1	0,55	Moderadamente lenta
2	0,47	Lenta
3	0,41	Lenta
4	0,17	Lenta
5	1,76	Moderadamente lenta

En los datos obtenidos de la conductividad hidráulica se logró determinar la velocidad de infiltración que presentaba la muestra de suelo de cada finca, las cuales se encontraban entre un rango de 0,17 en la que tenía menor velocidad de infiltración y 1,76 para la muestra con mayor velocidad de infiltración, los datos determinados para estos datos de infiltración son: velocidad de infiltración lenta y velocidad de infiltración moderadamente lenta.

Cuadro 6. Resumen de las características físicas del suelo que se midieron en el laboratorio de suelos de la ECA.

Muestra	Textura	Densidad aparente	Densidad de partículas	% de porosidad	Espacio aéreo	Conductividad Hidráulica	Velocidad de infiltración
1. José Jiménez	Arcillosa	0,97	1,91	49,22	9,67	0,55	Moderadamente lenta
2. Fernando Alvarado	Franco-arcillo-arenoso	0,67	1,86	63,64	30,50	0,48	Lenta
3. Mainor Herrera	Franco-arcillo-arenoso	1,33	1,80	26,17	26	0,42	Lenta
4. Xinia Pérez	Arcillosa	0,81	1,99	35,14	4,64	0,18	Lenta
5. Karla Pérez	Franco-arcillo-arenoso	0,92	1,87	49,94	15,12	1,76	Moderadamente lenta

Determinación de las necesidades de riego para los cultivos

Cuadro 7. Coeficiente de los cultivos (K_c) de los cultivos a irrigar por los productores de las 5 fincas.

Cultivo	Total promedio
Frijol o vainica	0,65
Tomate y chile	0,70

Fuente: IMN. 2004

Cuadro 8. Ciclo de los cultivos que desean sembrar los productores

Cultivo	Ciclo (Días)
Frijol	100
Tomate	120
Chile	105

Fuente: Allen et al. 2006

Cuadro 9. Diferentes porcentajes de eficiencia de los distintos tipos de riego, que se pueden emplear.

Tipo de riego	Eficiencia (%)
Aspersión o presurizado	70%
Micro aspersión	70%
Goteo	90%
Gravedad	50%

Fuente: Allen et al. 2006

Cuadro 10. Determinación del caudal requerido por los cultivos que se piensan sembrar e irrigar por parte de los productores de las 5 fincas.

Finca	Lámina de agua por día en (mm)	Evapotranspiración (mm)	Módulo de riego $\frac{L}{s} / ha$	Área de cultivo (ha)	Caudal requerido para riego (L/s) de acuerdo al área a irrigar
José Jiménez	4,88	3,17	0,73	1	0,73
Fernando Alvarado	5,14	3,34	0,77	0,5	0,38
Mainor Herrera	5,25	3,67	0,85	0,7	0,59
Xinia Pérez	4,97	3,23	0,75	0,5	0,37
Karla Pérez	5,07	3,55	0,82	0,6	0,49

Cuadro 11. Caudal requerido por el cultivo versus caudal brindado por la naciente o por el agua de escorrentía.

Muestra	Caudal requerido por el cultivo (L/s)	Caudal de la naciente (L/s)	Caudal agua de lluvia por escorrentía
Finca 1	0,73	0,36	
Finca 2	0,38	0,41	
Finca3	0,59		21 L/seg.
Finca 4	0,37	0,41	
Finca 5	0,49	0,14	

Cuadro 12. Situación que se presenta utilizando un tipo de riego más eficiente (por goteo).

Muestra	Caudal requerido por el cultivo (L/s)	Caudal de la naciente (L/s)
Finca 1	0,41	0,36
Finca 5	0,27	0,14

Cuadro 13. Necesidades de riego para el cultivo Revisar

Finca	Intervalo de riego (en días)	Número de veces de aplicación de riego durante el ciclo del cultivo	Volumen del reservorio en m ³
José Jiménez	7	12	466
Fernando Alvarado	8	11	69
Mainor Herrera	7	16	29
Xinia Pérez	8	12	27,2
Karla Pérez	7	17	38,4

Diseño de los reservorio



Figura 2. Esquema del diseño del reservorio en general.

Esta es la figura general de los reservorios, el cual sería de tipo excavado con revestimiento, los cuales se pretenden construir de forma trapezoidal, pero las dimensiones de largo y ancho fueron las que se determinaron con el cálculo de área con el GPS, pero la forma puede variar un poco de acuerdo a las condiciones del área, pendiente, cercanía de la naciente, cercanía con la trocha de ingreso y el volumen captado el cual en algunas no satisface del todo el área a irrigar, durante el ciclo del cultivo.

Este diseño fue elegido principalmente debido a la utilización de geomembrana como material de revestimiento para evitar infiltraciones de agua, también por la facilidad de conseguir ese material en el mercado nacional, por su durabilidad la cual se estima alrededor de 15 a 20 años y principalmente por su facilidad de transporte hasta los lugares de construcción de los reservorios.

Las dimensiones están sujetas al área disponible en cada finca, pero si la profundidad es estándar de 1,60 m con 40 cm del borde del reservorio a donde se encuentra el nivel del agua.

Área estimada en cada una de las fincas para elaboración del reservorio:

Finca 1: José Jiménez, área medida, 291 m²

Finca 2: Fernando Alvarado, área 43 m²

Finca 3. Mainor Herrera, área 18 m²

Finca 4. Xinia Pérez, área 17 m²

Finca 5. Karla Pérez, área 24 m²

Cuadro 14. Presupuesto para elaboración de los reservorios.

Finca	Precio de la hora Backhoe	Cantidad de horas	Costo movimiento de tierra. (₡)	Costo de revestimiento con geomembrana (₡ 4 500/m ²). (₡)	Costo total de la Obra. (₡)
Jose Jiménez	₡ 30 000	39	1 170 000	1 310 000	2 480 000
Fernando Alvarado		6	180 000	195 000	375 000
Mainor Herrera		2,5	75 000	90 000	165 000
Xinia Pérez		2	60 000	90 000	150 000
Karla Pérez		3	90 000	113 000	203 000

Discusión

El presente estudio se realizó con la finalidad de dar a conocer la opción de cosecha de agua y la posterior implementación de reservorios de agua ya sea, de lluvia, de nacientes, arroyos u otras fuentes de agua, para ser utilizados por los cinco productores dueños de las cinco fincas donde se iniciaría la implementación de esta tecnología de cosecha de agua, en esta zona de Llano Brenes de San Ramón. Con el propósito de que los agricultores tengan una fuente de agua disponible durante la época seca, o bien enfrentar los veranillos que se presentan en algunas ocasiones durante la estación lluviosa, de la misma forma ante los posible cambios climáticos que se pueden presentar debido al cambio climático y para poder sembrar cultivos que mejoren los ingresos económicos de sus familias. Como lo indicó (Ventura et al. S.f) “La cosecha de agua presenta gran potencial para mejorar los rendimientos, provee a los agricultores mayor disponibilidad de agua y el aumento en la fertilidad del suelo en algunos ecosistemas”.

Con respecto a los análisis realizados para la determinación de la textura del suelo, se logró observar que la textura de las muestras, en las fincas 1 y 4, corresponden a suelos con texturas arcillosas, por lo se demostró que estos dos suelos presentan altas proporciones de partículas de arcillas, como se muestra en el Cuadro 3 sobre textura del suelo y que las proporciones de contenidos de arcillas en

dichas muestras son de 41,7% y 40,9% respectivamente. Por lo que según (Salinas. 2010 y Rodríguez et al. 2010), “suelos con altos contenidos de arcilla, son los más aptos para la construcción de los reservorios. Pero si los contenidos de arcilla en el suelo son de más de 35% y más aún si son mayores de 40% de arcilla, son perfectos para la construcción de los reservorios y es posible utilizar los reservorios sin revestimiento”.

Además observando los datos de la conductividad hidráulica y velocidad de infiltración nos indican que la infiltración de los suelos de las cinco fincas es lenta o moderadamente lenta, como se puede observar en el cuadro 6, por lo que las pérdidas por agua de infiltración serían pocas, debido a que en su mayoría son suelos con contenidos aceptables de arcilla, los cuales se hinchan y no permiten el paso rápido del agua, como lo indica (Pavez. 2004) “la infiltración de un suelo es la habilidad que tiene este para aceptar agua y permitir el paso del agua a través de él, lo que depende en gran parte por la porosidad. También en los suelos en los suelos muy arcillosos, las partículas de arcilla tienden a hincharse, sellan los microporos y a el agua se le dificulta la infiltración”.

Aunque según (Salinas.2010 y Rodríguez et al. 2010) con que el suelo presente características texturales con contenidos mayores a 35% de arcilla, no es necesario el uso de revestimiento, estos estudios que ellos realizaron fueron en la zona de Guanacaste donde la mayoría de esta zona son llanuras, por eso indican que no es necesario el uso de revestimiento. Pero para este caso del estudio, realizado en la zona de Llano Brenes de San Ramón, lo mejor es que todas las fincas coloquen material de revestimiento como el caso de la geomembrana, en la superficie inferior del reservorio a fin de evitar todo tipo de infiltración del agua, como lo indicó (Perotti. 2004) “para evitar las infiltraciones del agua en el fondo y en los taludes del reservorio, es recomendable proteger con algún tipo de revestimiento ya sea cemento, polietileno, o bien geomembranas”. Ya que al ser una zona tan quebrada con pendientes fuertes, si ocurriera algún tipo de infiltración del agua, se corre el riesgo de que sucedan derrumbes o deslizamientos de tierra, con lo cual se perderían parte de los cultivos y hasta el reservorio, también según (Anaya y Martínez. 2007) “el uso de geomembranas es recomendable para zonas con alta sismicidad”, por lo que es estas zonas de los reservorios es importante su uso debido a lo quebrado del terreno y la alta sismicidad a la que está sujeta todo el país.

En el caso de las otras tres muestras de las fincas 2,3 y 5, la clase textural en donde se ubicaron de acuerdo a los contenidos de arcilla, limo y arena presentes en el suelo, se clasificaron como Franco-arcillo-arenoso. Las cuales poseen contenidos aceptables para establecer en estas fincas reservorios de agua, de igual forma con el uso de geomembranas principalmente, debido a el problema anteriormente mencionado. Porque como lo indica (Salinas. 2010) “Para los suelos muy arenosos, con menos de 20% de arcilla no son adecuados para la construcción de las represas o reservorios”. Pero en estas tres fincas 2,3 y 5, los contenidos de arcilla son de 22,2%, 29,7%, 33,4% respectivamente, como se puede observar en el cuadro 3, por lo que los contenidos de arcilla en estas tres muestras son aceptables para la creación de los reservorios en dichos sitios donde se tomaron las muestras.

Según los resultados obtenidos en el cuadro N. 11 de acuerdo a los cálculos de los caudales de las nacientes y del agua cosechada por la escorrentía, versus los caudales requeridos por los cultivos,

se observa que solamente para la finca 1 y 5 no se cumple con los requerimientos del caudal para los cultivos, pero en estos casos, se toma en consideración solamente caudal de entrada, sin tomar en cuenta la cantidad de agua que ya previamente al inicio del ciclo del cultivo se tiene almacenada en el reservorio, por lo que es un volumen más que ayuda a cumplir o llenar las necesidades del riego del cultivo. También para la estimación de estos caudales requeridos por los cultivos, se tomó el tipo de riego por gravedad el cual es el menos eficiente, con tan solo un 50% de eficiencia del agua de riego, mientras que si se utilizara una tecnología un poco más eficiente como el caso de riegos por goteo, el cual presenta una eficiencia del 90%, los requerimientos del caudal de los cultivos serían menores debido a mejor utilización del agua.

Por lo tanto observando los resultados del cuadro 12. Situación que se presenta utilizando un tipo de riego más eficiente (por goteo), se observó que mediante la sustitución de sistemas de riego por gravedad a sistemas de riego por goteo, para estos dos casos, donde el caudal de las nacientes no cubre del todo el caudal requerido por lo cultivos, se reduce en gran medida las diferencias que se presentaban anteriormente con la utilización de riego por gravedad, las cuales pasarían de -0,37 L/s a -0.05 L/s para la finca 1 y de -0,35 L/s a -0.13 L/s para la finca 5 mediante el uso de riego por gravedad. Por lo que con la utilización de sistemas de riego más eficientes como lo indica (Allen et al. 2006). “eficiencia de riego por gravedad es del 50%, mientras que la eficiencia del riego por goteo es de 90%” se disminuye un poco el volumen de caudal requerido por el cultivo.

Los objetivos que se buscan con la realización de reservorios para la cosecha de agua, son diversos, desde la mejora de las condiciones socio-económicas de las familias, hasta la búsqueda de disminuir los problemas ocasionados por mal manejo de las aguas en las fincas, las cuales muchas veces ocasionan grandes pérdidas de suelo de las capas más fértiles, deslizamientos de tierra y grandes pérdidas de cosechas por falta de agua durante periodos críticos de los cultivos. Como lo indicó (Ventura et al. S.f). “Los objetivos que se persiguen con la realización y utilización de sistemas de microcaptación de agua son: 1) Prevenir y hacer reversible el proceso de degradación originado por la erosión hídrica, 2) Aumentar la eficiencia del uso del agua de lluvia, 3) Reducir el riesgo de pérdida de cosecha por efecto de la sequía, y 4) Incrementar la productividad y el bienestar social”.

Conclusiones

- ❖ Mediante la determinación de las propiedades físicas del suelo, como la textura, porosidad, espacios aéreos y la conductividad hidráulica, se logró ubicar mejor el punto, que contaba con estas características para ubicar el reservorio para realizar la cosecha de agua, ya sea de nacientes o de lluvia, y además estuviera ubicado en un punto de la finca, donde permitiera el riego por la pendiente con respecto al área del cultivo.

- ❖ Se ubicaron las fuentes de agua existentes en las fincas a realizar el estudio, las cuales eran nacientes con un buen volumen de caudal y se midió siempre dejando un poco de volumen de agua de la naciente correr libremente aguas abajo (caudal biológico), ya que esto es parte de la ley, el dejar un cierto porcentaje del agua que corra libremente y no captarla toda, matando todos los ecosistemas que se encuentran siguiendo la cuenca. En dos de las cuatro fincas que contaban con nacientes si se logra mantener de forma optima el caudal de agua que demanda el cultivo, con el agua que se captura de la naciente, mientras tanto en otras dos fincas el caudal del agua captada en la naciente no es suficiente para mantener todo el ciclo del cultivo con riego, pero en estos dos casos se podría optar también por cosecha de agua de lluvia, con lo cual se cubriría de buena manera las necesidades hídricas de los cultivos.
- ❖ Con respecto el análisis de los resultados de los caudales medidos de las nacientes y de los caudales requeridos por los cultivos, se determinó que la finca 1 y 5 no logran cumplir con todo el caudal requerido por el cultivo durante su ciclo.
- ❖ Las fincas 2 y 3 si logran llenar las necesidades hídricas de los cultivos con el caudal que les proporciona las nacientes.
- ❖ Mientras tanto la finca 3, que cuenta con cosecha de agua de lluvia, con el caudal si logra llenar los requerimientos hídricos de los cultivos durante su ciclo. Pero a su vez el área de almacenamiento es muy pequeña para cubrir el requerimiento.
- ❖ Con respecto a los materiales más apropiados para la construcción y revestimiento de los reservorios, se determinó que lo mejor es la utilización de geomembranas para que recubran la superficie interior del reservorio, ya que permiten una mejor facilidad de transporte hasta los sitios donde se tiene previsto las construcción de los reservorios. Además su precio y disponibilidad en el mercado son accesibles, por lo que se presentan como una muy buena opción de implementación.
- ❖ El diseño de los reservorios sería de forma trapezoidal, con ciertas modificaciones de acuerdo a las necesidades de cada productor y características de la finca y zona de construcción, las cuales tendrían pequeños cambios debido a presencia de árboles que no se pueden talar, cercanía del reservorio con la naciente, cercanía del reservorio con calles o trochas de paso.
- ❖ Con relación al presupuesto o costos de elaboración del reservorio están en función del tamaño del área de captación del agua, debido e está área hay necesidad de remover más

cantidad de tierra, se necesita más cantidad de geomembrana o material de revestimiento, y otros costos de la obra. Pero en términos generales el costo de elaboración es accesible.

Recomendaciones

- Alrededor de la estructura es importante sembrar árboles, para evitar los efectos de la evaporación, también, es recomendable establecer una cerca alrededor de la estructura, más aún si hay animales domésticos que puedan dañar el material de revestimiento.
- El material que se use en el interior del reservorio para colocar una capa en el fondo del reservorio en ocasiones para compactar más el terreno y evitar infiltración del agua, debe de ser de textura adecuada, es decir, sin presencia de fragmentos de rocas, libre de materia orgánica y desechos, ya que al descomponerse estos pueden ocasionar fugas o mayor infiltración y posteriormente ocasionar deslizamientos más en esta zona donde la topografía del terreno es muy quebrada.
- Para mejorar la eficiencia con respecto a la utilización del agua para riego, lo recomendable es la utilización de sistemas de riego más eficientes como el caso de riego por goteo, con el cual se aumenta eficiencia, se necesita menor volumen de agua, y se reduce el riesgo de erosión debido a el agua que escurre hacia la zona del cultivo.
- Establecer sistemas de acuicultura durante la época lluviosa, a fin de obtener mayores ingresos económicos para las familias, mientras, el agua del reservorio no está en uso para

riego. Además que representa un beneficio ya que los peces son controladores biológicos de las larvas de los zancudos y otros insectos que se desarrollan en el agua.

Anexos

Anexo 1. Datos meteorológicos de la zona de estudio.

INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL														
Departamento de Información														
PROMEDIOS MENSUALES														
ESTACION	Berlín			No.	84149	Lat. 10° 01' N			Long. 83° 52' O			Altitud 1300 Metros.		
Elementos	Periodos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiem.	Octubr.	Noviem.	Diciem.	Anual
LLUVIA	1997-2007	3,7	20,4	19,7	49,3	328,9	361,9	195,4	281,0	496,2	509,2	151,9	35,4	2453,0
DIAS LLUVIA	1997-2007	1	1	1	3	14	17	12	14	19	20	9	3	114
Lluvia en Milímetros - 1Mm. = 1 Litro por M ² .				Días con lluvia >= a 0,1										
Elaboró: Ærak										Operada por el IMN				

Fuente: Mena, 2013.

Anexo 2. Cuadro sobre los propietarios de las fincas, áreas de las fincas, áreas a irrigar y cultivos a sembrar

Propietarios de las fincas	Área de la finca(ha)	Área a utilizar riego (ha)	Cultivo a sembrar
1. José Jiménez	4,5	1	Frijol

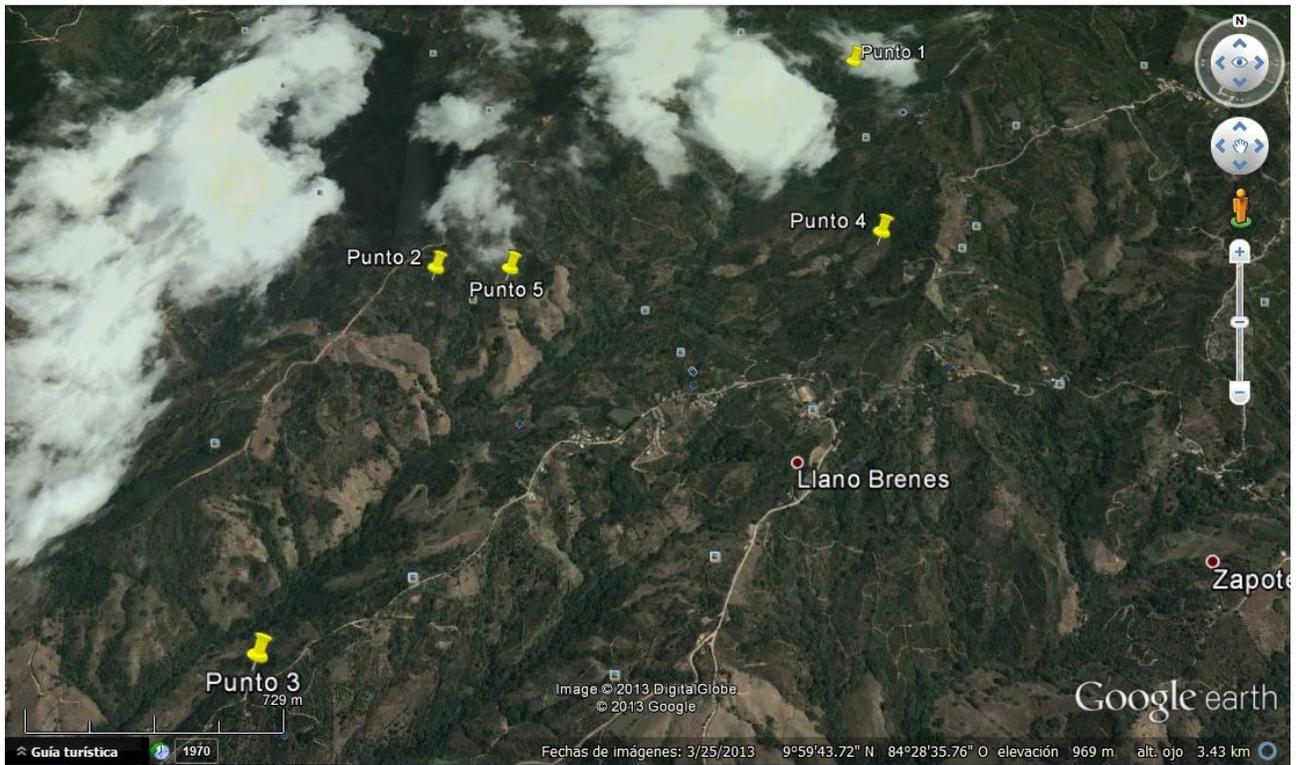
2. Fernando Alvarado	3,5	0,5	Vainica – Frijol
3. Mainor Herrera		0,7	Tomate - Chile
4. Xinia Pérez	1,2	0,5	Frijoles
5. Karla Pérez	2,1	0,6	Tomate - Chile

Anexo 3. Densidad de partículas del suelo **Anexo 4.** Densidad aparente del suelo

Muestra	Densidad aparente (gr/ cm ³)	
	C/d	Promedio
1.1	0,66	0,97
1.2	1,28	
2.1	0,61	0,67
2.2	0,74	
3.1	1,19	1,33
3.2	1,47	
4.1	0,96	0,81
4.2	0,66	
5.1	0,81	0,92
5.2	1,04	

Anexo 5. Porcentaje de Porosidad **Anexo 6.** Espacio aéreo en el suelo

Muestra	% de Porosidad		Muestra	Espacio aéreo	
	C/d	Promedio		C/d	Promedio
1.1	65,45	49,22	1.1	39,05	9,67
1.2	32,98				
2.1	67,72	63,64	2.1	38,44	30,50
2.2	59,56				
Muestra	Densidad de Partículas (gr/ cm³)		3.1	-12,89	-29,38
3.2	C/d	Promedio	3.2	-45,86	
4.1	1,91	1,91	4.1	15,76	4,64
4.2	1,91				
5.1	1,89	1,86	5.1	28,66	15,12
5.2	1,83				
3.1	1,79	1,80	5.2	1,57	
3.2	1,81				
4.1	1,99	1,99	Anexo 7. Ubicación de las fincas mediante puntos con el GPS.		
4.2	1,99				
5.1	1,99	1,87			
5.2	1,75				



Bibliografía

Acevedo W., Taylor J., Hester D., Mladinich C. y Glovac S. (ed). 2006. Rates, trends, causes, and consequences of urban land- use Change in the United States. U.S. Geological survey. California U.S.A. 200 p.

Allen R., Pereira L., Raes D. y Smith M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO, riego y drenaje. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma Italia. 277 p.

Alpízar A. 2007. Historia de San Ramón. Fecha de consulta: 09 de Octubre de 2013. Disponible en: <http://ramonense.blogspot.com/2007/08/historia-de-san-ramon.html> Costa Rica.

Mongil. J y Martínez de Azagra. A. 2007. Técnicas de recolección de agua y de Oasificación para el desarrollo de la agricultura y la restauración forestal en regiones desfavorecidas. Cuadernos Geográficos. 40 (1). 67-80 p.

Anaya M. 1998. Sistemas de Captación de agua de lluvia para uso doméstico en América Latina y El Caribe. Manual técnico. IICA. México. 120p.

Castro R. y Jiménez G. 2010. Identificación de los aspectos ambientales, legales, sanitarios que establezcan regulaciones en cosecha de agua. Ministerio de Agricultura y Ganadería. (MAG) Centro Mesoamericano de Desarrollo Sostenible de Trópico Seco (CEMEDE). Universidad Nacional sede Chorotega. Costa Rica. 51 p.

FAO. 2000. Manual de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. Experiencias en América Latina. Serie Zonas Áridas y Semiáridas No. 13. Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Santiago, Chile. 235 p.

FAO. 2013. Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y El Caribe. Santiago. Chile. 276 p.

Fonseca P. 2007. Cambio climático produciría inundaciones y sequías. Nación.com. Aldea Global. San José, Costa Rica.

Harder. W. 2012. "Captación de agua de lluvia: Herramienta para generar mayor productividad y autonomía en la producción agropecuaria". Seminario Internacional de cooperativas agropecuarias del Cono Sur. Asunción. Paraguay. 6 p.

Instituto Meteorológico Nacional, (IMN). 2004. Manual técnico del departamento de aguas del Instituto Meteorológico Nacional. San José Costa Rica. 19 p.

La Gaceta 120. 2009. Oficialización programa lucha contra degradación de la tierra-2009. Decreto N°35216-MINAET-MAG. San José, Costa Rica. 4 p.

Medina. R; Peña. W y Obando. M. 2012. Sistemas de captación de agua de lluvia para la producción agropecuaria sostenible. Revista Nacional de Administración. Costa Rica. Volumen 3 (1): 107-120 p.

Mena M. 2013. Datos climáticos de la estación meteorológica de Berlín. (Consulta realizada vía web) Instituto Meteorológico Nacional. Fecha de consulta: 05 Noviembre de 2013. San José Costa Rica.

Morales D., Rodríguez R., Obando L., Salinas A., Toruño H. y Castro R. 2010. Propuesta de estrategia nacional de desarrollo de las opciones técnicas para la cosecha de lluvia y su utilización en sistemas de riego. Centro Mesoamericano de Desarrollo Sostenible de Trópico Seco (CEMEDE). Universidad Nacional sede Chorotega. Costa Rica. 61 p.

Orsag. V. 2010. El recurso suelo principios para su manejo y conservación. Universidad Mayor de San Andrés. Bolivia. 489 p.

Pavez A. 2004. Análisis del comportamiento temporal del contenido de humedad, en suelos sometidos a obras de conservación (Zanjas de infiltración y subsolados), en áreas de las regiones VI, VII, VIII. Universidad de Talca. Escuela de Ingeniería Forestal. Talca, Chile. 108 p.

Perotti L. 2004. Construcción de un reservorio de agua. Proyecto de mejoramiento de Poroto Pallar en fincas de pequeños productores de los valles Calchaquíes de Salta. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Argentina.

Rivera N. S.f. La Situación de Manejo de Cuencas en Costa Rica. Comisión Nacional de Emergencias. (CNE). Costa Rica. 29 p.

Rodríguez R; Morales D; Morris H. 2010. "Compendio con información de las opciones técnicas de cosecha de agua aplicadas a nuestro medio" Nicoya, Universidad Nacional- CEDEME. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Costa Rica. 39 p.

Salinas A. 2010. Manual de especificaciones técnicas básicas para la elaboración de estructuras de captación de agua de lluvia (Scall) en el sector agropecuario de Costa Rica y recomendaciones para su utilización. Nicoya. Universidad Nacional- CEMEDE. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Costa Rica. 96 p.

Segura O., Miranda M., Astorga Y. Solano J., Salas F., Gutiérrez M., Dierckxsens M., y Céspedes M. 2004. Agenda ambiental del agua en Costa Rica. San José Costa Rica. 120 p.

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). 2003. Water for people, water for life. Executive Summary of the UN World Water Development Report. UNESCO, Paris, France.

Ventura E., Acosta A., Domínguez M. y Ward K. S.f. Captación de agua de lluvia. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Querétaro. México. 32 p.

Villalobos R., Retana. J. 2010. Efecto del Cambio Climático en la Agricultura. Experiencias en Costa Rica. Gestión de Desarrollo. Instituto Meteorológico Nacional. San José, Costa Rica. 2 p.