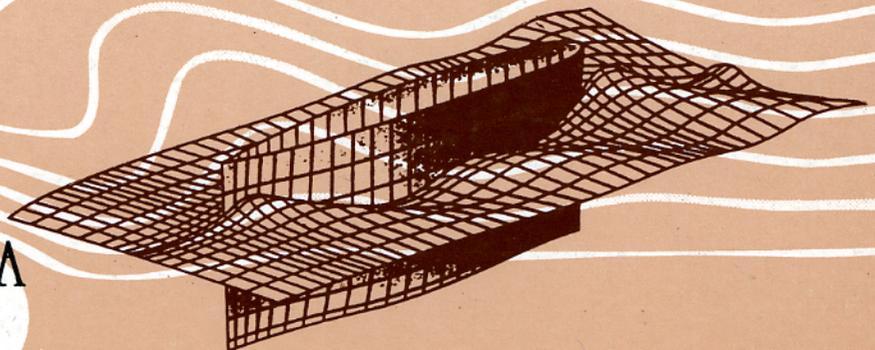
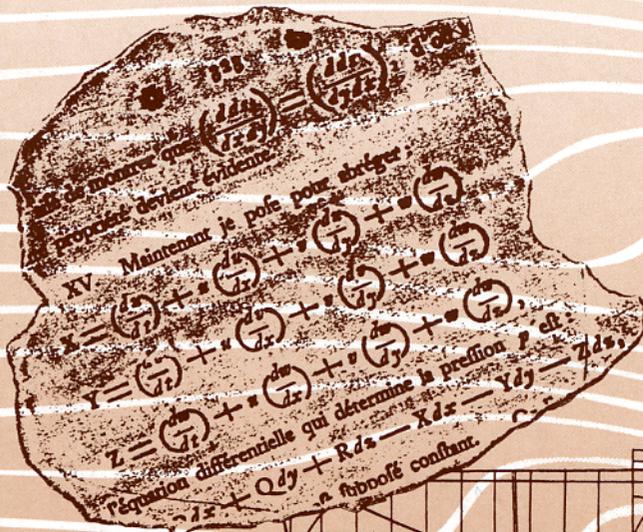


Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica
JULIO/DICIEMBRE 1993 VOLUMEN 3 No. 2



INGENIERIA
1993

EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA POTENCIAL EN RIEGO PRESURIZADO

Edgar Zúñiga M.¹
Sergio Salas A.*

Resumen

El proyecto de riego se desarrolló en la zona de San Bernardo de la Fortuna, Bagaces, Guanacaste a fin de poner bajo riego una superficie de 60ha, de las que 45 se podrán regar por aspersión aprovechando la energía potencial de 56 m entre la toma del agua y la zona a irrigar.

La toma de agua se ubicó en el río Cuipilapa, que tiene una calidad de agua excelente para el riego, seguida por una tubería principal de 250 mm de diámetro interno y 3.100 m de longitud con un caudal de diseño de 65.1/s garantizados, en la toma, mediante un vertedor de excedencia. Para las tomas de entrega a la finca se diseñaron tuberías secundarias, que salen de la principal, con un diámetro interno de 75 mm y una longitud total de 3.348 m. Todo el sistema de tubería en PVC está bajo tierra a excepción de las tomas de entrega de agua en las fincas.

A fin de minimizar el golpe de ariete se colocaron válvulas de alivio para seguridad del sistema, además de una chimenea en la obra de toma para aliviar los efectos de sobre o subpresión.

El diseño final concluyó con la determinación de la presión disponible en las tomas parcelarias conformadas por válvulas de compuerta de 100 mm de diámetro.

Summary

An irrigation project was developed in San Bernardo de la Fortuna, Bagaces, Guanacaste to irrigate 60 ha from which 45 will be irrigated by sprinkler irrigation taking advantage of the potential energy of 56 m developed between the intake and the irrigation area.

The pipe intake is located in the Cuipilapa river, which has a high water quality for irrigation, followed by a main pipe of 250 mm of inner diameter with a 3100 m of a total length and a design flow of 65 l/s given, in the intake, with the help of a water measurement weir. For the outlets in each farm secondary pipes were designed which come from the main pipe, with a inner diameter of 75 mm and a total length of 3348 m. All the pipe system is underground with the exception of the outlets in the farms where the water is delivered.

In order to avoid the water hammer relief valves were built for safety of the system, besides a chimney built in the intake place in the river which help to minimize the effects of over or subpressure in the pipes.

The final design considered the determination of the pressure available in the pipe outlets in the farms, which were built with gate leaf valves of 100 mm of diameter.

1. INTRODUCCION

Costa Rica tiene un gran potencial agrícola con un clima ideal para desarrollar diversidad de cultivos. Sin embargo, el manejo de sus recursos naturales no ha sido el óptimo para una agricultura sostenida y de conservación del ambiente (ECODES, 1.989).

1. Director Escuela de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Costa Rica. Ph.D. en Ingeniería Agrícola y de Riesgos.
2. Jefe de la Dirección de Ingeniería del Servicio Nacional de Aguas y Avenamiento (SENARA). Licenciado en Ingeniería Agrícola.

La posibilidad de aumentar la producción agrícola por extensión de superficie está limitada debido a que el recurso tierra es escaso. Por lo tanto, un aumento de la producción y de la productividad por unidad de área es posible mediante el establecimiento de sistemas de riego (Salas, 1989). Lo anterior se hace aún más efectivo cuando es posible utilizar la energía potencial para suministrar la presión necesaria del equipo, caso del presente estudio. La Figura 1 muestra la localización del proyecto en el Mapa de Costa Rica.



Figura 1. Ubicación en el mapa de Costa Rica del proyecto de riego desarrollado en la zona de San Bernardo.

2. REQUERIMIENTO DE AGUA PARA LA ZONA DEL PROYECTO

Para definir las necesidades de agua para las plantas fue necesario revisar la información meteorológica de la zona del proyecto, realizar estudios de suelos in situ, determinar el agua disponible en el suelo y establecer una cédula de cultivos para verificar las necesidades de agua en los cultivos propuestos para la zona.

La fuente de abastecimiento de agua para el proyecto de riego es el río Cuipilapa (Fig.2). Para un promedio mensual de aforos realizado desde 1.976 hasta 1.989 (Cuadro 1) se encontró que el caudal promedio menor fue de 1,06 m³/s para el mes de abril y el mínimo aforo de 0,65 m³/s para

el mes de mayo de 1.984. Si el proyecto va a requerir un máximo de 65 l/s se concluye que se cuenta con suficiente agua para su desarrollo en forma permanente. Estudios realizados para evaluar su calidad (Canovas, 1.980) demostraron que el agua del río Cuipilapa es excelente para el riego.

La información meteorológica fue tomada de la estación La Fortuna (ICE, 1986) y la estación Cuipilapa que tiene información pluviográfica. La evapotranspiración fue calculada por el método de Hargreaves (1975) por considerarse el que más se adjunta a las condiciones de Costa Rica (Herrera, 1985). Para el cálculo de la precipitación efectiva se utilizó el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (FAO, 1979) y la información meteorológica de la estación de Cuipilapa. El Cuadro 2 resume los valores de precipitación media, evapotranspiración y precipitación efectiva.

Para realizar los estudios de suelos se hicieron dos calicatas a fin de conocer en detalle los horizontes del perfil del suelo, asimismo, los análisis físicos y químicos fueron útiles para conocer su grado de fertilidad. El Cuadro 3 resume los resultados de estas variables.

Para el cálculo del plan de riego se usó un programa de microcomputadora denominado CROPWAT (FAO, 1979). Con este programa fue posible determinar las fechas y necesidades de riego de los cultivos, a partir de datos climatológicos, de suelos y de cultivos. El plan se realizó por cultivo y calcula las fechas de riego. Los resultados fueron verificados mediante una cédula de cultivos plantada en la zona del proyecto (Cuadro 4).

Se consideró una disponibilidad de agua por cultivo de 120 mm/m, valor medio entre los extremos de 92 y 160 mm/m para los dos tipos de suelos muestreados, determinados según fórmula 1 y considerando 1 m de profundidad para los 2 suelos anotados (Cuadro 3). Las eficiencias del riego para el caso de aspersión se estimó en 75% y para el riego por superficie en 50%, permitiendo un agotamiento máximo en el suelo del 50% de la lámina inicial aplicada.

El Cuadro 4 muestra los resultados de los requerimientos mensuales de agua en cm según los cultivos considerados, y el caudal en l/s determinado por la fórmula 5. Las fórmulas básicas aplicadas se describen en los siguientes párrafos.

Para la lámina potencial máxima de riego se consideró la siguiente relación (SARH, 1.970) (ver simbología al final del artículo):

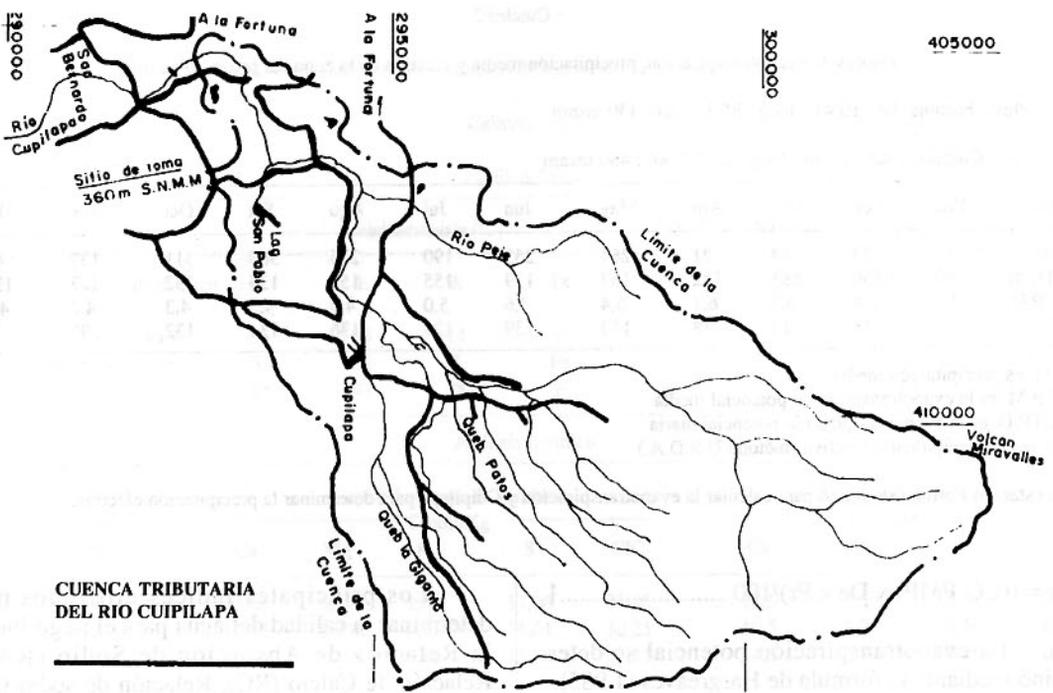


Figura 2. Cuenca tributaria del río Cuipilapa a la altura de toma del proyecto de riego.

Cuadro 1

Lecturas de aforos mensuales realizadas en el río Cuipilapa en m³/s

Año	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
76/77			3,15				2,13					1,33
77/78		2,18		2,13			1,81			1,29	0,86	0,80
78/79	0,71			2,79	4,91				0,79		1,26	
79/80	1,09		2,76			5,01				2,74	1,74	
80/81	1,37	2,45	3,38	4,01		7,06	7,52		5,70	2,05	1,72	1,43
81/82	2,49		3,88	3,04	4,34	3,36	2,69	4,03	3,38	1,70	1,48	1,12
82/83	0,91	1,86	2,89		2,21	3,38	3,04	1,71	3,88	2,06	1,18	1,00
83/84	0,87	1,19	1,37	1,44	1,45	1,55	1,71	1,40	2,08	1,64	1,28	0,82
84/85	0,65	2,30	1,13	2,33	3,25	3,87	2,35	2,65	2,78	1,51	1,85	1,04
85/86	0,95	1,21	1,81	1,59	1,92	1,58	4,49	2,04	1,86	1,40	0,89	0,99
86/87	0,75	1,02	1,32	1,37	1,23	1,92	1,47		2,04	2,48	1,34	1,03
87/88		1,02	1,32	1,37	1,23	1,92	1,47		2,04	2,48	1,34	1,03
88/89	1,03	2,00	2,58									
Prom	1,08	1,85	2,62	2,32	2,73	3,47	2,93	2,46	2,69	1,83	1,36	1,06
Min	0,65	1,02	1,13	1,37	1,23	1,55	1,47	1,40	0,79	1,29	0,86	0,80
Max	2,49	2,45	4,53	4,01	4,91	7,06	7,52	4,03	5,70	2,74	1,85	1,43

Sitio de aforo: Vado de camino San Bernardo - Martillete, en la cota 400 msnm aproximadamente

Área de drenaje de 42,75 km²

76/77 se refiere al año hidrológico 1.976/1.977.

Fuente: Departamento de Estudios Básicos, Oficina de Hidrología. Instituto Costarricense de Electricidad.

Cuadro 2

Valores de evapotranspiración, precipitación media y efectiva de la zona del proyecto en mm

Est. Pluv.: Fortuna, lat.: 10:41', long.: 85:12', alt.: 430 msnm

Est. met.: Cuipilapa, lat.: 10:40', long.: 85:10', alt.: 480 msnm

Item	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
P.M.	19	23	14	21	261	253	190	215	303	311	137	42
ETP.M.	150	150	183	182	167	139	155	153	134	132	127	139
ETP.D.	4,8	5,4	5,9	6,1	5,4	4,6	5,0	4,9	4,5	4,3	4,2	4,5
P.E.	15	18	12	18	157	139	129	136	134	132	95	32

P.M. es precipitación media

ETP.M. es la evapotranspiración potencial media

EETP.D. es la evapotranspiración potencial diaria

P.E. es la precipitación efectiva (método U.S.D.A.)

La estación Fortuna se utilizó para calcular la evapotranspiración y Cuipilapa para determinar la precipitación efectiva.

$$Lr = ((CC - PMP) \times Da \times Pr) / 100 \dots\dots\dots 1$$

La evapotranspiración potencial se determinó mediante la fórmula de Hargreaves (1.985):

$$ETP = 0.0075 \times RSI \times (3.2 + 1.8 \times C) \times N \dots\dots\dots 2$$

donde $RSI = 0.075 \times RMN \times S^{0.5}$

y $S = 12.5 \times (100 - HR)^{0.5}$

La evapotranspiración real (Ev) se obtuvo multiplicando la evapotranspiración potencial (ETP) por el coeficiente de cultivo (Kc) entonces el requerimiento de riego (RR) será:

$$RR = Ev - Pe \dots\dots\dots 3$$

La frecuencia o intervalo de riego (IR) es el requerimiento de riego diario, por lo tanto (SARH, 1973):

$$IR = Lr / RR \dots\dots\dots 4$$

Con la información anterior y conociendo el área neta por regar en cada caso, se puede calcular el caudal requerido para el riego como sigue (SAR, 1973):

$$Q = (27.8 \times A \times Lr) / (IR \times J \times Ef) \dots\dots\dots 5$$

2.1. Calidad del agua para el riego

Los principales índices utilizados para determinar la calidad del agua para el riego fueron la Relación de Absorción de Sodio (RAS), Relación de Calcio (RC), Relación de sodio (RS) y Dureza (D) cuyas fórmulas se muestran a continuación (Canovas, 1980):

$$RAS = Na / ((Ca + Mg) / 2)^{0.5} \dots\dots\dots 6$$

$$RC = Ca / (Ca + Na + Mg)^{-1} \dots\dots\dots 7$$

$$RS = Na / (Ca + Na + Mg)^{-1} \dots\dots\dots 8$$

$$D = (2.5 \times Ca + 4.12 \times Mg) / 10 \dots\dots\dots 9$$

De un análisis de aguas del río Cuipilapa se encontró que el Na es de 1,9 mg/l, el Ca de 2,0 mg/l y el Mg de 0,64 mg/l. Por lo tanto el RAS es de 1,03 meq/l, RC de 0,443 meq. RS de 0,421 meq/l y D de 0,751 meq/l. Considerando las normas del Riverside y las Curvas de Wilcox (Canovas, 1980), se concluye que las aguas del río Cuipilapa son excelentes para el riego.

3. CALCULOS PARA EL DISEÑO DE TOMAS Y SISTEMAS DE CONDUCCION

Para el diseño del vertedero en la obra de toma en el río se empleó la fórmula de Francis (Azevedo, 1986), a fin de obtener el caudal necesario del proyecto de 65 l/s, como sigue:

$$Q = 1.838 \times L \times H^{1.5} \dots\dots\dots 10$$

Cuadro 3

Resultados de los análisis físico-químico de los suelos de la zona de riego en estudio

Calicata No.1										
Análisis físico										
		Granulometría (%)				Ret.	humed.	(%)	Dens. (g/cc)	
Hor.	Prof.	a	L	A	Tx	CC	PMP	H.D.	D.A.	
A	00/15	51	35	14	F	43	26	17	1,00	
B	15/48	53	39	8	Fa	11	8	3	1,00	
C	48/62	25	47	28	F	31	17	14	1,10	
Análisis químico										
M.O. (%)	pH H2O	Capac.de interc. de cationes					Fertilidad del suelo meq/100 cc suelo			
		Ca	Mg	Cmol/Kg K	S	CIC	Ca	Mg	K	Al
8,0	6,7	15,63	0,34	1,09	17,06	32,45	12,5	3,5	1,00	0,10
5,9	6,8	11,25	0,23	0,13	11,61	30,25	10,5	3,0	0,10	0,10
0,8	6,9	13,13	0,40	0,16	13,69	21,45	14,5	5,7	0,16	0,10
Calicata No.2										
Análisis físico										
		Granulometría (%)				Ret.	humed.	(%)	Dens. (g/cc)	
Hor.	Prof.	a	L	A	Tx	CC	PMP	H.D.	D.A.	
Ap	00/34	25	57	18	FL	42	23	13	1,10	
A/C	34/53	29	53	18	FL	34	27	7	1,20	
C	53/98	59	23	10	Fa	40	26	14	1,20	
Análisis químico										
M.O. (%)	pH H2O	Capac.de interc. de cationes					Fertilidad del suelo meq/100 cc suelo			
		Ca	Mg	Cmol/Kg K	S	CIC	Ca	Mg	K	Al
4,1	6,6	13,75	0,34	0,96	15,05	31,90	11,5	3,4	0,79	0,10
5,3	6,8	17,75	0,50	1,61	19,86	37,95	17,5	5,7	1,55	0,20
1,6	6,8	3,31	0,16	0,13	3,60	19,25	3,5	1,3	0,10	0,10

Hor.: horizonte a; arena l: limo A; arcilla Tx: textura CC: capacidad de campo Prof.: profundidad del perfil en cm PMP: punto de marchitez permanente H.D.: humedad disponible D.A.: densidad aparente.

Cuadro 4

Requerimientos de riego en cm según una cédula de cultivos desarrollada en la zona del proyecto para el año de 1989

Cult.	Siembra Día/mes	Area ha	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Set	Oct	Nov.	Dic.
Hort.	01 Feb.	5		5	9	11								
Hort.	01 Jun.	5								1				
Arr.*	15 Mar.	10			54	53	26	18						
Arr.*	01 Ago.	10								24	21	25	25	
Pasto	01 Ene	15	16	19	35	39			1					13
Maíz	01 Abr.	10							1					
Sand.	01 Mayo	5							1					
Sand.	01 Nov.	5	9	8										5
Pasto	02 Ene.	15	11	14	25	28			1					9
Frij.	01 Set.	10											7	10
Requer./mes aprox.			36	46	122	138	26	20	3	25	21	25	32	37
Caudal en l/s			18	23	54	63	10	8	1	10	8	10	14	19

Arr.* significa arroz de 120 días de ciclo

Para el cálculo de los diámetros de tuberías y las pérdidas de carga en el sistema, a fin de estimar las presiones disponibles se empleó la fórmula de Hazen-Williams (Azevedo, 1986) a saber:

$$H_f = 10.643 \times Q^{1.85} \times C_o^{-1.85} \times D_i^{-4.87} \times L_t \dots\dots\dots 11$$

Las pérdidas de carga ocurridas en los accesorios de la tubería se calcularon mediante la fórmula (Azevedo, 1.986):

$$H_{ff} = K \times V^2 (2g)^{-1} \dots\dots\dots 12$$

Con respecto al golpe de ariete se aplicó la metodología sugerida por Mataix (1.970).

En la entrada de la tubería, en la obra de toma en el río, se construyó un sistema de tres vertederos a fin de dotar de agua al proyecto sólo con el flujo de diseño. También se calculó una compuerta deslizante la cual podría regular el flujo en la cañería, cerrar el conducto en caso de reparación o dejar el sistema fuera de operación. Además, la chimenea, en la sección inicial del sistema, es muy útil para introducir aire a la tubería en caso de cierre brusco de la compuerta de entrada que podría provocar una subpresión. Esta chimenea está conformada por una T del diámetro de la tubería, o sea de 250 mm, reducida luego a 100 mm mediante un tubo vertical que es la chimenea propiamente dicha.

Todos los anclajes se diseñaron de acuerdo con las especificaciones del Manual para las

Instalaciones de Tuberías a Presión dado por el Instituto de Acueductos y Alcantarillado (AyA, 1979). A fin de prevenir bolsas de aire en la tubería se instalaron válvulas de aire, además de válvulas de alivio, para amortiguar las ondas de sobrepresión en caso del golpe de ariete. Para tuberías que cruzan caminos se colocaron tubos de hierro de 350 mm de diámetro alrededor de los de PVC para protegerlos de posibles daños por el paso de vehículos. Además, el recubrimiento de 1 m de relleno garantiza la seguridad de la tubería. En ciertos tramos de tubería fue necesario construir quiebragradientes a fin de evitar presiones excesivas en el sistema. El Manual del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA, 1979) indica que el volumen del quiebragradiente debe ser de 1 m³ por cada 10 l/s de caudal. Como el ramal, donde fue necesario construir este tipo de obra, tiene un flujo exactamente de 10 l/s, entonces por seguridad se diseñó con una capacidad de 1,5 m³.

4. COSTO DE LA OBRA

El Cuadro 5 muestra el costo de la construcción de la zanja para la colocación de la tubería cuyo valor total fue de 481.000 colones. La excavación fue difícil por el tipo de material rocoso del terreno. Las zanjas para los ramales secundarios fueron cavadas por los agricultores beneficiados por el sistema, lo que significó una economía importante. En el mismo cuadro se

aprecian los costos de la construcción de relleno, obras de toma, anclajes y quiebragradientes entre otros.

Cuadro 5

Desglose de los costos en colones de la construcción y accesorios del proyecto de riego

Concepto	Monto (colones)
Tubería y accesorios	4.244.400
Excavación zanjas	481.000
Relleno de zanjas	210.000
Materiales y suministros	69.700
Toma y anclajes	150.000
Válvulas y otros	200.000
Total 5.355.100	

5. CONCLUSIONES

El Cuadro 6 muestra las presiones definitivas obtenidas por finca. Las tomas parcelarias están dotadas de válvulas de compuerta de 100 mm de diámetro que permiten el control del flujo.

Para el caso de la condición más crítica las tomas 6, 8, 9 y 11 están por debajo de la presión mínima deseable, que es de 25 metros de columna de agua, sin embargo la presión final fue superior a la mínima de trabajo en los aspersores de 2 atmósferas lo cual asegura una adecuada presión para mover el sistema (20 m).

Cuadro 6

Pérdidas de carga y presión disponible en las tomas de entrega de agua en las parcelas del proyecto en metros de columna de agua (mca) con un caudal constante de 10 l/s por toma

Línea	Toma	Elevación m	Estación	Tubería entre tomas m	Pérdidas de carga mca	Presión disponible mca
A	Inicio	326,15	0+000,00	000,00	00,00	20,46
	6	322,98	0+146,43	146,43	1,45	22,18
	7	312,04	0+446,75	446,75	4,41	30,16
B	Inicio	322,50	0+000,00	000,00	00,00	23,00
	8	322,50	0+1-,00	10,00	0,10	24,40
	9	321,14	0+101,40	101,40	1,00	24,36
	10	313,27	0+459,40	459,40	4,54	28,69
	11	322,00	0+010,00	10,00	0,10	24,40
C	Inicio	317,00	0+000,00	000,00	0,00	28,86
	14	317,00	0+000,00	000,00	0,00	28,86
	15	309,92	0+233,45	233,45	2,31	33,63
	16	309,92	0+233,45	233,45	2,31	33,63
	17	308,33	0+303,45	303,45	3,00	34,53
	18	308,33	0+303,45	303,45	3,00	34,53
	Quiebragrad.	307,00	0+305,00	305,00	0,00	00,00
	19	250,88	0+580,89	275,89	9,90	46,22
	20	239,37	0+905,49	600,49	21,55	46,00
	21	230,46	1+075,44	770,44	27,65	48,89
D	Inicio	308,56	0+000,00	000,00	0,00	37,20
	22	308,56	0+001,00	1,00	0,00	37,20
	23	304,48	0+289,70	289,70	2,86	38,42
	24	304,48	0+289,70	289,70	2,86	38,42
	25	275,01	0+668,55	668,55	16,46	54,29
	26	300,96	0+170,00	412,49	4,07	40,73
E	Inicio	303,97	0+000,00	000,00	0,00	41,75
	28	303,97	0+001,00	1,00	0,00	41,75
	29	299,17	0+208,43	208,43	2,95	43,60

6. ANALISIS ECONOMICO

A partir de los resultados del análisis económico se muestra una alta rentabilidad del proyecto y por consiguiente la justificación para invertir en él. En el Cuadro 7 se indica una tasa interna de retorno mayor al 50%, lo que significa una alta rentabilidad de la inversión.

Cuadro 7

Resumen del análisis de rentabilidad por hectárea en miles de colones

Valor actual neto	Retribución actual/ha	Tasa interna de retorno	Costo de oportunidad	Relación B/C
Al 19%	351,4	>50%	Al 19%	2,05
21	332,6			
23	315,3			
25	299,6			

B/C es Beneficio/Costo

Este proyecto además de ser técnicamente un éxito, vino a llenar una gran necesidad en el poblado donde se desarrolló, produciendo un gran beneficio social y económico. Con el riego los agricultores se podrán mantener en sus parcelas durante todo el año, con una producción agrícola sostenida, eliminando la estacionalidad de los cultivos y la migración de los agricultores a otras zonas en la época seca del año.

SIMBOLOGIA

A: área neta de riego en ha

C: temperatura en grados centígrados

Ca: ion calcio en meq/l

CC: Capacidad de campo a 1/3 de atm de presión en %

Co: coeficiente que depende de la naturaleza del tubo

D: dureza del agua

Da: densidad aparente en gr/cm^3

Di: diámetro interno de la tubería en m

Ef: eficiencia de riego en decimal

ETP: evapotranspiración potencial en mm

Ev: Evapotranspiración real del cultivo en mm

g: constante gravitacional de $9.81 m/s^2$

H: altura del agua sobre el vertedero en m

Hf: pérdida de carga por fricción en m

HfL: pérdida de carga en el accesorio en m

Hj: jornada de riego diaria en horas

HR: humedad relativa media mensual en %

IR: intervalo de riego en días

J: jornada de riego diaria en horas

K: constante característica del accesorio

Kc: coeficiente de cultivo

L: largo del vertedero en m

Lr: lámina de agua almacenable en el suelo en cm

Mg: ion magnesio en meq/l

N: número de días del mes

Na: ion sodio en meq/l

Pe: precipitación efectiva en mm

PMP: punto de marchitez permanente a 15 atm de presión en %

Pr: profundidad efectiva de raíces en cm

Q: caudal requerido en l/s, m^3/s

RAS: relación de absorción de sodio

RC: relación de calcio

RMM: radiación extraterrestre en mm

RR: requerimiento de riego diario en mm/día

RS: relación de sodio

RSI: radiación solar en mm

S: porcentaje de brillo solar

V: velocidad del agua en la tubería en m/s.

BIBLIOGRAFIA

1. Azevedo, M. y Acosta, G., *Manual de hidráulica*. Editorial Harla. México, D.F., 1986.
2. Canovas, Juan. *Calidad agronómica de las aguas para el riego*. Gráficas Ajenjo. España, 1980.
3. Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). "Boletín hidrológico No.16". San José, Costa Rica, 1986.
4. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). "Manual de instalación de tuberías a presión". San José, Costa Rica, 1979.
5. ECODES. Memoria 1er. Congreso: "Estrategia de Conservación para el Desarrollo Sostenible de Costa Rica". Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas. San José, Costa Rica, 1989.
6. Hargreaves, H., George. *Manual de requerimientos de agua para los cultivos bajo riego y para agricultura de secano*. Utah State University. Utah, 1975.
7. Herrera, W. *Clima de Costa Rica*. Editorial EUNED. San José, Costa Rica, 1985.
8. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). *Precipitación efectiva en la agricultura de regadío*. Publicación No.25, Roma, Italia, 1979.
9. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). *Manual for cropwat*. Roma, Italia, 1979.
10. Mataix, C. *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. Editorial Limusa. México, D.F., 1970.
11. Secretaría de Recursos Hidráulicos (SARH). *Proyectos de zonas de riego*. México, D.F., 1970.
12. Salas, S. "Proyecto de Riego San Bernardo". Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agrícola, Facultad de Ingeniería, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, 1989.