

AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT WASHINGTON, D. C. 20523 BIBLIOGRAPHIC INPUT SHEET	FOR AID USE ONLY 0071
---	-------------------------------------

1. SUBJECT CLASSIFICATION	A. PRIMARY Agriculture	AP12-0000-G512
	B. SECONDARY Drainage and irrigation--Bolivia	

2. TITLE AND SUBTITLE
Requirements for irrigation of sugar cane, Santa Cruz, Bolivia

3. AUTHOR(S)
Hargreaves, G.H.

4. DOCUMENT DATE 1971	5. NUMBER OF PAGES 56p.	6. ARC NUMBER ARC BL633.61.H279
--------------------------	----------------------------	------------------------------------

7. REFERENCE ORGANIZATION NAME AND ADDRESS
Utah State

8. SUPPLEMENTARY NOTES (*Sponsoring Organization, Publishers, Availability*)
(English and Spanish)

9. ABSTRACT

10. CONTROL NUMBER PN-RAA-020	11. PRICE OF DOCUMENT
12. DESCRIPTORS Bolivia Ground water Sugar cane Water supply	13. PROJECT NUMBER
	14. CONTRACT NUMBER CSD-2167 Res.
	15. TYPE OF DOCUMENT

~~Magallon, G.H.~~

REQUERIMIENTOS PARA EL RIEGO
DE LA CAÑA DE AZUCAR
SANTA CRUZ, BOLIVIA

REQUIREMENTS FOR IRRIGATION
OF SUGAR CANE
SANTA CRUZ, BOLIVIA

UNIVERSIDAD DEL ESTADO DE UTAH
AGENCIA PARA EL DESARROLLO INTERNACIONAL
UTAH STATE UNIVERSITY
AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT

REQUERIMIENTOS PARA EL RIEGO

DE LA CAÑA DE AZUCAR

SANTA CRUZ, BOLIVIA

por

George H. Hargreaves

Departamento de Ingeniería Agrícola y de Irrigación

Universidad del Estado de Utah, Logan, Utah

Estudio preparado a solicitud del Equipo del Contrato USU - Misión AID de los EE. UU. en Bolivia, Contrato AID/USU No. LA 319. Parte del desarrollo de la formula y la revisión del estudio fue financiada por la Agencia para el Desarrollo Internacional, Contrato AID/csd-2167.

REQUIREMENTS FOR IRRIGATION

OF SUGAR CANE

SANTA CRUZ, BOLIVIA

by

George H. Hargreaves

Agricultural and Irrigation Engineering

Utah State University, Logan, Utah

Study prepared at the request of USU Contract Team, United States AID Mission to Bolivia, AID/USU Contract No. LA 319. Part of the formula development and study revision was financed by the Agency for International Development, Contract AID/csd-2167.

PROLOGO

SEPTIEMBRE 1971

Desde que el estudio se completó en Abril, 1971, algo de mejoramiento ha sido hecho en las ecuaciones basado sobre análisis adicional y datos tomados de un rango más amplio de condiciones climáticas.

La ecuación más adecuada para la evapotranspiración potencial puede ser escrita:

$$ETP = .385 \times RMM \times CT \times CH \times CW \quad (5)$$

en la cual:

ETP y RMM son como se definieron en la Ecuación 1 y

$$CT = .20 + .032 \times TM \quad (5a)$$

$$CH = .05 + 1.58 \times (1.00 - HM)^{1/2} \quad (5b)$$

para HM mayor que .64

$$CH = 1.00 \text{ para HM menor que } .64 \quad (5c)$$

$$CW = .80 + .025 \times W10 \quad (5d)$$

(TM, HM y W10 son como se definieron en la Ecuación 1.)

El uso de la Ecuación 5 resulta en los valores siguientes en mm de la evapotranspiración potencial para la área de Santa Cruz - Saavedra, los cuales son un 9.5% mayores que aquellos calculados de la Ecuación 1, la mayor diferencia entre ellos siendo durante los meses de humedad más alta:

Mes E F M A M J J A S O N D ANUAL

PROLOGUE

SEPTEMBER 1971

Since the study was completed in April, 1971, some improvement has been made in the equations based upon additional analysis and upon data from a wider range of climatic conditions.

The best fit equation for potential evapotranspiration can be written:

$$ETP = .385 \times RMM \times CT \times CH \times CW \quad (5)$$

in which:

ETP and RMM are as defined in Equation 1 and

$$CT = .20 + .032 \times TM \quad (5a)$$

$$CH = .05 + 1.58 \times (1.00 - HM)^{1/2} \quad (5b)$$

for HM greater than .64

$$CH = 1.00 \text{ for HM less than } .64 \quad (5c)$$

$$CW = .80 + .025 \times W10 \quad (5d)$$

TM, HM and W10 are as defined in Equation 1.)

Use of Equation 5 results in the following values of potential evapotranspiration in mm. for the Santa Cruz - Saavedra area which are 9.5% higher than those calculated from Equation 1, the difference being greatest for months of highest humidity:

Month	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANN
ETP Eq. 5	148	127	135	110	100	82	120	159	169	217	214	191	1799

Un estudio realizado por Hardee¹ indica que una distribución de Gama es superior que una distribución graduada para realizar las probabilidades de ocurrencia de la precipitación. Basada sobre un análisis de distribución de Gama de los archivos de lluvia más largos y más seguros de Colombia, Nicaragua y Venezuela, la relación promedia más adecuada entre la precipitación confiable al nivel de probabilidad de 75%, PD, y la precipitación media mensual en mm, PM, es:

$$PD = -10 + .70 PM \quad (6)$$

Se considera que la Ecuación 6 es más general y segura que la Ecuación 2. Se sugiere que sea evaluada más adelante, utilizando los datos derivados de las estaciones Bolivianas.

¹Hardee, James E., "Analysis of Colombian Precipitation to Estimate Irrigation Requirements," ("Análisis de la Precipitación Colombiana para Apremiar los Requerimientos de Riego"), Department of Agricultural and Irrigation Engineering, Utah State University, Logan, Utah, May, 1962.

A study made by Hardee¹ indicates that a Gamma distribution is superior to a ranking distribution in analyzing precipitation probabilities of occurrence. Based upon Gamma distribution analysis of the longest and most reliable rainfall records from Colombia, Nicaragua and Venezuela, the best fit average relationship between dependable precipitation at the 75% level of probability, PD, and mean monthly precipitation in mm., PM, is:

$$PD = -10 + .70 PM \quad (6)$$

Equation 6 is considered to be more general and more reliable than Equation 2. It is suggested that it be further evaluated using data from Bolivian stations.

¹Hardee, James E., "Analysis of Colombian Precipitation to Estimate Irrigation Requirements," Department of Agricultural and Irrigation Engineering, Utah State University, Logan, Utah, May, 1962.

INTRODUCCION

Este estudio es presentado de manera que el desarrollo propuesto de riego en las cercanías de Santa Cruz pueda ser más ampliamente evaluado. Se ha propuesto que una importante área de caña de azúcar sea irrigada por medio de pozos para ser desarrollada utilizando agua subterránea. Para definir la factibilidad del desarrollo propuesto se necesita definir las necesidades y requerimientos para riego, junto con los probables beneficios y costos. Aunque este estudio se ocupa principalmente de los requerimientos de riego, otros factores que influyen en la factibilidad son tratados brevemente. Estos incluyen la disponibilidad de suministros adecuados de agua de buena calidad y costos probables de desarrollo, adaptabilidad de los suelos del área para la agricultura bajo riego, condiciones climáticas del área que relacionan las necesidades y requerimientos para riego, y los costos aproximados de varios tipos de desarrollo.

Para poder definir más ampliamente el potencial para el desarrollo se requiere un estudio adicional relativo a las prácticas de manejo presentes y futuras que tienen relación con costos de rendimientos y el nivel de beneficio económico y con las probables relaciones entre agua, suelos, clima, fertilidad del suelo y otros factores.

El efecto del clima sobre requerimientos de riego y la lluvia adecuada para satisfacer los requerimientos de humedad son evaluados. Los niveles de aplicación de riego considerados, incluyen una irrigación completa y dos niveles de déficit de riego. Se hacen recomendaciones relativas a un posible curso de acción futura para la evaluación posterior del área.

INTRODUCTION

This study is presented in order that a proposed irrigation development in the vicinity of Santa Cruz may be further evaluated. It has been proposed that an important area of sugar cane be irrigated from wells to be developed utilizing ground water. In order to define the feasibility of the proposed development, the needs and requirements for irrigation, together with probable benefits and costs, require definition. Although this study deals principally with irrigation requirements, other factors that influence feasibility are dealt with briefly. These include the availability of adequate supplies of good water and probable development costs, suitability of the soils of the area for irrigated agriculture, climatic conditions of the area that relate to needs and requirements for irrigation, and the approximate costs of various types of development.

In order to more fully define the potential for development, additional study is required relative to present and future management practices that relate to yields, costs and the level of economic returns and on probable relationships between water, soils, climate, soil fertility and other factors.

The effect of climate upon irrigation requirements and the adequacy of rainfall in meeting moisture requirements are evaluated. Levels of irrigation application considered include full irrigation and two levels of deficit irrigation. Recommendations are made relative to a possible future course of action for further evaluation of the irrigation potential of the area.

SUELOS

Los suelos del área y su uso potencial han sido descritos por Cochrane (4, 5)¹. Sus texturas varían desde arena franca hasta arcillo limosa. En general el área está compuesta por llanuras aluviales recientes. Una parte del área está parcialmente erosionada por el viento. Los suelos arenosos son descritos como de baja fertilidad con algunas áreas grandes de suelos razonablemente fértiles. Los suelos más jóvenes compuestos por aluvión reciente del Río Grande varían desde francos hasta arcillo-limosos y son descritos como muy fértiles. Los perfiles y topografía de los suelos de textura mediana a pesada parecen ser más adaptables para la producción de caña de azúcar. Se hicieron algunos análisis de fertilidad de suelos que señalaron que probablemente sean necesarias aplicaciones de niveles moderados a bajos de fertilizantes para mantener la producción de la caña de azúcar en un nivel deseado. Las relaciones de humedad del suelo para los suelos del área no han sido determinadas. Una estimación aproximada del almacenamiento de humedad disponible potencial, en la zona de raíces de la caña de azúcar podría estar en el orden de los de los 150 mm para los suelos de textura mediana a de textura pesada, con valores más bajos para suelos de textura más ligera.

¹Los números entre paréntesis corresponden a las referencias.

SOILS

The soils of the area and their potential use have been described by Cochrane (4,5)¹. Textures vary from loamy sands to silty clays. Generally the area is comprised of recent flood plain alluvium. The soils in a portion of the area are partly wind blown. The sandy soils are described as being of low fertility with some large areas of reasonably fertile soils. The younger soils comprised of recent alluvium from the Río Grande range from loams to silty clays and are described as very fertile. Soil profiles and topography for the medium to heavy textured soils seem to be most suitable for sugar cane production. Some soil fertility analyses have been made indicating that probably moderate to low levels of fertilizer applications are necessary for maintaining sugar cane production at desirable levels. Soil moisture relationships for the soils of the area have not been determined. A rough estimate of the potential readily available soil moisture storage in the sugar cane root zone (assumed to be 1 meter in depth) might be in the order of 150 mm. for the medium to heavy textured soils with lower values for lighter textured soils.

¹The numbers in parentheses refer to the references.

DATOS CLIMATICOS

La precipitación es algo variable geográficamente, y durante cualquier mes dado es bastante variable de un año a otro. Un sumario de las condiciones de lluvias es dado en mm como sigue:

Combinado - Santa Cruz 1943-55, Saavedra 1956-69
Santa Cruz 1970 (6,10)

Precipitación	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTA
Máxima	396	296	360	252	408	233	224	121	180	292	232	463	1800
Mínima	64	23	15	6	2	2	0	0	0	25	24	64	711
Media	175	157	121	94	80	69	63	35	64	109	113	181	1261
Confiable	115	118	57	41	34	27	9	5	21	62	78	103	1071

Las Barreras 1925-64 (mm)

Precipitación	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTA
Máxima	575	524	424	257	320	334	245	145	287	294	252	361	2080
Mínima	39	60	30	21	7	7	0	1	2	13	37	77	830
Media	214	176	147	102	85	88	52	39	83	111	125	186	1408
Confiable	147	112	88	50	37	29	3	11	29	52	71	126	1183

La Esperanza 1944-62 (mm)

Precipitación	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTA
Máxima	450	272	204	177	317	167	220	100	191	184	269	282	1452
Mínima	52	35	28	0	0	0	0	0	0	32	24	44	655
Media	178	109	102	63	74	63	45	28	48	83	112	126	1031

CLIMATIC DATA

Rainfall is somewhat variable geographically and during any given month is quite variable from year to year. A summary of rainfall conditions is given in mm. as follows:

Combined - Santa Cruz 1943-55, Saavedra 1956-69
Santa Cruz 1970 (6,10)

Precipitation	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
Maximum	396	296	360	252	408	233	224	121	180	292	232	463	1800
Minimum	64	23	15	6	2	2	0	0	0	25	24	64	711
Mean	175	157	121	94	80	69	63	35	64	109	113	181	1261
Dependable	115	118	57	41	34	27	9	5	21	62	78	103	1071

Las Barreras 1925-64 (mm)

Precipitation	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
Maximum	575	524	424	257	320	334	245	145	287	294	252	361	2080
Minimum	39	60	30	21	7	7	0	1	2	13	37	77	830
Mean	214	176	147	102	85	88	52	39	83	111	125	186	1408
Dependable	147	112	88	50	37	29	3	11	29	52	71	126	1183

La Esperanza 1944-62 (mm)

Precipitation	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
Maximum	450	272	204	177	317	167	220	100	191	184	269	282	1452
Minimum	52	35	28	0	0	0	0	0	0	32	24	44	655
Mean	178	109	102	63	74	63	45	28	48	83	112	126	1031

La precipitación confiable fue computada como el nivel de 75 por ciento de probabilidad, clasificando los datos de precipitación por medio de una computadora. Se nota que la precipitación mínima es frecuentemente solo una pequeña fracción del valor medio y que para los meses secos la precipitación confiable es mucho menor que los valores medios o promedios...

Los datos mensuales de temperatura media para el área fueron tomados de los registros de Santa Cruz para el período, 1943-57. La humedad relativa media mensual (expresada decimalmente) usada en este estudio es un promedio de la publicada por Santa Cruz (1943-57) y la registrada en Saavedra (1952-68). La temperatura media mensual en °C, T_M y la humedad relativa media mensual, H_M , para el área son dadas como sigue:

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
T_M	26.4	26.3	25.8	23.8	22.0	20.4	19.6	22.8	25.5	25.4	27.0	27.1	24.3
$H_M(SC)$	.77	.75	.75	.74	.77	.78	.71	.61	.60	.66	.67	.70	.71
$H_M(SA)$	.75	.77	.72	.72	.72	.69	.65	.52	.52	.59	.63	.70	.66
Prom. H_M	.76	.76	.74	.73	.74	.74	.68	.56	.56	.62	.65	.70	.68

Los datos de viento se encuentran disponibles en el aeropuerto de Santa Cruz para una altura del anemómetro de 20 metros sobre el nivel del suelo para las horas de 6:00 am. a 6:00 pm. Se estima que estos valores divididos por 2.0 resultan en viento a una altura de 10 metros para un período de 24 horas. Las velocidades de viento estimadas para una altura de 10 metros en km/hr son dadas como sigue:

Dependable precipitation was computed at the 75 percent probability level from a computer sorting of the precipitation data. It is noted that minimum precipitation is frequently only a small fraction of the mean value and that for the dry months dependable precipitation is much less than the mean or average values.

Mean monthly temperature data for the area were taken from the Santa Cruz record for the period 1943-57. Mean monthly relative humidity (expressed decimally) used in this study is an average of that published for Santa Cruz (1943-57) and that recorded at Saavedra (1952-68). Mean monthly temperature in °C, TM and mean monthly relative humidity, HM, for the area are given as follows:

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Ann
TM	26.4	26.3	25.8	23.8	22.0	20.4	19.6	22.8	25.5	25.4	27.0	27.1	24.3
HM(SC)	.77	.75	.75	.74	.77	.78	.71	.61	.60	.66	.67	.70	.71
HM(SA)	.75	.77	.72	.72	.72	.69	.65	.52	.52	.59	.63	.70	.66
Av. HM	.76	.76	.74	.73	.74	.74	.68	.56	.56	.62	.65	.70	.68

Wind data are available at Santa Cruz airport at an anemometer elevation of 20 meters above ground level for the hours of 6:00 am to 6:00 pm. It is estimated that these values divided by 2.0 result in wind at a height of 10 meters for the 24-hour period. Wind velocities estimated for a height of 10 meters in km/hr are given as follows:

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
W10	10.0	9.0	8.5	8.0	9.0	12.0	12.5	12.5	13.0	11.5	10.5	10.0

ECUACIONES USADAS

La ecuación básica para la evapotranspiración potencial dada por Christiansen y Hargreaves (1,2) puede ser escrita:

$$ETP = K \times RMM \times C \quad (1)$$

en la cual:

K = una constante. (Para la ecuación usada para computar C, el valor de K es 0.330.)

ETP = evapotranspiración potencial calculada equivalente a aquella de vegetación corta verde de crecimiento rápido con un continuo suministro de humedad adecuado (evapotranspiración de rye grass como fue medida por Pruitt (9) es usada como un valor normal para ETP.)

RMM = radiación extraterrestre expresada en mm de la evaporación equivalente por mes (Tabla 1). Los valores de RMM en mm de la evaporación equivalente por mes, son aproximadamente como sigue para el área bajo estudio:

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
RMM	533	470	475	398	391	314	339	388	436	500	512	538

C = un coeficiente climático

Varias combinaciones de elementos climáticos han sido usadas en la computación de C. Basándose en una de evaluación en una computadora de los datos de evaporación y evapotranspiración de California y comparándolos con los datos de evaporación de Venezuela y Ecuador, la mejor ecuación que se adapta para C, en donde los datos sobre porcentaje de posible luz solar no

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
W10	10.0	9.0	8.5	8.0	9.0	12.0	12.5	12.5	13.0	11.5	10.5	10.0

EQUATIONS USED

The basic equation for potential evapotranspiration given by Christiansen and Hargreaves (1,2) can be written:

$$ETP = K \times RMM \times C \quad (1)$$

in which:

K = a constant. (For the equation used in computing C, the value of K is 0.330)

ETP = calculated potential evapotranspiration equivalent to that from a short green rapidly growing vegetation with a continuously adequate moisture supply (rye grass evapotranspiration as measured by Pruitt (9) is used as a standard value for ETP.)

RMM = extraterrestrial radiation expressed in mm of equivalent evaporation per month (Table 1). Values of RMM in mm of equivalent evaporation per month are approximately as follows for the area under study:

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
RMM	533	470	475	398	391	314	339	388	436	500	512	538

C = a climatic coefficient

Various combinations of climatic elements have been used in computing C. Based upon a computer evaluation of evaporation and evapotranspiration data from California and a comparison with evaporation data from Venezuela and Ecuador, a best fit equation for C where data on percentage of possible sunshine are not available is:

Tabla 1

Valores medios mensuales de radiación extraterrestre

Latitud grados	Expresados como evaporación equivalente en mm. por día											
	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
Norte												
60	1.41	3.36	6.88	11.31	15.14	17.06	16.25	13.03	8.67	4.58	1.92	0.96
55	2.55	4.62	8.08	12.18	15.55	17.18	16.50	13.71	9.77	5.85	3.11	2.02
50	3.77	5.89	9.23	12.98	15.93	17.30	16.73	14.34	10.79	7.09	4.35	3.21
45	5.04	7.14	10.30	13.69	16.23	17.38	16.91	14.87	11.74	8.30	5.63	4.46
40	6.32	8.36	11.30	14.31	16.45	17.38	17.01	15.32	12.59	9.45	6.90	5.75
35	7.59	9.53	12.21	14.82	16.58	17.30	17.01	15.66	13.35	10.54	8.15	7.04
30	8.84	10.64	13.03	15.23	16.60	17.13	16.92	15.90	14.01	11.55	9.36	8.32
25	10.05	11.68	13.75	15.52	16.51	16.85	16.72	16.02	14.56	12.48	10.53	9.56
20	11.20	12.64	14.37	15.70	16.32	16.48	16.42	16.04	15.00	13.33	11.63	10.76
15	12.29	13.51	14.88	15.77	16.02	16.00	16.02	15.93	15.33	14.07	12.66	11.91
10	13.30	14.28	15.27	15.72	15.61	15.42	15.51	15.72	15.54	14.71	13.61	12.98
5	14.23	14.96	15.55	15.55	15.09	14.74	14.90	15.39	15.63	15.24	14.47	13.98
0	15.07	15.53	15.71	15.27	14.47	13.97	14.19	14.95	15.61	15.66	15.23	14.90
Sur												
- 5	15.81	15.98	15.75	14.88	13.76	13.12	13.39	14.41	15.46	15.96	15.89	15.72
-10	16.45	16.33	15.67	14.37	12.95	12.18	12.51	13.76	15.20	16.15	16.45	16.44
-15	16.98	16.55	15.48	13.76	12.06	11.17	11.54	13.01	14.82	16.21	16.89	17.06
-20	17.40	16.66	15.16	13.05	11.09	10.10	10.51	12.17	14.33	16.16	17.22	17.57
-25	17.71	16.65	14.73	12.24	10.05	8.97	9.42	11.25	13.73	15.99	17.43	17.97
-30	17.91	16.52	14.19	11.34	8.95	7.80	8.28	10.25	13.03	15.70	17.54	18.27
-35	17.99	16.27	13.54	10.36	7.80	6.61	7.10	9.18	12.23	15.29	17.52	18.46
-40	17.98	15.92	12.79	9.31	6.61	5.40	5.89	8.06	11.33	14.78	17.40	18.54
-45	17.86	15.46	11.91	8.19	5.41	4.19	4.09	6.89	10.35	14.16	17.18	18.54
-50	17.66	14.90	11.00	7.02	4.20	3.02	3.49	5.68	9.29	13.45	16.87	18.46
-55	17.40	14.25	9.98	5.81	3.01	1.90	2.34	4.46	8.16	12.64	16.49	18.33
-60	17.12	13.54	8.88	4.57	1.88	0.91	1.28	3.24	6.97	11.76	16.07	18.20

Table 1

Mean monthly values of extraterrestrial radiation

Latitude degrees	Expressed as equivalent evaporation in millimeters per day											
	Jan	Feb	March	April	May	June	July	August	Sept	Oct	Nov	Dec
North												
60	1.41	3.36	6.88	11.31	15.14	17.06	16.25	13.03	8.67	4.58	1.92	0.96
55	2.55	4.62	8.08	12.18	15.55	17.18	16.50	13.71	9.77	5.85	3.11	2.02
50	3.77	5.89	9.23	12.98	15.93	17.30	16.73	14.34	10.79	7.09	4.35	3.21
45	5.04	7.14	10.30	13.69	16.23	17.38	16.91	14.87	11.74	8.30	5.63	4.46
40	6.32	8.36	11.30	14.31	16.45	17.38	17.01	15.32	12.59	9.45	6.90	5.75
35	7.59	9.53	12.21	14.82	16.58	17.30	17.01	15.66	13.35	10.54	8.15	7.04
30	8.84	10.64	13.03	15.23	16.60	17.13	16.92	15.90	14.01	11.55	9.36	8.32
25	10.05	11.68	13.75	15.52	16.51	16.85	16.72	16.02	14.56	12.48	10.53	9.56
20	11.20	12.64	14.37	15.70	16.32	16.48	16.42	16.04	15.00	13.33	11.63	10.76
15	12.29	13.51	14.88	15.77	16.02	16.00	16.02	15.93	15.33	14.07	12.66	11.91
10	13.30	14.28	15.27	15.72	15.61	15.42	15.51	15.72	15.54	14.71	13.61	12.98
5	14.23	14.96	15.55	15.55	15.09	14.74	14.90	15.39	15.63	15.24	14.47	13.98
0	15.07	15.53	15.71	15.27	14.47	13.97	14.15	14.95	15.61	15.66	15.23	14.90
South												
- 5	15.81	15.98	15.75	14.88	13.76	13.12	13.39	14.41	15.46	15.96	15.89	15.72
-10	16.45	16.33	15.67	14.37	12.95	12.18	12.51	13.76	15.20	16.15	16.45	16.44
-15	16.98	16.55	15.48	13.76	12.06	11.17	11.54	13.01	14.82	16.21	16.89	17.06
-20	17.40	16.66	15.16	13.05	11.09	10.10	10.51	12.17	14.33	16.16	17.22	17.57
-25	17.71	16.65	14.73	12.24	10.05	8.97	9.42	11.25	13.73	15.99	17.43	17.97
-30	17.91	16.52	14.19	11.34	8.95	7.80	8.28	10.25	13.03	15.70	17.54	18.27
-35	17.99	16.27	13.54	10.36	7.80	6.61	7.10	9.18	12.23	15.29	17.52	18.46
-40	17.98	15.92	12.79	9.31	6.61	5.40	5.89	8.06	11.33	14.78	17.40	18.54
-45	17.86	15.46	11.91	8.19	5.41	4.19	4.09	6.89	10.35	14.16	17.18	18.54
-50	17.66	14.90	11.00	7.02	4.20	3.02	3.49	5.68	9.29	13.45	16.87	18.46
-55	17.40	14.25	9.98	5.81	3.01	1.90	2.34	4.46	8.16	12.64	16.49	18.33
-60	17.12	13.54	8.88	4.57	1.88	0.91	1.28	3.24	6.97	11.76	16.07	18.20

$$C = CT \times CH \times CW \times CE \quad (1a)$$

en la cual:

$$CT = .23 + .77 * TM/25 \quad (1b)$$

(TM es temperatura media en °C)

$$CH = (1.00 - HM)/.30 \text{ con un valor máximo de } 1.24 \quad (1c)$$

(HM es humedad relativa media expresada decimalmente)

$$CW = .80 + .20 (W10/8) \quad (1d)$$

W10 es viento a 10 m. sobre el nivel del suelo en km/hr)

$$CE = .94 + .06 (EL/1000) \quad (1e)$$

(EL es elevación en metros) (Para Santa Cruz, CE = .966)

La precipitación confiable está aquí definida como la precipitación mensual media que ocurre con una base de probabilidad de 3 años en cada cuatro, o sea setenta y cinco por ciento del tiempo. Este setenta y cinco por ciento de probabilidad es arbitrario pero ha sido seleccionado por ser práctico y realístico para usarse en los análisis de las necesidades y requerimientos de riego.

En el área bajo estudio, la precipitación varía ampliamente de año a año, tanto en cantidades anuales como con respecto a valores mensuales. En Barreras el año con record más bajo es 1933 con 830 mm de lluvia. En 1958 la precipitación totalizó 2040 mm. Las variaciones entre los valores absolutos mínimos y máximos para la lluvia mensual registrada son grandes para todos los meses. En Barreras las extremas para Enero son 39 y 575 mm. y para Julio, 0 y 245 mm. Bajo estas condiciones el promedio de precipitación no es una medida confiable de la cantidad de humedad de la que puede depender

$$C = CT \times CH \times CW \times CE \quad (1a)$$

in which:

$$CT = .23 + .77 * TM/25 \quad (1b)$$

(TM is mean temperature in °C)

$$CH = (1.00 - HM)/.30 \text{ with a maximum value of } 1.24 \quad (1c)$$

(HM is mean relative humidity expressed decimally)

$$CW = .80 + .20 (W10/8) \quad (1d)$$

(W10 is Wind at 10 m above ground level in km/hr.)

$$CE = .94 + .06 (EL/1000) \quad (1e)$$

(EL is elevation in meters.) (For Santa Cruz, CE = .966)

Dependable precipitation is herein defined as the mean monthly precipitation that occurs on a probability basis three years out of four, or seventy-five percent of the time. This seventy-five percent probability is arbitrary but has been selected as being practical and realistic for use in the analysis of needs and requirements for irrigation.

In the area under study, precipitation varies widely from year to year both in annual amounts and with respect to monthly values. At Barreras the lowest year of record is 1933 with 830 mm of rainfall. In 1958 precipitation totaled 2040 mm. Variations between absolute minimum values and absolute maximum recorded monthly rainfall are great for all months. At Barreras the extremes for January are 39 and 575 mm, and for July, 0 and 245 mm. Under these conditions, average precipitation is not a reliable measure of the amount of moisture that can be depended

Este estudio considera la producción agrícola general con particular énfasis sobre los requerimientos de riego de la caña de azúcar. Se cree que para los niveles altos de producción alguna deficiencia puede ser tolerada en un mes dado durante uno de los cuatro años. Probablemente un mes deficiente no seguirá o será seguido por otro mes deficiente excepto durante la marcada estación seca, y también los suelos del área son probablemente capaces de adelantar de 100 a 150 mm de humedad disponible en la zona de las raíces de cultivo.

Una ecuación basada sobre los datos de precipitación de Venezuela, Colombia, Santa Cruz y Barreras que computa la precipitación confiable al 75% de probabilidad para el área bajo estudio es:

$$PD = -A + B(PM) \quad (2)$$

en la que:

PD = precipitación confiable en mm

PM = precipitación media en mm

$$A = .023 PMA \quad (2a)$$

$$B = .67 + .04 (PMA/100)^{.50} \text{ para } PMA > 1000 \text{ y} \quad (2b)$$

$$B = .25 (PMA/100)^{.50} \text{ para } PMA < 1000 \quad (2c)$$

en la cual:

PMA = precipitación anual media en mm

This study considers general agricultural production with particular emphasis upon the irrigation requirements of sugar cane. It is believed that for high levels of production some deficiency can be tolerated in a given month during one year out of four. Probably one deficient month will not follow or be followed by a deficient month except during the market dry season, and also the soils of the area are probably capable of carrying forward 100 to 150 mm of available moisture in the crop root zone.

An equation based upon Venezuelan, Colombian, Santa Cruz and Barreras precipitation data that computes dependable precipitation at the 75 percent probability for the area under study is:

$$PD = -A + B (PM) \quad (2)$$

in which:

PD = dependable precipitation in mm

PM = mean precipitation in mm

$$A = .023 PMA \quad (2a)$$

$$B = .67 + .04 (PMA/100)^{.50} \text{ for } PMA > 1000 \text{ and} \quad (2b)$$

$$B = .25 (PMA/100)^{.50} \text{ for } PMA < 1000 \quad (2c)$$

in which:

PMA = mean annual precipitation in mm

El valor más bajo para A en la ecuación 2 fue usado para una computación preliminar hecha en Santa Cruz, Bolivia. Un análisis posterior usando una computadora en la Universidad del Estado de Utah indica que la ecuación 2 como la dada arriba aproxima la precipitación confiable al 75% del nivel de probabilidad para las condiciones de Santa Cruz.

Christiansen (3) proporcionó un análisis de la confiabilidad de valores de lluvia media para longitudes variables del período de registro usando los datos del registro disponible de 40 años para Barreras, Bolivia. El valor medio de 40 años es tomado como normal. La media de un período continuamente móvil de 5 años para Julio varía del 26 por ciento al 191 por ciento de la media de los 40 años. Las variaciones mensuales y por períodos de 5, 10, 15, 20, 25, 30 y 35 años son dadas en la Tabla 2.

Una revisión de la Tabla 2 indica que por los datos de Barreras y tomando el mes de Junio como un ejemplo, los valores medios para un período de 25 años pueden diferir en un 24 por ciento para una media de 40 años y en un 16 por ciento para una media de 30 años. En resumen, ni la ecuación 2 ni el método graduado para la determinación de probabilidad o confiabilidad de lluvia proveen un índice preciso de la confiabilidad de lluvia para períodos cortos de registro.

El déficit de evapotranspiración, ETDF, es la diferencia entre evapotranspiración potencial, ETP, y la precipitación confiable, PD.

$$ETDF = ETP - PD \quad (3)$$

El índice de la disponibilidad de humedad, MAI, es la relación de precipitación confiable, PD, dividida por la evapotranspiración potencial, ETP.

A lower value for A in Equation 2 was used for a preliminary computation made in Santa Cruz, Bolivia. Further analysis using a computer at Utah State University indicates that Equation 2, as given above approximates the dependable precipitation at the 75 percent probability level for conditions at Santa Cruz.

Christiansen (3) provided an analysis of the reliability of mean rainfall values for varying length of period of record using the data from the 40-year record available from Barreras, Bolivia. The 40-year mean value is taken as standard. The mean of continuously moving five-year period for July varies from 26 percent to 191 percent of the 40-year mean. The variations by months and for periods of 5, 10, 15, 20, 25, 30 and 35 years are given in Table 2.

A review of Table 2 indicates that for the Barreras data, and taking the month of June as an example, mean values for 25-year period may differ by 24 percent from the 40-year mean and by 16 percent for a 30-year mean. In brief, neither Equation 2 nor the ranking method of determining probability or dependability of rainfall provides an accurate index of the dependability of rainfall for short periods of record.

The evapotranspiration deficit, ETDF, is the difference between potential evapotranspiration, ETP, and dependable precipitation, PD.

$$ETDF = ETP - PD \quad (3)$$

The moisture availability index, MAI, is the ratio of dependable precipitation, PD, divided by potential evapotranspiration, ETP.

Tabla 2.- Variaciones en la lluvia media de acuerdo con la longitud del registro, usando como normal la media de 40 años - Barreras, Bolivia (40 años de registro para las relaciones extremas en años consecutivos).

Mes	Media en mm.	5 Años	10 Años	15 Años	20 Años	25 Años	30 Años	35 Años
Enero	214.3	1.60 .61	1.49 .69	1.24 .81	1.10 .90	1.08 .97	1.10 .97	1.04 1.00
Feb	175.6	1.58 .56	1.39 .69	1.28 .84	1.12 .97	1.13 1.00	1.08 .98	1.02 .98
Marzo	146.9	1.55 .61	1.13 .68	1.17 .82	1.10 .84	1.09 .90	1.09 .92	1.03 .90
Abril	99.8	1.85 .36	1.56 .65	1.28 .75	1.16 .81	1.12 .77	1.09 .83	1.04 .98
Mayo	85.2	1.50 .57	1.35 .75	1.21 .87	1.12 .88	1.08 1.00	1.08 .96	1.04 .97
Junio	87.8	1.54 .16	1.43 .60	1.26 .87	1.20 .83	1.24 .95	1.16 .98	1.07 1.01
Julio	52.5	1.91 .26	1.34 .68	1.16 .73	1.22 .84	1.11 .93	1.13 .94	1.08 1.01
Agosto	38.5	1.67 .27	1.34 .72	1.31 .81	1.15 .92	1.16 .96	1.07 .98	1.04 .95
Sept	82.9	1.63 .46	1.44 .58	1.22 .75	1.22 .96	1.20 .94	1.12 .94	1.05 .99
Oct	111.4	1.37 .45	1.26 .70	1.18 .85	1.20 .92	1.12 .92	1.17 .96	1.05 .97
Nov	125.4	1.61 .60	1.30 .70	1.19 .89	1.17 .96	1.15 .99	1.07 1.00	1.03 1.00
Dic	186.5	1.32 .69	1.19 .86	1.09 .89	1.12 .96	1.08 .95	1.04 .97	1.02 1.00

Table 2.- Variations in mean rainfall with length of record using a 40-year mean as standard - Barreras, Bolivia (40 years of record of extreme ratios for consecutive years).

Month	Mean mm	5 Years	10 Years	15 Years	20 Years	25 Years	30 Years	35 Years
Jan	214.3	1.60 .61	1.49 .69	1.24 .81	1.10 .90	1.08 .97	1.10 .97	1.04 1.00
Feb	175.6	1.58 .56	1.39 .69	1.28 .84	1.12 .97	1.13 1.00	1.08 .98	1.02 .98
March	146.9	1.55 .61	1.13 .68	1.17 .82	1.10 .84	1.09 .90	1.09 .92	1.03 .90
April	99.8	1.85 .36	1.56 .65	1.28 .75	1.16 .81	1.12 .77	1.09 .83	1.04 .98
May	85.2	1.50 .57	1.35 .75	1.21 .87	1.12 .88	1.08 1.00	1.08 .96	1.04 .97
June	87.8	1.54 .16	1.43 .60	1.26 .87	1.20 .83	1.24 .95	1.16 .98	1.07 1.01
July	52.5	1.91 .26	1.34 .68	1.16 .73	1.22 .84	1.11 .93	1.13 .94	1.08 1.01
Aug	38.5	1.67 .27	1.34 .72	1.31 .81	1.15 .92	1.16 .96	1.07 .98	1.04 .95
Sept	82.9	1.63 .46	1.44 .58	1.22 .75	1.22 .96	1.20 .94	1.12 .94	1.05 .99
Oct	111.4	1.37 .45	1.26 .70	1.18 .85	1.20 .92	1.12 .92	1.17 .96	1.05 .99
Nov	125.4	1.61 .60	1.30 .70	1.19 .89	1.17 .96	1.15 .99	1.07 1.00	1.03 1.00
Dec	186.5	1.32 .69	1.19 .86	1.09 .89	1.12 .96	1.08 .95	1.04 .97	1.02 1.00

REQUERIMIENTOS DE RIEGO O EVALUACION CLIMATICA

Este análisis es hecho usando los datos combinados de Santa Cruz y Saavedra dados arriba, basándose en una comparación con los datos de lluvia de Las Barreras y La Esperanza, se considera que es típico para el área.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL/ PROMEDIO
Prec Máxima	396	296	360	252	408	233	224	121	180	292	232	463	1800
Prec Mínima	64	23	15	6	2	2	0	0	0	25	24	64	711
Prec Media	175	157	121	94	80	69	63	35	64	109	113	181	1261
Prec Con (PD)	115	118	57	41	34	27	9	5	21	62	78	103	1071
ET Pot (ETP)	148	127	135	110	100	82	120	159	196	217	214	191	1799
Déficit ET	33	9	78	69	66	55	111	154	175	155	136	88	1129
MAI	.78	.93	.42	.37	.34	.33	.08	.03	.11	.29	.36	.54	.38
% Adec	57	75	39	36	21	25	21	0	0	4	4	36	26

Christiansen y Hargreaves (1) dan valores de la evapotranspiración de la caña de azúcar que varían desde .50 veces la evaporación de tanque Clase A, después de la cosecha o después de la siembra hasta .90 veces la evaporación durante máxima cobertura del cultivo y las ratas máximas de crecimiento. Este rango es aproximadamente .67 a 1.20 veces la evapotranspiración potencial. Considerando que los suelos del área son capaces de almacenar aproximadamente un promedio de 150 mm de humedad en la zona de las raíces del cultivo y que las eficiencias de riego son usualmente las más bajas después de la siembra o después de la cosecha cuando las plantas son pequeñas, se propone que el riego sea programado de acuerdo con la evapo-

IRRIGATION REQUIREMENTS OR CLIMATIC EVALUATION

This analysis is made using the combined data from Santa Cruz and Saavedra given above. Based upon a comparison with rainfall data for Las Barreras and La Esperanza, it is considered typical for the area.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL/ AVERAGE
Max Prec	396	296	360	252	408	233	224	121	180	292	232	463	1800
Min Prec	64	23	15	6	2	2	0	0	0	25	24	64	711
Mean Prec	175	157	121	94	80	69	63	35	64	109	113	181	1261
Dep Prec (PD)	115	118	57	41	34	27	9	5	21	62	78	103	1071
Pot ET (ETP)	148	127	135	110	100	82	120	159	196	217	214	191	1799
ET Deficit	33	9	78	69	66	55	111	154	175	155	136	88	1129
MAI	.78	.93	.42	.37	.34	.33	.08	.03	.11	.29	.36	.54	.38
% Adeq	57	75	39	36	21	25	21	0	0	4	4	36	26

Christiansen and Hargreaves (1) give values of sugar cane evapotranspiration that vary from .50 times class A pan evaporation after harvest or after planting to .90 times evaporation during maximum crop cover and maximum rates of growth. This range is roughly .67 to 1.20 times potential evapotranspiration. Considering that the soils of the area are capable of storing roughly an average of 150 mm of moisture in the crop root zone and that irrigation efficiencies are usually lowest after planting or after harvest when the plants are small, it is proposed that irrigation be scheduled in accordance with the calculated potential

transpiración potencial calculada en tal forma de compensar el déficit de evapotranspiración computada.

Una revisión de los registros de lluvia del período 1945-70 indica un promedio aproximado de cinco meses de una seria falta de humedad para el buen crecimiento de la caña. El año 1947 muestra poco déficit de humedad. En 1970 cerca de 10 meses pueden ser considerados como meses de déficit. El período más común de la falta de humedad es de Junio 15 a Noviembre 15.

El porcentaje de lluvia adecuado, % Adec, dado arriba es el porcentaje de años durante los 28 años del registro combinado de Santa Cruz y Saavedra, durante los cuales la lluvia es igual a o mayor que la evapotranspiración potencial computada. Se podrá notar que de un examen de valores de % Adec, dados arriba, que la lluvia equivale o excede la evapotranspiración potencial 39% del tiempo durante el período de Diciembre hasta Julio pero para el período de cuatro meses de Agosto a Noviembre la lluvia equivale o excede la evapotranspiración potencial solo alrededor del 2 por ciento del tiempo. Si deducimos dos meses para la cosecha, entonces esencialmente dos meses de producción se pierden normalmente debido a la falta de humedad, y un mes adicional está normalmente en seria deficiencia. Para los siete meses restantes una seria escasez en la producción, debido a la falta de humedad ocurre aproximadamente durante la mitad del tiempo. Claramente hay una necesidad para el riego y los aumentos sustanciales de la producción son posibles por medio de riego.

evapotranspiration so as to make up the computed evapotranspiration deficit.

A review of the rainfall records for the period of 1945-70 indicates an average of about five months of serious moisture shortage for good cane growth. The year 1947 shows little moisture deficit. In 1970 about 10 months can be considered deficit months. The most usual period of moisture shortage is June 15 to November 15.

The percent of adequacy of rainfall, % Adeq, given above is the percentage of years in the 28-year combination record for Santa Cruz and Saavedra during which rainfall is equal to or greater than the computed potential evapotranspiration. It will be noted from an examination of the Percent of Adequacy values given above that rainfall equals or exceeds potential evapotranspiration 39 percent of the time during the period December through July but for the four month period August through November it equals or exceeds potential evapotranspiration only about 2 percent of the time. If we deduct two months for harvest then essentially two months production are normally lost due to moisture shortage and an additional month is normally seriously deficient. For the remaining seven months serious lack of production due to moisture shortage occurs about half of the time. Clearly there is a need for irrigation and substantial increases in production are possible from irrigation.

ABASTECIMIENTO DE AGUA

La Dirección de Aguas Subterráneas de la Corporación Boliviana de Fomento ha perforado 250 pozos en el área general. Informan que el 70 por ciento son de un diámetro de 4" con un promedio de profundidad de 70 metros y un promedio de producción de 10,000 lt/hr. Veinticinco por ciento son de 6" a 8" de diámetro con un promedio de profundidad de 90 metros. Informan que la producción promedio es 20,000 lt/hr para los pozos de 6" y 60,000 lt/hr en los pozos de 8". Para un pozo de 8" con diseño especial usando mallas múltiples se reporta que produce 140,000 lt/hr. Los niveles estáticos de agua desde cerca de la superficie hasta 15 metros de profundidad son reportados. Las profundidades máximas de bombeo (niveles dinámicos de agua) varían en profundidad desde los 4 hasta los 40 metros. Los costos para perforación, entubado y desarrollo de pozos reportan ser de aproximadamente US\$ 65.00 por metro de profundidad para pozos de 8" y de cerca de US\$ 100.00 por metro de profundidad para los pozos de 12" de diámetro.

Si se supone que un pozo de 12" producirá dos veces más que el promedio para los pozos de 8", esto resulta en un rendimiento promedio estimado en 120,000 lt/hr. Si nosotros damos el promedio del déficit de evapotranspiración calculado en 146 mm por mes durante el período de Julio hasta Noviembre y suponiendo un 10 por ciento del tiempo en que no opera el bombeo o 21.6 horas de operación por día y un 70 por ciento de eficiencia de aplicación de riego, entonces un pozo que produce 120,000 lt/hr es adecuado para el riego de aproximadamente 37 hectáreas de caña de azúcar. Si se asume un promedio de profundidad de 100 metros, esto resulta en un costo promedio de US\$ 10,000.00

WATER SUPPLY

The Dirección de Aguas Subterráneas of the Corporación Boliviana de Fomento has drilled 250 wells in the general area. They reported that 70 percent are of 4" diameter with an average depth of 70 meters and an average yield of 10,000 l/hr. Twenty-five percent are of 6" to 8" diameter with an average depth of 90 meters. Yields are reported to average 20,000 l/hr for the 6" wells and 60,000 l/hr in the 8" wells. One 8" well with a special design using multiple well screens is reported to yield 140,000 l/hr. Static water levels of from near the surface down to 15 meters are reported. Maximum pumping draw downs (dynamic water levels) vary in depth from four to 40 meters. Costs for well drilling, casing and development are reported to be about \$65 per meter of depth for 8" wells and about \$100 per meter of depth for 12" wells.

If it is assumed that a 12" well will produce twice as much as the current average for the 8" wells, this results in an estimated average yield of 120,000 l/hr. If we supply the average calculated evapotranspiration deficit of 146 mm per month during the period July through November and assuming 10 percent pump shutdown time or 21.6 pump operating hours per day and a 70 percent irrigation application efficiency, then a well yielding 120,000 l/hr is adequate for the irrigation of about 37 hectares of sugar cane. If an average depth of 100 meters is assumed, this results in an average cost of \$10,000 per well exclusive of pump costs. Pump, motor and land preparation for irrigation will probably total about \$10,000 per well. At 9% interest and an 8-year pay out, total fixed costs

Lo anterior no incluye costos de operación de bombeo. Los costos de pozo serán sin embargo reducidos con aumento en el volumen de instalación de pozos.

El período de cosecha de caña de azúcar normalmente es de Abril hasta Septiembre. Mejores rendimientos son reportados para el año siguiente para la cosecha de Abril, ya que la probabilidad de humedad adecuada para una buena producción de retoños en la caña es más favorable. Considerando que la actual evapotranspiración de la caña es en promedio cerca del 70 al 75 por ciento de la potencial y teniendo en cuenta la cantidad promedio de precipitación confiable, un buen riego después de la cosecha o de la siembra debería producir aumentos muy significativos en los rendimientos. Un riego bruto de 150 mm, asumiendo un 70 por ciento de eficiencia podría en promedio garantizar un nivel de humedad adecuado para cerca de 3 a 6 semanas, dependiendo del tiempo de riego. Esto mejoraría el follaje de la caña y haría que el uso de fertilizantes y de otras prácticas mejoradas de manejo sean más deseables. Un cálculo aproximado es que en promedio un solo riego puede hacer posible un aumento de la producción del 40 al 50 por ciento. Este procedimiento sugerido debiera probarse ampliamente en el campo. Por medio de una apropiada rotación, un pozo capaz de irrigar 50 hectáreas con una base continua podría abastecer de agua para un solo riego hasta para 300 hectáreas.

El Río Grande posiblemente puede ser considerado como un recurso alternativo para el abastecimiento de agua. Esto sin duda requerirá una gran inversión de capital y podría ser considerado más adelante solamente

The above does not include pump operating costs. Well costs will, however, be reduced with increased volume of well installations.

The cane harvest period is normally April through September. Better yields the succeeding year are reported for the April harvest as the probability of adequate moisture for a good ratoon production is more favorable. Considering that actual evapotranspiration of cane averages about 70 to 75 percent of potential and making allowance for the average amount of dependable precipitation, one good irrigation following harvest or following planting should produce very substantial increases in yields. A gross irrigation of 150 mm assuming a 70 percent efficiency would on the average guarantee an adequate moisture level for about three weeks to six weeks depending upon the time of irrigation. This would improve the stand of cane and make use of fertilizer and other improved management practices more desirable. A rather rough guess is that on the average a single irrigation might make possible an increase in production of 40 to 50 percent. This suggested procedure should receive thorough field testing. By proper rotation a well capable of irrigating 50 hectares on a continuing basis might supply water for a single irrigation to as much as 300 hectares.

The Rio Grande might possibly be considered as an alternative source of water supply. This would undoubtedly require a large capital outlay and should best be considered only after

cuando los beneficios económicos estén bien establecidos por medio del desarrollo del agua subterránea.

MÉTODOS PARA AUMENTAR LA PRODUCCION

La experiencia en otras áreas similares indica que el agua de riego adecuadamente distribuida podría más que duplicar los rendimientos. Esto también es indicado por la rata de disponibilidad de humedad, MAI, de 38. Las necesidades de agua adicional están claramente indicadas. Los que no están claros son los posibles resultados de los medios alternativos para aumentar la producción. Los posibles efectos beneficiosos en los rendimientos de las diferentes prácticas posibles necesitan una evaluación más amplia.

Se observaron algunos campos de caña de azúcar donde existía una seria competencia de mala hierba. En un campo era obvio que la maleza usaba más humedad del suelo que la caña. Se sabe que el deshierbar las malezas pronto y completamente durante las primeras etapas de crecimiento de la caña aumenta de manera significativa la producción por tonelaje de caña.

La densidad de la planta y el espaciamiento en las hileras así como las variedades de la caña tienen relación con la producción total. Las fechas son de considerable importancia. Basándose en los datos de lluvia anteriores, sembrar durante el período de Julio a Octubre es bastante especulativo.

Se hizo un intento para obtener información sobre los beneficios y

benefits from irrigation have been well established through ground water development.

METHODS FOR INCREASING PRODUCTION

Experience in other similar areas indicates that irrigation water properly distributed could more than double yields. This is also indicated by the moisture availability ratio, MAI, of .38. The needs for additional water are clearly indicated. What are not so clear are the possible results from alternative means of increasing production. The possible beneficial effects on yields of several possible practices need further evaluation.

Some fields of sugar cane were observed where weed competition was severe. In one field it seemed obvious that weeds were using more soil moisture than the cane. Prompt and thorough weed removal during early stages of cane growth is known to produce marked increases in cane tonnage production.

Plant density and row spacing as well as cane varieties relate to total production. Planting dates are of considerable importance. Based on the above rainfall data, planting during the July through October period is rather speculative.

An attempt was made to obtain information upon the benefits and costs of cane fertilization. Although some experimental and demonstration work is in progress, not enough is yet known

mentales y de demostración está en progreso; no se sabe lo suficiente como para poder definir las necesidades y los posibles beneficios que puedan derivarse de la fertilización de la caña.

El riego no debe ser considerado como una práctica individual sino como uno de los aspectos del desarrollo hacia un nivel más alto de tecnología en la agricultura. Frecuentemente un conocimiento de posibles beneficios de una diversidad de otras prácticas de manejo es requerida como prerequisite para una sólida planificación de riego. Muy poca información se encuentra disponible acerca de los efectos de prácticas de manejo combinadas y mejoradas, o de la interacción de riego, variedades mejoradas, densidades de siembra y espaciamiento, niveles de aplicación de fertilizante, etc.

Los costos y beneficios relativos al posible desarrollo de riego no son fácilmente obtenibles, mayormente debido a que ha habido poca experiencia previa con riego. El obtener una experiencia en una escala medianamente pequeña debiera ser un prerequisite para el desarrollo de riego en gran escala, aunque los datos anteriores indican que el riego tendrá un papel muy importante en el futuro. El desarrollo de riego en una escala importante antes de disponer de una mayor experiencia en otras prácticas de manejo podría resultar en un fracaso inicial y demoraría así los posibles beneficios que pueden derivarse del riego.

Una comparación más cuidadosa es necesaria entre los posibles beneficios económicos que se derivarán de una producción más extensiva, comparados con el uso más intensivo de la tierra. Se sabe que tierras de

to define the needs for and possible benefits that may be derived from cane fertilization.

Irrigation should seldom be considered as a single practice, but rather as only one aspect of development to a higher level of technology in agriculture. Frequently a knowledge of possible benefits from a variety of other management practices is required as a prerequisite to sound irrigation planning. Very little information is available on the effects of combined improved management practices on the interaction of irrigation, improved varieties, planting densities and spacing, levels of fertilizer application, etc.

Costs and benefits relative to possible irrigation development are not easily obtained, largely because there has been little previous experience with irrigation. Obtaining experience on a fairly small scale should be prerequisite to large scale irrigation development, although the above data indicate a very important role for irrigation in the future. Irrigation development on an important scale prior to greater experience in other management practices could result in an initial failure, and thus delay the possible benefits that are to be derived from irrigation.

A more careful comparison is needed between the possible economic benefits to be derived from more extensive production as compared to more intensive land use. It is reported that good quality lands

buena calidad adaptables para la producción de la caña de azúcar pueden ahora comprarse desde US\$ 50.00 hasta US\$ 125.00 por hectárea.

Los costos para el aumento de producción de una área ampliada en la producción de cultivos necesitan ser cuidadosamente comparados con los de prácticas agrícolas más intensivas, incluyendo el riego, en las áreas existentes ahora establecidas para la caña. Es necesario hacer una comparación cuidadosa entre el riego completo y el déficit de riego (un riego después de la cosecha) para poder definir más claramente los posibles y probables beneficios y costos.

RIEGO POR ASPERSION - DEFICIT DE APLICACION

La posibilidad para usar el riego por aspersión fue analizada por el Departamento de Ingeniería Agrícola y de Irrigación de la Universidad del Estado de Utah. Las condiciones asumidas como una base para diseñar y estimar los costos son los siguientes:

Se supone que un pozo de 12" ha sido perforado y desarrollado a una profundidad de 100 metros e instalada una bomba y motor para poder bombear 90,000 metros cúbicos de agua por mes, asumiendo la operación de bomba del 90% del tiempo total. La máxima depresión del agua del pozo es de 40 metros.

La temporada de cosecha de la caña de azúcar es de Abril hasta Septiembre e incluye algunas veces Octubre. Los rendimientos de la caña están seriamente limitados debido a las deficiencias de humedad, particularmente durante el período de Junio 15 a Noviembre 15. La situación limitante de mayor importancia es la falta de humedad para comenzar una buena saca o para un buen follaje después de una nueva siembra.

Los suelos tienen una buena capacidad de retención del agua y son

suitable for sugar cane production can now be purchased for about \$50 to \$125 per hectare.

The costs of increasing production on an expanded area in crop production need to be carefully compared with costs of more intensive agricultural practices, including irrigation, on the existing areas now planted to cane. A careful comparison between full irrigation and deficit irrigation (one irrigation following harvest) is needed in order to more clearly define possible and probable benefits and costs.

SPRINKLER IRRIGATION - DEFICIT APPLICATION

The possibility of using sprinkler irrigation was analyzed by the Department of Agricultural and Irrigation Engineering at Utah State University. The conditions assumed as the basis for designing and cost estimating are as follows.

It is assumed that a 12" well has been drilled and developed to a depth of 100 meters and pump and motor installed so as to pump 90,000 cubic meters of water per month, assuming pump operation at 90% of total time. Maximum well draw down is 40 meters.

The cane harvest season is April through September and sometimes, also, includes October. Cane yields are seriously limited due to moisture deficiencies, particularly during the period June 15 to November 15. The most important limiting situation is lack of moisture to start a good ratoon stand or a good stand following a new planting.

The soils are of good water holding capacity capable of holding

capaces de retener un mínimo de 150 mm/m de humedad inmediatamente utilizable en la zona de las raíces del cultivo. La topografía es bastante uniforme con pendientes del uno por ciento o menos. El área es una llanura aluvial solamente con irregularidades menores en la superficie. Las ratas de infiltración del suelo son de 8 a 12 mm por hora.

Se plantará la caña en seis campos, cada uno cosechado en diferente mes. Un sistema de riego por aspersion será diseñado para administrar a profundidad conveniente la aplicación de riego durante los 30 días después de la cosecha en cada uno de los seis campos. El tamaño de los campos tiene que ser escogido de manera que la profundidad de la aplicación pueda garantizar un nivel de humedad adecuado (suficiente como para satisfacer los requerimientos normales) y dejar la zona de las raíces (aproximadamente 1.00 metro) a la capacidad de campo o cerca de ella.

Se moverá el sistema en tal forma de regar los seis campos en rotación asumiendo que el pozo está localizado en la parte central. Los costos del sistema incluyen los costos anuales basados en un interés del 9%, depreciados en 8 años, y operados con 2 centavos por KWH de electricidad, la mano de obra a US\$ 2.50/día, y mantenimiento.

El siguiente diseño fue propuesto por Keller (7).

Sistema de Riego por Aspersion Propuesto para Caña de Azúcar en Santa Cruz, Bolivia

- Asunciones:
1. Seis campos a regar aplicando un riego después de la cosecha
 2. La aplicación bruta es de 150 mm o 6"

a minimum of 150 mm/m of readily available moisture in the crop root zone. Topography is fairly uniform with slopes of one percent or less. The area is flood plain alluvium with only minor surface irregularities. Soil infiltration rates are 8 to 12 mm per hour.

Cane is to be planted in six fields, each harvested in a different month. A sprinkler irrigation system is to be designed that will apply a desirable depth of irrigation application during the 30 days following harvest for each of the six fields. Field sizes are to be chosen so that the depth of application will guarantee an adequate level of moisture (sufficient to meet normal requirements) and leave the root zone (about 1.00 meters) at or near the field capacity.

The system is to be moved to irrigate the six fields in rotation, assuming that the well is centrally located for the six fields. costs of the system include annual costs based on interest at 9%, depreciation over 8 years, operation with \$ 02./KWH electricity, labor at US\$ 2.50/day, and maintenance.

The following design was proposed by Keller (7).

Proposed Sprinkler Irrigation System for Sugar Cane at Santa Cruz,

Bolivia

- Assumptions:
1. Six fields are to be irrigated, applying one irrigation following harvest.
 2. Gross application is 150 mm or 6".
 3. Well produces 604 gpm.
 4. Irrigation will be applied 6 days per week, 23 hours per day (26 days per month).

Criterio para el Diseño:

1. 6"/23 hr = .26"/hr
2. Boquilla de 5/32" a 45 lbs/pulg.² da 4.8 gpm por aspersor
3. 604 gpm/4.8 gpm = 126 aspersores. Usar 126 conexiones de 30 pies de tubería (63 de 4" y 63 de 3")
4. Elevación (a) del campo 116 pies
(b) promedio del pozo 110 pies
(c) línea principal 41 pies
(d) Varios 10 pies

277 pies

$$5. \text{ BHP} = \frac{277 \text{ pies} \times 604 \text{ gpm}}{3960 \times 75\% \text{ Ef.}} = 56.4$$

Usar motor eléctrico de 60 HP

Materiales:	1050 m de tubería de 8", a \$10,277.90/1000 m	US\$ 11,200.
	475 m de tubería de 6", a \$6,345.90/1000 m	3,200.
	63 conexiones de 3" y 63 conexiones de tubería de 4" a \$37.20 El precio promedio por conexión completa con elevador y aspersor	4,700.
	Motor de 60 HP a \$30.00/hp	1,800.
	Bomba	2,000.
	Pozo - incluyendo entubado y desarrollo	10,000.
	TOTAL	\$ 32,900.

Requerimientos de Fuerza:

24 hrs/día x 26 días/mes x 6 meses	3,750 hrs
Fuerza a \$.02/KWH, o \$.0184/BHP-hr	
56.4 x .0184 x 3,750 hrs	\$ 3,880.

- Design Criteria:
1. 6"/23 hr = .26"/hr.
 2. 5/32" inch nozzle at 45 psi gives 4.8 gpm per sprinkler.
 3. 604 gpm/4.8 gpm = 126 sprinklers. Use 126 joints of 30' pipe (63 of 4" and 63 of 3").
 4. Lift (a) Field unit 116 ft
(b) Aver. well 110 ft
(c) Main line 41 ft
(d) Miscellaneous 10 ft
277 ft
 5. $BHP = \frac{277 \text{ ft} \times 604 \text{ gpm}}{3960 \times 75\% \text{ Eft.}} = 56.4$

Use 60 HP electric motor.

Materials:	1050 m of 8" pipe at \$10,277.90/1000 m	US\$ 11,200.
	475 m. of 6" pipe at \$6,345.90/1000 m	3,200.
	63 jts. 3" and 63 jts. 4" pipe at \$37.20 average price per joint complete with riser and sprinkler	4,700.
	60 HP motor at \$30.00/hp	1,800.
	Pump	2,000.
	Well - including casing and development	10,000.
	TOTAL	\$ 32,900.

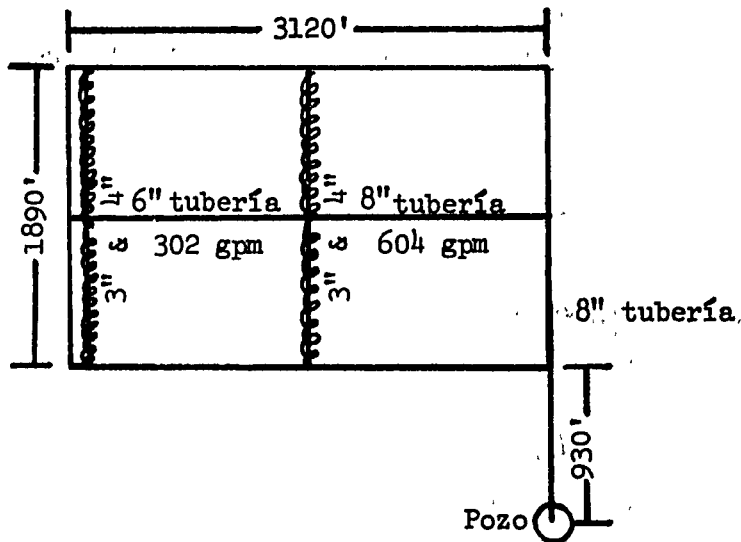
Power Re-quirements:	24 hrs/day x 26 days/mo x 6 mo	3,750 hrs
	Power at \$.02/KWH, or \$.0184/BHP - hr 56.4 x .0184 x 3,750 hrs	\$ 3,880.

Resumen
de Costos

Factor de Recuperación del Capital (CRF)
por 9% de interés y 8 años de amortización =
.1812

Costos fijos	.1812 x \$32,900	\$ 5,960.
Costos de mantenimiento	2.0% de 32,900	658.
Mano de obra, 1 hombre durante 6 meses		600.
Transporte y manejo		600.
Costo anual		\$ 11,698.

Disposición en el Campo:



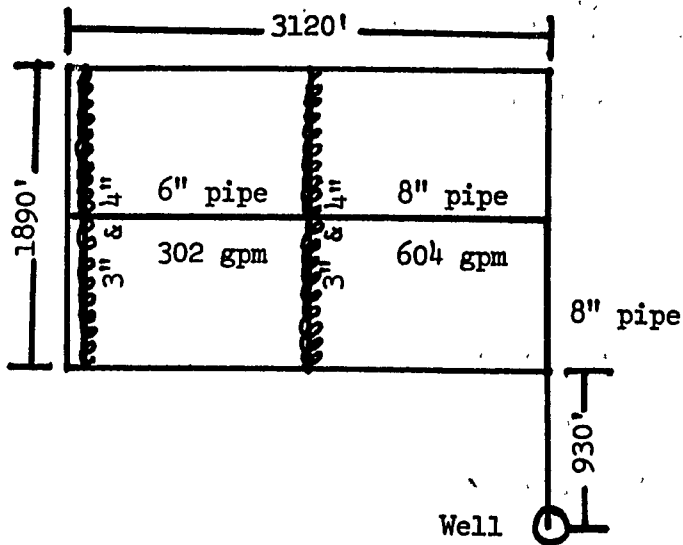
Seis campos de 1890' x 3120'
equivalen a 325 Hectáreas.

Costo por Hectárea

US\$ 11,698. ÷ 325 Ha = \$36.50/Ha/año

Cost Summary:	CRF for 9% interest and 8 years amortization = .1812	
	Fixed costs .1812 x \$32,900.	\$ 5,960.
	Maintenance costs 2.0% of 32,900.	658.
	Labor 1 man for 6 mo	600.
	Transportation and management	600.
	Yearly cost	\$ 11,698.

Field Layout:



Six fields of 1890' x 3120'
are equivalent to 325 Ha

Cost per Hectare: $\$11,698 \div 325 \text{ Ha} = \$36.50/\text{Ha}/\text{yr}$

Monahan y Hardee (8) propusieron una solución alternativa. Ellos asumieron que las aplicaciones de riego son necesarias lo suficiente para aproximadamente satisfacer los déficits de evapotranspiración. Seis campos son irrigados, uno durante cada mes comenzando en Mayo, y terminado a finales de Octubre. Las aplicaciones netas son de 40 mm por mes durante Mayo, Junio, Julio y Octubre, y de 80 mm por mes durante Agosto y Septiembre. De esta propuesta resulta un riego de 730 hectáreas a un costo anual de US\$ 16.50 por hectárea.

Esta propuesta es definitivamente un riego mínimo pero podría asegurar ampliamente un buen herbaje para la siguiente cosecha. No proveería un aumento de rendimientos por hectárea tan grande como la aplicación bruta propuesta de 150 mm. Sin embargo, los costos por hectárea se estiman que son considerablemente más bajos, y tal vez ambas propuestas deberían probarse en el campo por un determinado período de años de manera de poder evaluar los resultados económicos.

La aplicación de un riego después de la cosecha o de la siembra crea una nueva curva en los rendimientos, debido al mejoramiento del herbaje y el agua adicional que se agrega al abastecimiento total en una porción inclinada de la curva del rendimiento. Debido al establecimiento de una nueva curva de rendimiento y del incremento agregado en la parte más inclinada de la curva, un riego enseguida de la cosecha o de la siembra puede aumentar los rendimientos tanto como el 40 o 50%. Sin embargo esto debería ser confrontado mejor por pruebas de campo por un determinado período de años.

Monahan and Hardee (8) proposed an alternative solution. They assumed that irrigation applications are required sufficient to approximately meet the evapotranspiration deficits. Six fields are irrigated, one during each month starting in May and ending at the end of October. Net applications are 40 mm per month during May, June, July and October, and 80 mm per month during August and September. This proposal results in the irrigation of 730 hectares at an annual cost of \$16.50 per hectare.

This proposal is definitely a minimum irrigation but would largely assure a good stand following harvest. It would not provide as large an increase in per hectare yields as the proposed 150 mm gross application. Costs per hectare are, however, estimated to be considerably less, and perhaps both proposals should be field over a period of years in order to evaluate the economic results.

The application of one irrigation following harvest or planting creates a new yield curve due to the improved stand and adds additional water to the total supply at a steep portion of the yield curve. Because of the establishment of a new curve and of the added increment on the steepest portion of the curve, one irrigation following harvest or planting might increase yields as much as 40 to 50 percent. This should, however, be checked by field trials over a period of years.

CONCLUSIONES:

1. Los suelos y la topografía del área, particularmente los de textura más pesada, y de aluviones más recientes son bastante adecuados para la producción de la caña de azúcar.
2. La lluvia varía ampliamente en cantidades y distribución, y aunque el promedio de lluvia es de 70 por ciento de los rendimientos estimados de evapotranspiración potencial, el total anual confiable es de solamente 60 por ciento de los requerimientos estimados y en la distribución mensual, el promedio confiable de lluvia es de 38 por ciento de la evapotranspiración potencial. En resumen, la lluvia satisface un poco menos de mitad de los requerimientos del cultivo normal para la humedad, con lo cual se reducen seriamente los rendimientos.
3. La experiencia hasta la fecha es inadecuada para evaluar los efectos posibles en los rendimientos de prácticas mejoradas de manejo, tales como deshierbar en una etapa temprana, espaciamiento y densidad del cultivo, mejoramiento de variedades, aplicación de fertilizantes, etc.
4. La experiencia de riego a la fecha no se encuentra disponible para definir claramente los costos probables y los posibles beneficios que se deriven del riego.
5. El interés actual en riego resulta parcialmente de la escasa lluvia durante 1970 (711.0 mm en el aeropuerto de Santa Cruz). Basándose en los registros en Santa Cruz, se estima que el promedio de lluvia en el área de crecimiento de la caña es de aproximadamente 56 por ciento del normal durante 1970.

CONCLUSIONS

1. The soils and topography of the area, particularly the heavier textured and more recent alluvium are well suited to the production of sugar cane.
2. Rainfall varies widely in amount and distribution, and although average rainfall is 70 percent of estimated potential evapotranspiration requirements, the dependable annual total is only 60 percent of estimated requirements, and on monthly distribution, the dependable rainfall averages 38 percent of potential evapotranspiration. In short, rainfall meets somewhat less than half of the normal crop requirements for moisture, thereby, seriously reducing yields.
3. Experience to date is inadequate to appraise the possible effects on yields of improved management practices such as weeding at an early stage, spacing and density of planting, variety improvement, fertilizer application, etc.
4. Irrigation experience to date is not available for clearly defining probable costs and possible benefits to be derived from irrigation.
5. The current interest in irrigation results partially from the low rainfall during 1970 (711.0 mm at the Santa Cruz airport). Based upon that recorded at Santa Cruz, it is estimated that rainfall in the cane growing area averaged about 56 percent of normal during 1970.

6. Los valores actuales de tierra varían considerablemente pero se informa que son aproximadamente menores o equivalentes a la propiedad anual y costos de operación para un pozo, bomba, motor y la preparación de tierra requerida para proveer riego adecuado que compense las deficiencias normales de humedad.
7. El riego está destinado a jugar un futuro papel importante en el desarrollo del área y se espera que llegue a ser un importante medio para aumentar la producción agrícola, cuando los valores de tierra y la competencia para el uso de las mejores tierras cause un balance favorable entre los costos de riego normalmente anticipados.
8. Suponiendo que un pozo puede ser usado para irrigar cinco o seis campos o parcelas separadas, cada uno cosechado en diferente mes, entonces los beneficios de un riego que eleve el nivel de humedad hasta la capacidad del campo después de la cosecha o de la siembra parecen ofrecer alguna promesa de demostrar ser económicamente factibles. Un nivel de aplicación de agua un poco más bajo podría también demostrar ser económico.

RECOMENDACIONES

1. Que se instalen por lo menos dos evaporímetros de tanque, clase A, en el área para recolectar datos de evaporación que serían usados para definir con mayor precisión los requerimientos de riego.
2. Que en los sitios de las estaciones de evaporación, también se registren: temperatura, lluvia, velocidades de viento a 10 metros por encima del nivel del suelo, horas de sol y de humedad relativa.

6. Current land values vary considerably but are reported to be roughly less than or equivalent to annual ownership and operation costs for a well, pump, motor and required land preparation for providing irrigation adequate to compensate for normal moisture deficiencies.
7. Irrigation is destined to play an important future role in the development of the area and can be expected to become an important means of increasing agricultural production when land values and competition for the use of the better lands cause a favorable balance between irrigation costs and normally anticipated irrigation benefits.
8. Assuming that one well can be used to irrigate five or six separate fields or plots, each harvested in a different month, then benefits from a single irrigation to bring the soil moisture level up to the field capacity following harvest or following planting appears to offer some promise of proving to be economically feasible. A somewhat lower level of water application might also prove economical.

RECOMMENDATIONS

1. That at least two class A evaporation pans be installed in the area in order to collect data on evaporation to be used in more accurately defining irrigation requirements.
2. That at the sites of the evaporation stations rainfall, temperature, wind velocities at 10 meters above the ground level, sunshine hours and relative humidity be also recorded.

3. Que se intensifique el trabajo de determinar las interacciones de prácticas de manejo, fertilización y riego en los rendimientos de la caña de azúcar.
4. Que se establezca un programa piloto de riego por bombeo con el fin de definir en escala pequeña los costos, beneficios y habilidad de manejo que se relacione lógicamente al planeamiento de un desarrollo mayor y más extenso del área.
5. Que en el desarrollo del proyecto de riego se haga una comparación de riego por surcos a nivel con grandes cargas, surcos con pendiente y riego por aspersión; que se registren las ratas de infiltración en varios tipos de suelos y que se comparen los resultados de cultivo a través de la estación seca con los de un solo riego después de la cosecha o de la siembra.
6. Que se determinen las relaciones de la humedad del suelo para algunos de los suelos típicos y correlacionados con la evaporación de tanque y la frecuencia, y por las cantidades de riego requeridas.
7. Que se revalue el potencial de riego del área tan pronto como los datos adicionales estén disponibles para establecer un análisis más completo y detallado.

3. That work be intensified on determining the interactions of management practices, fertilization and irrigation on sugar cane yields.
4. That a pilot pump irrigation program be established in order to define on a small scale the costs, benefits and management ability that logically relate to the planning of a larger and more widespread development of the area.
5. That the pilot irrigation development make a comparison of level furrow irrigation with large heads, sloping furrows and sprinkler irrigation, that infiltration rates on various soil types be recorded, and that continuous throughout the dry season versus single irrigation following harvest or planting be compared.
6. That soil moisture relationships be determined for some of the typical soils and correlated with pan evaporation and frequency and amounts of irrigation required.
7. That the irrigation potential of the area be reappraised as soon as additional data become available so as to merit a more detailed and thorough analysis.

REFERENCIAS

1. Christiansen, J.E. and Hargreaves, G.H., "Irrigation Requirements from Evaporation and Climatic Data," ("Requerimientos de Riego a partir de Datos de Evaporación y Clima") Question 23, Part II, Seventh Congress on Irrigation and Drainage, International Commission on Irrigation and Drainage, Mexico, 1969.
2. Christiansen, Jerald E. and Hargreaves, George H., "Irrigation Requirements in Latin American Countries," ("Requerimientos de Riego en Países Latino Americanos") Second World Congress of Engineers and Architects, Tel Aviv, Israel, 1970.
3. Christiansen, Jerald E., Profesor Emeritus del Departamento de Ingeniería Agrícola y de Irrigación, Universidad del Estado de Utah. Comunicación personal.
4. Cochrane, Dr. Thomas T., "A Land System Map of Tropical Bolivia," ("Un Mapa del Sistema de Tierras de Bolivia Tropical") Misión Británica en Agricultura Tropical, Ministerio de Asuntos Campesinos y Agricultura, Departamento de Suelos Tropicales, Santa Cruz, Bolivia, 1967.
5. Cochrane, Dr. Thomas T., "An Initial Assessment of the Land Use Potential of the Central Piedmont and the Santa Cruz Regions of Tropical Bolivia," ("Una Evaluación Inicial del Uso Potencial de Tierra en las Regiones del Pie de Monte Central y Santa Cruz de Bolivia Tropical") Misión Británica en Agricultura Tropical, Ministerio de Agricultura, La Paz, Bolivia, 1968.
6. Comisión Nacional de Estudio de la Caña y del Azúcar, "La Industria Azucarera Boliviana," 1969-70, La Paz, Bolivia, 1970.
7. Keller, Dr. Jack, Profesor Asociado, Universidad del Estado de Utah. Comunicación personal.
8. Monahan, Mike and Hardee, Jim, Estudiantes Graduados, Universidad del Estado de Utah. Comunicación personal.
9. Pruitt, W.O., "Empirical Method of Estimating Evapotranspiration using Primarily Evaporation Pans," ("Método Empírico para Estimar la Evapotranspiración usando Principalmente Evaporímetros de Tanque") Evapotranspiration and Its Role in Water Resources Management, (Evapotranspiración y su Papel en el Manejo de los Recursos de Agua), ASAE Conf. Proc., 1966, 57, 61.
10. Servicio Meteorológico y Servicio Agrícola Interamericano del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Colonización, "El Clima de Santa Cruz de la

REFERENCES

1. Christiansen, J.E. and Hargreaves, G.H., "Irrigation Requirements from Evaporation and Climatic Data," Question 23, Part II, Seventh Congress on Irrigation and Drainage, International Commission on Irrigation and Drainage, México, 1969.
2. Christiansen, Jerald E., and Hargreaves, George H., "Irrigation Requirements in Latin American Countries," Second World Congress of Engineers and Architects, Tel Aviv, Israel, 1970.
3. Christiansen, Jerald E., Professor Emeritus, Agricultural and Irrigation Engineering, Utah State University, Personal Communication.
4. Cochrane, Dr. Thomas T., "A Land System Map of Tropical Bolivia," Misión Británica en Agricultura Tropical, Ministerio de Asuntos Campesinos y Agricultura, Departamento de Suelos Tropicales, Santa Cruz, Bolivia, 1967.
5. Cochrane, Dr. Thomas T., "An Initial Assessment of the Land Use Potential of the Central Piedmont and the Santa Cruz Regions of Tropical Bolivia," Misión Británica en Agricultura Tropical, Ministerio de Agricultura, La Paz, Bolivia, 1968.
6. Comisión Nacional de Estudio de la Caña y del Azúcar, "La Industria Azucarera Boliviana," 1969-70, La Paz, Bolivia, 1970.
7. Keller, Dr. Jack, Associate Professor, Utah State University, Personal Communication.
8. Monahan, Mike, and Hardee, Jim, Graduate Students, Utah State University, Personal Communication.
9. Pruitt, W.O., "Empirical Method of Estimating Evapotranspiration using Primarily Evaporation Pans," Evapotranspiration and Its Role in Water Resources Management, ASAE Conf. Proc., 1966, 57, 61.
10. Servicio Meteorológico y Servicio Agrícola Interamericano del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Colonización, "El Clima de Santa Cruz de la Sierra," La Paz, Bolivia, 1958.