

MINISTERIO DE AGRICULTURA
DIRECCION GENERAL DE AGUAS

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS
DIRECCION REGIONAL PARA LA ZONA ANDINA



**PROCEDIMIENTOS RECOMENDADOS
PARA EL CALCULO DEL USO
CONSUNTIVO Y NECESIDADES
DE RIEGO EN LOS CULTIVOS**

Instructivo

(Versión preliminar)

29 I5978p 1975

LIMA - PERU, 1975



REC 630.212 I 574 P 1975

MINISTERIO DE AGRICULTURA
Dirección General de Aguas

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS-OEA
Dirección Regional para la Zona Andina

PROCEDIMIENTOS RECOMENDADOS PARA EL
CALCULO DEL USO CONSUNTIVO Y NECESIDADES
DE RIEGO DE LOS CULTIVOS

Instructivo preparado en colaboración de los técnicos de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Agricultura, Ing. Porfirio Mejía Díaz, Federico Pejerrey U., Félix Hatta S., Antonio Craff Z y el Ing. Jorge A. Luque, Especialista en Riego del IICA y Asesor de dicha Dirección General.

Lima, Enero de 1975



IIICX
MS15

Plan General

- I. INTRODUCCION
2. PROCEDIMIENTOS GENERALES RECOMENDADOS
 - 2.1 Primer Procedimiento:
 - Blaney y Criddle ajustado
 - 2.2 Segundo Procedimiento:
 - Christiansen (Hargraves, Utah).
 - 2.3 Otros Procedimientos
 - Greassi - Christiansen, Hargraves, etc.,
3. BIBLIOGRAFIA DE CONSULTA

PROCEDIMIENTOS RECOMENDADOS PARA EL CALCULO DEL USO CONSUNTIVO Y NECESIDADES DE RIEGO DE LOS CULTIVOS

I. INTRODUCCION

Con el objeto de determinar los requerimientos hídricos de los cultivos que se desarrollan en una determinada área, se presentan algunas fórmulas que han sido desarrolladas por diferentes investigadores que con el empleo de elementos climáticos de la zona y otros factores de corrección sirven para obtener el uso consuntivo.

Dicho cálculo establece el punto de partida para obtener los consumos mensuales unitarios de riego, es decir, la lámina o el volumen (según la expresión), por unidad de área, a nivel de cultivo, parcela o predio, Secuencialmente, se comienza estableciendo el uso consuntivo, luego se ubica la explotación con relación al factor tiempo y se establece la lámina neta que corresponde al cultivo para el período considerado.

Al entrar a considerar la eficiencia de aplicación ó manejo con que se lleva a cabo el riego sobre la parcela, el consumo se define como lámina bruta. Proyectando dicho consumo hacia un criterio de evaluación de demanda, en razón de cultivo y por unidad de área, se obtiene lo que se llama "coeficientes de unitarios de riego", es decir módulos o consumos unitario volumétricos mensuales y por cultivo.

Con el propósito de orientar a los técnicos en riego que operan en las zonas rurales de la costa, se desarrollan las fórmulas más conocidas y empleadas en nuestro medio, para que les sirva de guía y para tal propósito se adjunta las tablas necesarias que simplifican los cálculos y se describen algunos ejemplos prácticos.

2. PROCEDIMIENTOS GENERALES

Aunque la cantidad de procedimientos con que se cuenta para el cálculo del uso consuntivo y evapotranspiración potencial son muy numerosos y en gran parte se han desarrollado para su uso en determinadas regiones, es recomendable adoptar para nuestro medio criterios generales, para uniformizar una metodología base para los cálculos. Al respecto y como recomendación general se tiende a emplear los siguientes métodos:

- a. El procedimiento conocido como fórmula de Blaney y Criddle (modificado) cuya ventaja en relación a otros métodos, es que cuenta con los denominados "coeficientes K de los cultivos" que corrigen la evapotranspiración potencial a uso consuntivo mensual de los cultivos. Esta fórmula es muy conocida en toda América y da buenos resultados en zonas áridas.
- b. El procedimiento que se apoya en la ecuación de Christiansen (Utah) por haber intervenido a parte del primero, otros investigadores de la Universidad de Utah, como Patil, Mathinson, Grassi y presentada asimismo en México, en 1968, con Hargraves, de donde proviene el método de Christiansen - Hargraves.
- c. Cabe mencionar otros procedimientos para el cálculo del uso consuntivo de los cultivos y evapotranspiración potencial, que se han desarrollado siguiendo el procedimiento de Christiansen como la fórmula desarrollada por Grassi - Christiansen (fórmula 3a)

Otro procedimiento es el desarrollado por Hargraves, que también cuenta con los coeficientes de corrección para obtener el uso consuntivo de los cultivos.

De las fórmulas mencionadas, se describen en el presente instructivo la de Blaney y Criddle y la de Christiansen.

Finalmente se debe mencionar que donde se cuente con una estación experimental para ensayos de consumo o necesidades de agua, se debe establecer los requerimientos en función de experiencias de campo, mediante el análisis del balance del consumo de agua ya sea a nivel de melga o surco o parcela experimental, para luego utilizar los datos experimentales en toda una región, haciendo las correcciones necesarias.

Este último método tiene la ventaja de plantear situaciones reales y permite ubicar los niveles óptimos de trabajo, estableciendo para los cultivos principales el umbral crítico de succión y fijando el rango de humedad más favorable en relación con la capacidad de almacenamiento de los suelos.

De los métodos básicos que se recomiendan para el cálculo de las necesidades o consumo de agua de los cultivos, se describen en forma ordenada los pasos a seguir para el desarrollo y aplicación de su cálculo.

2.1 Primer Procedimiento Blaney y Criddle (Adaptado)

Al citar en primer término este método que es tan conocido estamos conscientes de que su aplicación no es siempre satisfactoria y técnicamente correcta.

No obstante, aún se lo considera de indudable validez en razón de su sencillez dado que requiere únicamente datos meteorológicos corrientes y que, un adecuado ajuste de los coeficientes K de cultivo por zona, región o país, permite lograr el objetivo principal buscado: contar con índices de consumo reales y con aproximación o grado de consistencia como para basarse sobre dichos valores para la confección de las curvas de demanda.

Este procedimiento se lleva a cabo en función de datos meteorológicos tales como la temperatura media del lugar obtenida de registros meteorológicos y los valores de resplandor solar mensuales.

Originalmente, esta técnica fue desarrollada para la zona Oeste de los Estados Unidos y posteriores ajustes efectuados han permitido extenderla a otras áreas americanas.

La fórmula general que permite determinar el Uso Consuntivo de los cultivos es:

$$U. C. = K . f. \quad (1)$$

Esto en su aspecto unitario mensual, en principio, el valor K se tomó en un sentido anual o de período, pero con posterioridad se perfeccionó esta ecuación al considerar valores de coeficiente de cultivo mensuales, como es lo lógico, en función del desarrollo de los mismos como del factor temperatura y otros elementos incidentes.

Básicamente, entonces la fórmula tiene la siguiente expresión:

$$U. C. = K.F. = \sum_1^n (k.f)$$

donde:

f = Factor de uso consuntivo mensual

K = Coeficiente de cultivo

F = Factor de uso consuntivo anual ó suma de factores mensuales de u.c.

Como en su origen se trabajó con temperatura en grados Fahrenheit ($^{\circ}F$), para calcular en forma directa mediante los valores de temperatura en grados centígrados, la ecuación es:

$$U. C. = K \sum \left[D (8.12 - 0.45 t^{\circ}) \right] \quad (2)$$

No obstante y dentro de la misma base del cálculo, es decir empleando directamente temperaturas en grados centígrados (t°), se ha preferido seguir el procedimiento general adoptado por la Secretaría de Recursos Hidráulicos de México, en primera instancia porque permite simplificar en parte, mediante el empleo de tablas confeccionadas

y procesadas a tal propósito

2.1.2 Desarrollo del Método

Para proceder en forma secuencial al cálculo del uso consuntivo por este método, se recomienda seguir los pasos siguientes:

1. Se obtiene la temperatura media mensual en grados centígrados del área, distrito, sector ó unidad para lo cual se desea calcular el uso consuntivo, dichos valores se colocan en la columna N°2 del cuadro N°1.1
2. Como el método descrito fue diseñado originalmente para los Estados Unidos, la temperatura fue dada en grados Fahrenheit, aparte de no haberse efectuado ningún ajuste para regiones áridas. Ha sido necesario confeccionar entonces una tabla "ad-hoc" para entrar con grados centígrados y asimismo efectuar un ajuste para zonas áridas, lo que se considera seguidamente en el proceso secuencial efectuándose la resolución por tabla de doble entrada. La fórmula $T_a = Kt(t + 17.8) / 21.8$ permite la conversión de la temperatura en grados fahrenheit a grados centígrados.

El factor Kt constituye el elemento adicional incluido por los técnicos de la S.P.N. (México) para condiciones áridas.

Los valores correspondientes se encuentran así resueltos en la tabla contenida en el cuadro N°1.2 para diferentes valores de temperaturas mensuales promedio. El resultado hallado se coloca en la columna N°3 correspondiente a cada mes, del cuadro N°1.1 antes citado.

3. Se obtiene el valor "p" (insolación o resplandor solar) del cuadro N°1.3 para zonas de latitud Sur. Se entra en dicho cuadro con la latitud de la zona considerada y se obtienen los valores correspondientes de "p" mensuales.

En caso necesario se procede a interpolar el valor considerado entre cada grado de latitud. Este valor se registra en la columna cuatro del cuadro 1.1

4. Se calcula el factor de uso consuntivo potencial mensual "F.uc." multiplicando los valores 'p' de la columna 4 por los valores 'Ta' de la columna N°3

Luego:
$$Fuc. = Ta \times p.$$

Los resultados obtenidos, se colocan en la columna del mismo cuadro base.

5. Se localiza los valores del coeficiente de ajuste "K" de cultivo en el cuadro N°1.4 los datos se colocan en la columna seis del cuadro N°1.1 dentro del mes correspondiente al ciclo considerado.

Este coeficiente se refiere a las necesidades de uso consuntivo, según la situación, el período de desarrollo, condiciones de cultivo, etc.

Los primeros estudios para este coeficiente, se desarrollaron originalmente en California (U.S.A.) con posterioridad, se hicieron experiencias y análisis adicionales para su ajuste en zonas regables de México, Venezuela, Argentina, Perú y Centro - América.

El ajuste de los coeficientes "K" de cultivo para ser aplicados en el procedimiento Blaney - Criddle se llevó a cabo en algunas áreas, de la siguiente manera.

- Se tomó como punto de partida los coeficientes "K" de cultivo mensuales existentes en la Bibliografía consultada (1,2,3,4), los cuales tienen su origen en las experiencias mencionadas, con posterior revisión y ajuste por la S.R.H. México (3.4) y en la U.N.S. Argentina (2).

Se parte de la premisa de que "K" es el producto de $K_t K_c$, se contó con la tabla de valores de K_t en función de la temperatura media el lugar y las curvas de K_c con los respectivos valores para los diferentes cultivo

De igual manera se procedió a la corrección de (K_t, K_c) , para cada mes y para cada cultivo, La temperatura media se obtiene de registros de 20 a 30 años de las zonas consideradas :

Para los cultivos que carecían de coeficientes K, se siguió un procedimiento similar al descrito anteriormente y se obtuvieron éstos a partir de los valores de K para el arroz y caña de azúcar.

6. Continuando con el procedimiento, se calcula el uso consuntivo mensual del cultivo, expresado en m.m de lámina para lo cual se aplica la fórmula:

$$Uc = F.uc. \times K \times 10, \text{ resultado que se colocará en la columna N° 7}$$

Los meses en que se considera el valor K de uso consuntivo, corresponde a los meses de desarrollo del cultivo y presumiblemente se requiere riego. Ello hace que, como efecto de posición, la aplicación de la lámina variará de acuerdo al ciclo o al desarrollo del cultivo desde el mes que se ubica el comienzo del período de riego y su posterior desenvolvimiento. A este nivel se ha logrado ya el uso consuntivo del cultivo. Se sigue a fin de establecer la lámina neta.

7. Se calcula la precipitación efectiva "pe" aplicando un coeficiente de corrección a los valores mensuales de precipitación (P) obtenidos de acuerdo a promedios mensuales de datos o series históricas meteorológicas. Este coeficiente de ajuste es igual a $1 - K_r$, donde K_r representa en gran medida la escorrentía y se asume con un valor de 0.20 y es variable para mejor interpretación del ajuste. Finalmente, la precipitación efectiva resulta entonces:

$$Pe = 0,20. P$$

Es conveniente corregir la precipitación a partir del valor de 20 mm mensuales como mínimo.

Las cifras iguales o menores a estos se anotan sin corrección, salvo que se trabaje con modelos operacionales en que el ajuste es mayor.

Los resultados se colocarán en la columna N° 8 del cuadro base.

8. La lámina neta ó de reposición se obtiene por medio de la fórmula:

$$\text{Lámina neta} = \text{U. C.} - \text{Pe}$$

Para tal propósito, se resta a los valores de la columna 7 (U.C. Cult) los consignados en la columna N°8 (Pe = precip. efectiva).

Se obtiene así la lámina neta o uso consuntivo de reposición ó consumo a nivel de parcela, cuyos valores se colocan en la columna N°9 del cuadro base N°1.1

La sumatoria de los valores mensuales que constituyen un ciclo representa el uso consuntivo anual ó del período para el cultivo considerado.

Con posterioridad, este dato se continuará procesando a fin de establecer el valor de la lámina "bruta" a nivel de parcela (es decir, lámina "neta" a la cual se ha aplicado la corrección por eficiencia de aplicación o manejo, conocida también como eficiencia de uso consuntivo).

De estos últimos valores se partirá para establecer finalmente los índices volumétricos mensuales de riego por cultivo como veremos más adelante.

USO CONSUNTIVO, LAMINA NETA O DE REPOSICION

Cuadro N° 1.1.

DISTRITO _____ SECTOR _____
 SUB DISTRITO _____ SUB SECTOR _____

MESES	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	Tem ^o $\frac{100 \pm 17.8}{21.0}$	INSOLACION O RESPL. SOLAR P.	T ^o de temp. (U.C. por hora)	COEFICIENTE DE CULTIVO K	UC. CULTIVO Por a. h. x 10 m ²	PRECIPITACION EFECTIVA (O.SOP) mm.	LAMINA META O DE REPOSICION (U.C.-O.SOP) m ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ENERO (1)								
FEBRERO (2)								
MARZO (3)								
ABRIL (4)								
MAYO (5)								
JUNIO (6)								
JULIO (7)								
AGOSTO (8)								
SEPTIEMBRE (9)								
OCTUBRE (10)								
NOVIEMBRE (11)								
DICIEMBRE (12)								
AÑO								

PROCEDIMIENTO BLANEY Y CAROLE AJUSTADO

CUADRO N° 1.2.

Valores para la fórmula: $K_L \left(\frac{t+17.8}{21.8} \right)$ Entrando al cuadro con la temperatura media en °C

°C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
7.....	0,520	0,526	0,531	0,537	0,543	0,549	0,554	0,560	0,566	0,572
8.....	0,558	0,564	0,569	0,576	0,582	0,588	0,594	0,600	0,606	0,612
9.....	0,636	0,643	0,651	0,657	0,664	0,670	0,676	0,682	0,689	0,696
10.....	0,702	0,708	0,715	0,722	0,729	0,735	0,742	0,748	0,755	0,762
11.....	0,766	0,773	0,782	0,789	0,796	0,803	0,810	0,817	0,824	0,830
12.....	0,838	0,845	0,852	0,859	0,866	0,874	0,880	0,889	0,895	0,902
13.....	0,910	0,917	0,925	0,932	0,939	0,947	0,954	0,962	0,970	0,977
14.....	0,985	0,992	1,000	1,008	1,016	1,024	1,031	1,039	1,047	1,055
15.....	1,063	1,071	1,079	1,086	1,095	1,103	1,111	1,119	1,127	1,135
16.....	1,143	1,152	1,160	1,168	1,175	1,185	1,193	1,202	1,210	1,218
17.....	1,227	1,235	1,244	1,253	1,262	1,270	1,279	1,287	1,295	1,305
18.....	1,313	1,322	1,331	1,340	1,349	1,357	1,367	1,375	1,385	1,393
19.....	1,403	1,412	1,421	1,450	1,439	1,448	1,458	1,467	1,476	1,485
20.....	1,495	1,505	1,513	1,523	1,533	1,542	1,551	1,561	1,571	1,580
21.....	1,590	1,600	1,609	1,619	1,629	1,639	1,648	1,658	1,668	1,678
22.....	1,688	1,698	1,708	1,717	1,728	1,738	1,748	1,758	1,768	1,779
23.....	1,789	1,800	1,810	1,820	1,830	1,840	1,850	1,860	1,871	1,882
24.....	1,892	1,903	1,914	1,924	1,935	1,945	1,956	1,968	1,977	1,988
25.....	1,999	2,010	2,020	2,031	2,042	2,053	2,064	2,075	2,086	2,096
26.....	2,108	2,119	2,130	2,141	2,153	2,164	2,175	2,186	2,198	2,208
27.....	2,220	2,232	2,243	2,255	2,265	2,277	2,289	2,300	2,312	2,323
28.....	2,335	2,345	2,358	2,370	2,382	2,394	2,405	2,417	2,430	2,441
29.....	2,453	2,464	2,477	2,489	2,500	2,513	2,525	2,537	2,549	2,561
30.....	2,574	2,586	2,598	2,610	2,623	2,635	2,647	2,660	2,672	2,685

CUADRO N° 1.3.

Tabla de Insoleación o resplandor solar valores P.

Para Grados de latitud Sur

Latitud sur (grados)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
0.....	8,49	7,67	6,49	5,22	6,40	8,19	8,49	8,49	8,19	8,49	8,22	8,19
2.....	8,55	7,71	6,49	5,19	6,44	8,17	8,43	8,44	8,19	8,52	8,24	8,55
4.....	8,61	7,76	6,50	5,17	6,39	8,08	8,20	8,41	8,19	8,56	8,33	8,65
6.....	8,71	7,81	6,50	5,12	6,30	8,00	8,19	8,37	8,18	8,59	8,34	8,74
8.....	8,79	7,84	6,51	5,11	6,24	7,91	8,13	8,32	8,18	8,62	8,47	8,84
10.....	8,85	7,86	6,52	5,09	6,18	7,84	8,11	8,28	8,18	8,65	8,52	8,86
12.....	8,91	7,91	6,53	5,06	6,15	7,79	8,08	8,26	8,17	8,67	8,58	8,95
14.....	8,97	7,97	6,54	5,03	6,07	7,70	7,98	8,19	8,16	8,69	8,65	9,01
16.....	9,09	8,02	6,56	4,98	5,96	7,57	7,91	8,14	8,14	8,76	8,72	9,17
18.....	9,18	8,06	6,57	4,93	5,89	7,05	7,88	8,90	8,14	8,80	8,80	9,24
20.....	9,25	8,09	6,58	4,88	5,83	7,41	7,73	8,05	8,13	8,83	8,85	9,32
22.....	9,36	8,12	6,58	4,83	5,74	7,30	7,75	8,03	8,13	8,86	8,90	9,33
24.....	9,44	8,17	6,59	4,87	5,60	7,24	7,58	7,99	8,12	8,89	8,96	9,47
26.....	9,52	8,28	6,60	4,81	5,56	7,07	7,49	7,87	8,11	8,94	9,10	9,61
28.....	9,61	8,31	6,61	4,79	5,49	6,99	6,40	7,85	8,10	8,97	9,19	9,73
30.....	9,69	8,33	6,63	4,75	5,43	6,91	6,30	7,80	8,09	9,00	9,24	9,80
32.....	9,78	8,37	6,63	4,70	5,39	6,85	6,20	7,73	8,08	9,01	9,31	9,87
34.....	9,85	8,41	6,65	4,68	5,30	6,73	6,10	7,69	8,06	9,07	9,38	9,99
36.....	10,06	8,52	6,67	4,61	5,10	6,59	6,98	7,59	8,06	9,15	9,51	10,21
38.....	10,14	8,61	6,68	4,59	5,03	6,45	6,87	7,51	8,05	9,19	9,60	10,31
40.....	10,24	8,65	6,70	4,54	4,95	6,33	6,73	7,45	8,04	9,23	9,69	10,42
42.....	10,39	8,72	6,71	4,49	4,81	6,20	6,60	7,39	8,01	9,27	9,79	10,57
44.....	10,52	8,81	6,72	4,44	4,73	6,04	6,45	7,30	8,00	9,34	9,91	10,72
46.....	10,63	8,85	6,73	4,39	4,67	5,87	6,30	7,21	7,98	9,41	10,03	10,80
48.....	10,67	8,98	6,76	4,33	4,45	5,63	6,12	7,12	7,96	9,47	10,17	11,09
50.....	11,03	9,06	6,77	4,25	4,31	5,48	5,98	7,03	7,95	9,53	10,52	11,30

IDIA - Febrero de 1970

COEFICIENTES K DE USO CONSUNTIVO MENSUAL PARA SU APLICACION EN LA FORMULA DE BLANEY Y CRIDDLE -
REGION CENTRO-SUR -- PERU -

Plonilla General

C U L T I V O S	- M E S E S -												AÑO
	Jul.	Agos.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ener.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Jun.	
Frutales hojas caducas	-	0.45	0.64	0.76	0.84	0.90	0.81	0.72	0.60	-	0.66	-	-
Frutales hojas perennes	-	0.45	0.46	0.50	0.55	0.67	0.80	0.74	0.70	0.65	0.60	-	-
Vid	-	0.48	0.56	0.74	0.83	0.90	0.85	0.72	-	-	0.70	-	-
Piñtano	-	0.44	0.50	0.80	0.85	0.86	0.76	0.62	0.60	0.56	-	-	-
Alfalfa	-	0.66	0.85	0.95	1.04	1.08	1.06	1.00	0.88	0.76	0.60	-	-
Pasturas regadas	-	0.65	0.72	0.76	0.81	0.85	0.93	0.80	0.78	0.75	0.70	-	-
Caña de Azúcar	-	-	-	0.70	0.86	1.02	1.10	1.04	0.90	0.82	0.74	-	-
Algodón (pótano 9)	-	0.40	0.56	0.70	0.96	0.98	0.88	0.76	-	-	-	-	-
Algodón (soca 9)	0.36	0.48	0.64	0.80	0.88	1.00	0.92	0.75	-	-	-	-	-
Arroz 99	-	-	-	0.85	1.00	1.12	1.15	1.10	-	-	-	-	-
Maíz (grano)	<u>0.74</u>	-	<u>0.49</u>	<u>0.66</u>	<u>0.88</u>	<u>0.76</u>	<u>0.75</u>	-	<u>0.52</u>	<u>0.70</u>	<u>0.85</u>	<u>0.76</u>	-
Maíz (Chola-Choclo)	<u>0.77</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>0.47</u>	<u>0.66</u>	<u>0.85</u>	-
Sorgo (grano)	-	0.45	0.80	0.87	0.78	(0.70)	-	-	-	-	-	-	-
Sorgo (Forrajero)	<u>0.74</u>	-	<u>0.46</u>	<u>0.76</u>	<u>0.88</u>	<u>0.80</u>	<u>0.75</u>	-	<u>0.45</u>	<u>0.75</u>	<u>0.86</u>	<u>0.80</u>	-

9 Variedad de período largo, región centro.

99 Corresponde a fecha y características siembra región centro-norte.

C U L T I V O S	- M E S E S -												AÑO
	Jul.	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Jun	
Papa	0.78	(0.60)	0.85	0.92	0.94	0.86)	-	-	0.58	0.80	0.91	0.88	
Camote	0.70	(0.48)	0.75	0.88	0.86	0.73)	-	-	0.50	0.76	0.87	0.78	
Yuca	0.38	0.46	0.58	0.73	0.74	0.66	0.62	0.60	-	-	-	-	
Menestras y Legumbres	0.69	-	0.56	0.70	0.79	0.73	-	-	0.49	0.68	0.72	0.77	
Hortalizas mayores varias	-	0.45	0.67	0.75	0.85	0.84	(0.68	0.75	0.86	0.78	0.75)	-	
Hortalizas menores	-	0.50	0.62	0.78	0.85	-	-	0.68	0.80	0.84	0.81		
Cucurbitáceas	-	0.46	0.65	0.78	0.83	0.75	-	-	0.46	0.64	0.76	0.80	
Trigo y otros cereales	-	0.48	0.69	0.80	0.85	0.79	-	-	-	-	-	-	
Tabaco	-	-	0.44	0.67	0.80	0.94	0.99	0.96	-	-	-	-	

NOTA: Estos coeficientes se ubican sobre la base de la situación del período de riego considerado. No obstante, el cultivo puede admitir un ciclo ligeramente menor, mayor o desplazarse en un mes, según las condiciones climáticas, ecológicas y, de latitud.

JAL/rmden

2.2 SEGUNDO PROCEDIMIENTO: CHRISTIANSEN (UTAH) Y COLABORADORES

En el año 1960, el profesor Jerald E. Christiansen de Utah State University, USA, presentó una fórmula para calcular los valores de evaporación y evapotranspiración potencial, mediante el uso de factores climáticos del lugar y el empleo de tablas que han sido desarrolladas para simplificar los cálculos.

Básicamente la ecuación original tiene la forma:

$$E = C \cdot K \cdot R.$$

donde: E = Son los valores de evaporación o evapotranspiración

K = Constante adimensional, de corrección, obtenida de un análisis previo de los datos.

R = Radiación solar teórica, considerada en el techo de la atmósfera.

C = Coeficiente empírico adimensional producto a su vez de otros subcoeficientes, los cuales, cada uno expresa el efecto de un factor climático dado y tiene la siguiente expresión:

$$C = C_T \cdot C_H \cdot C_W \cdot C_S \cdot C_E \cdot C_M$$

donde : T,H,W,S,E, son los valores mensuales de temperatura, humedad relativa, velocidad de viento, horas de sol, altura y M es un coeficiente de corrección para cada mes.

Los coeficientes para cada factor climático fueron desarrollados del análisis de muchos datos y en la teoría cada coeficiente representa el efecto de cada factor considerando los otros como constantes.

Las ecuaciones desarrolladas por Christiansen para cada uno de los subcoeficientes fueron las siguientes :

$$\begin{aligned}
 C_T &= - 0.095 + 0.0165 T \quad (T \text{ en } ^\circ\text{F}) \\
 C_W &= 0.65 + 0.00583 W \quad (W \text{ en millas /día}) \\
 C_S &= 0.56 + 0.575 S \quad (S \text{ en porcentaje}) \\
 C_H &= 1.106 - 0.340 H \quad (H \text{ en porcentaje}) \\
 C_M &= 0.93 \text{ a } 1.15 \quad (\text{valores en tablas}) \\
 K &= 0.470 \quad (\text{Constante})
 \end{aligned}$$

Con posterioridad, Patil en 1962 modificó los valores de estos coeficientes y confeccionó tablas para facilitar el proceso de los cálculos. Otras investigaciones se llevaron a cabo por Mathison (1963), Patil y Christiansen, quienes trabajando con datos de varios estados de U.S.A. Alaska, Panamá, Hawai y Puerto Rico, obteniendo resultados similares. Así mismo Grassi en 1964, efectuando trabajos de investigación en esta línea logra establecer la siguiente ecuación:

$$E_t = K \cdot C_R \cdot C_{Clc} \cdot C_T \cdot C_{Td} \cdot C_{Crc} \cdot F$$

donde:

E_t = Es la evapotranspiración en pulgadas por día

K = Constante adimensional, cuyo valor es igual a 0.215

C_R = Coeficiente de radiación solar teórica, en pulgadas /día

C_{Clc} = Coeficiente de nubosidad, expresado entre valores de 0 a 10

C_T = Coeficiente relativo al factor temperatura

T_d = Es la diferencia entre la temperatura media máxima y la media para el período considerado en $^\circ\text{F}$

C_{Crc} = Coeficiente relativo al factor de crecimiento, en porcentaje

F = El factor de cultivo, el cual fue determinado para nueve cultivos.

Las ecuaciones para los coeficientes son las siguientes:

$$C_R = 0.18 + 1.46 R$$

$$C_{Clc} = 1.15 - 0.05 Clc$$

$$C_T = 0.036 + 0.0219 T - 0.0001136 T^2$$

$$C_{Crc} = 0.111 + 0.1141 Crc - 0.0000521 Crc^2$$

$$C_{Td} = 0.936 + 0.00426 Td$$

Los valores de F calculados para los diferentes cultivos considerados son:

Alfalfa = 1.09	Papa = 1.02	Sorgo = 1.16	Maíz = 1.00
Algodón = 1.08	Trigo = 1.10	Avena = 0.89	Frejol = 0.98

Posteriormente para el cálculo del porcentaje de terreno cubierto por el cultivo con el grado de desarrollo del mismo, se estableció la siguiente ecuación:

$$C_{Vc} = 0.100 + 0.028 V_c - 0.000249 V_c^2$$

Siendo V_c el porcentaje de tiempo transcurrido entre el período de siembra y de cosecha.

Christiansen en 1966 presentó en Nevada U.S.A. una nueva ecuación para el cálculo de la evaporación en tanque tipo A que es la siguiente:

$$E_v = K \cdot R \cdot C_T \cdot C_W \cdot C_H \cdot C_S \cdot C_E \cdot C_M$$

Donde los coeficientes tienen el mismo significado descrito anteriormente. Las ecuaciones para establecer estos coeficientes han sido expresadas como una ecuación de segundo grado de la forma:

$C_X = A + BX + CX^2$, en la mayoría de ellas, excepto cuando los resultados han dado origen a una ecuación diferente.

El coeficiente C_E no incluido anteriormente, se refiere a la elevación ó altura del lugar y su ecuación es la siguiente:

$$C_E = 0.970 + 0.030 F \quad (F \text{ en miles de pies})$$

De las ecuaciones, dos son las más prácticas y han sido usadas para calcular las necesidades de riego de los cultivos en proyectos llevados a cabo en Perú, Ecuador, Chile y Argentina; una de ellas es la ecuación de Christiansen (Utah), la de Christiansen - Margraves (México Simposium Latinoamericano de Riego 1968) y la de Grassi - Christiansen.

2.1.1 Desarrollo y Aplicación de las Fórmula de Christiansen

En la fórmula de Christiansen para calcular la evapotranspiración se emplea datos de radiación extraterrestre y factores climáticos como temperatura, velocidad de viento, humedad relativa, porcentaje de las horas de luz solar y altura sobre el nivel del mar de la estación meteorológica considerada.

La fórmula como se describió anteriormente tiene la forma siguiente:

$$E_t = K \cdot R_T \cdot C_T \cdot C_W \cdot C_H \cdot C_S \cdot C_F$$

Cuyas ecuaciones para el cálculo de los coeficientes las siguientes:

$$K = 0.324$$

$$C_T = 0.463 + 0.425 (T_c/T_{c0}) + 0.112 (T_c/T_{c0})^2$$

Siendo T_c la temperatura promedio en °C y $T_{c0} = 20$ °C

$$C_W = 0.672 + 0.406 (W/W_0) - 0.078 (W/W_0)^2$$

Siendo W el promedio de la velocidad de viento a 2 metros sobre el nivel del suelo y W_0 igual a 100 millas por día o 6.7 Km/hora

$$C_H = 1.035 + 0.240 (H_m/H_{m0})^2 - 0.275 (H_m/H_{m0})^3$$

Siendo H_m la humedad relativa promedio expresada en decimal y H_{m0} igual a 0.60

$$C_S = 0.340 + 0.856 (S/S_0) - 0.196 (S/S_0)^2$$

Siendo S el porcentaje promedio de luz solar en deci-

mal y S_o igual a 0.80

$$C_E = 0.970 + 0.030 (E/E_o)$$

Siendo E la altura sobre el nivel del mar (en metros de la estación meteorológica considerada) y F_o igual a 305 m.

El desarrollo de estos coeficientes han permitido confeccionar tablas de simple y doble entrada y que se adjuntan para simplicidad de los cálculos.

Aplicación de las Fórmulas y uso de las Tablas

Para hallar los valores mensuales de evapotranspiración potencial, mediante el uso de las tablas 1 al 7 se procede del siguiente modo:

1. Obtenida la latitud de la estación meteorológica, en grados y minutos, se busca los correspondientes valores medios mensuales de radiación extraterrestre en la tabla 1 que ha sido confeccionada para valores de latitud que van de 0° hasta 20° de latitud Sur, valores entre los que se encuentra en este caso el Perú. Los valores así obtenidos se colocan en la columna uno del cuadro 2.1

Para valores de latitud intermedios, bastará hacer una interpolación entre los valores extremos, ejemplo:

Latitud $15^\circ 4'$ para Enero, se tiene:

Para latitud de $15^\circ = 16.98$
 para latitud de $16^\circ = 17.06$
 para 1° de diferencia = 0.08

Para un exceso de 0.4 se tiene:

Para 1° de diferencia se tiene 0.08
 para 0.5 será x

de donde $x = 0.08 \times 0.4 = 0.032$

El valor de la radiación extraterrestre para los $15^\circ 4'$ será

$$16.98 + 0.032 = 17.01 \text{ mm/día}$$

2. Con el valor de la temperatura promedio diaria, buscamos el valor de C_T en la tabla N°2 el que se registra en la columna dos del cuadro 2.1 para valores intermedios bastará realizar una

interpolación.

3. Para el cálculo del coeficiente C_{Vr} , es necesario hacer ciertas correcciones previas, tales como:
 - a. Cuando la velocidad de viento se registra en nudos, es necesario convertirla a Km/hora, para ello se multiplica el valor en nudos por el factor 1.6
 - b. En algunas estaciones meteorológicas la medida de velocidad de viento, se realiza a alturas diferentes a 2 m sobre el suelo, por lo que se tiene que corregir estos valores y transformarlos a la altura de 2m.
Para realizar las correcciones se utiliza la fórmula siguiente:

$$V = V_a \times \left(\frac{Z}{Z_a}\right)^{1/7}$$

donde:

V = Velocidad de viento corregida

V_a = Velocidad de viento medida a la altura del anemómetro.

Z = Altura del anemómetro sobre el nivel del suelo

Z_a = Altura del tanque sobre el suelo

Obtenidos los valores promedio de velocidad de viento, corregidas a 2 metros de altura, se determina el correspondiente valor mensual del coeficiente C_{Vr} mediante la tabla 3 valor que se registra en la columna 3 del cuadro 2.1

4. Con los valores promedio de humedad relativa se obtiene el valor del coeficiente C_H , con ayuda de la tabla 4, este valor se registra en la columna 4 del cuadro 2.1
5. Las horas de sol se registran generalmente en horas de sol totales del mes, por lo que hay que convertirlas en porcentaje de horas de sol diarias mediante la siguiente fórmula:

$$S\% = \frac{\text{Horas de sol acumuladas en el mes}}{12 \times \text{N}^\circ \text{ de días del mes}} \times 100$$

El número 12 de la fórmula corresponde al valor teórico máximo de horas de sol.

Con los valores de horas de sol así obtenidos y con la ayuda de la tabla 5 se calcula los valores de C_S las que se registran en la columna 5 del cuadro 2.1

6. Para establecer el coeficiente de elevación es necesario conocer o haber determinado previamente la altura sobre el nivel del mar de la estación meteorológica o de la zona en estudio. Con este valor y con la tabla 6 se determina el valor del coeficiente C_F debiéndose interpolar para valores intermedios.

Remplazando los valores de P , C_T , C_W , C_H , C_S , C_F en la fórmula

$$ET = 0.324 \cdot R \cdot C_T \cdot C_W \cdot C_H \cdot C_S \cdot C_E$$

Se obtendrá la evapotranspiración potencial, cuyos valores se registran en la columna 7 del cuadro 2.1

2.1.2 Cálculo de uso Consuntivo de los Cultivos

Obtenido los valores de la evapotranspiración potencial mensual (ET) mediante el desarrollo del procedimiento antes explicado se calcula el uso consuntivo de los cultivos que nos interesan, haciendo la debida corrección de los valores de (ET) mediante la aplicación de los factores o coeficientes de desarrollo de los cultivos en función del porcentaje de crecimiento o desarrollo estacional que han sido calculados por Christiansen, y que se presentan en la tabla N° 7

Los valores respectivos se ubican en razón del ciclo de desarrollo asumido, según cuadro número 6. Así por ejemplo el cultivo del tomate considerado con cinco meses de desarrollo, tendría cinco coeficientes (K_C) que podrían estar ubicados respectivamente en 20% ó (0.40): en 40%

o (0.70): en 60% o (0.75): en 80% o (0.55) y en 100% o (0.20). Otro criterio, para los mismos intervalos comienza tomando los siguientes porcentajes: 0%, 20%, 40%, 60% y 80% respectivamente. Quizá para el caso particular del tomate este último criterio podría ser el más conveniente que el considerado anteriormente, pero en todos los casos estos coeficientes están expresando el grado de crecimiento y decrecimiento progresivo del ciclo vegetativo, a semejanza de una curva gaussiana. Teóricamente las explotaciones anuales presentan una curva de crecimiento pero estas no son semejantes sino que están en función al período de cosecha mayor ó menor duración) en función de la presencia de heladas ó fríos intensos en la zona y en ese caso a partir de los valores medios máximos, cuyo contenido hídrico debe seguir reponiéndose hasta que el proceso cese hasta el corte total como por ejemplo el caso del maíz chala y sorgo.

Quizá este tipo de coeficiente se ajusta más a las características del ciclo, en los cultivos anuales, por ejemplo la vid con 180 días y seis a siete coeficientes.

La característica de este sistema de coeficientes porcentuales, es que para el primer valor, resulta un valor muy bajo, sobre todo si se comienza a elegir valores para K_c a partir de cero. Entendemos que para asumir estos valores debe primar el criterio y la experiencia del técnico que los aplica.

Prosiguiendo con la metodología descrita para el cálculo del uso consuntivo, se multiplica el valor de la evapotranspiración potencial del mes considerado, por el coeficiente K_c mensual del cultivo de tal forma que:

Uso consuntivo (maíz octubre) = E_t (octubre) x K_c (maíz octubre)

Previamente, para este cultivo se ha obtenido el porcentaje correspondiente para el mes de octubre y para el ciclo

considerado

Con los valores del cuadro 2.1 de todos los cultivos se determina en igual forma el uso consuntivo, confeccionándose un cuadro adicional a semejanza del cuadro 2.7 el que incluso puede contener diferenciación para el mismo cultivo en función del mes de siembra (caso del maíz, frijol y algunos cereales).

La suma de los valores de uso consuntivo mensual, es el uso consuntivo para un período vegetativo, que puede ser anual, caso de las explotaciones permanentes.

Los cuadros 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, y 2.6 que se adjuntan son modelos de registro, para los diferentes factores que intervienen en el cálculo del uso consuntivo por medio de la fórmula de Christiansen.

CUADRO N° 2.1

REGISTRO PARA LOS COEFICIENTES DE LA FORMULA DE CHRISTIANSEN *

	R _T	C _T	C _W	C _H	C _S	C _E	E _T
MESES	1	2	3	4	5	6	7
ENE							
FEB							
MAR							
ABR							
MAY							
JUN							
JUL							
AGO							
SET							
OCT							
NOV							
DIC							

* $E_T = K \cdot F_T \cdot C_T \cdot C_W \cdot C_H \cdot C_S \cdot C_E$

COEFICIENTES KC DE LOS CULTIVOS PARA RESOLVER LA FORMULA DE CHRISTIANSEN

CULTIVOS	PERIODO VEGETATIVO MENSUAL											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOST	SET	OCT	NOV	DIC

CUADRO Nº 2.7

REGISTRO DE VALORES DE USO CONSUNTIVO CALCULADOS POP CHRISTIANSEN

CULTIVOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOST	SFT	OCT	NOV	DIC	TOTAL POP

PROCEDIMIENTO CHRISTIANSEN (UTAH)

Valores Medios Mensuales de Radiación Extraterrestre

LATITUD SUR GRADOS	ENE	FEB	MAR	SU	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
	EXPRESADO	COMO	EN	EVAPORACION	(MILIMETROS	POR	DIA)						
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	
1	15.22	15.62	15.72	15.19	14.33	13.80	14.03	14.84	15.58	15.72	15.36	15.06	
2	15.37	15.71	15.73	15.11	14.19	13.63	13.87	14.73	15.55	15.78	15.49	15.23	
3	15.42	15.80	15.74	15.03	14.05	13.46	13.71	14.62	15.52	15.84	15.62	15.39	
4	15.57	15.81	15.75	14.95	13.91	13.29	13.55	14.51	15.49	15.90	15.75	15.56	
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	
6	15.94	16.05	15.93	14.78	13.60	12.53	13.21	14.28	15.41	16.00	16.00	15.86	
7	16.07	16.12	16.12	14.68	13.44	12.74	13.04	14.15	15.36	16.04	16.11	16.01	
8	16.19	16.19	16.30	14.57	13.27	12.56	12.86	14.02	15.30	16.07	16.23	16.15	
9	16.32	16.26	16.49	15.47	13.11	12.37	12.69	13.89	15.25	16.11	16.34	16.30	
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	
11	16.56	16.37	15.63	14.25	12.77	11.98	12.32	13.61	15.12	16.16	16.54	16.56	
12	16.66	16.42	15.59	14.13	12.59	11.78	12.12	13.41	15.05	16.17	16.63	16.59	
13	16.77	16.46	15.56	14.00	12.42	11.57	11.93	13.31	14.97	16.19	16.71	16.81	
14	16.87	16.51	15.52	13.88	12.24	11.37	11.73	13.16	14.90	16.20	16.80	16.84	
15	16.98	16.55	15.48	13.76	12.06	11.17	11.54	13.01	14.82	16.21	16.89	17.16	
16	17.06	16.57	15.41	13.62	11.87	10.96	11.33	12.74	14.72	16.20	16.96	17.16	
17	17.15	16.59	15.34	13.48	11.67	10.74	11.13	12.67	14.62	16.19	17.02	17.26	
18	17.23	16.62	15.29	13.33	11.48	10.53	10.92	12.51	14.53	16.18	17.09	17.37	
19	17.32	16.64	15.22	13.19	11.28	10.31	10.72	12.34	14.43	16.17	17.15	17.47	
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	

TABLA Nº 2

COEFICIENTE DE TEMPERATURA PARA USO DE:

Et = R. Ct. Ch. Cw. Cs. Ce.

PROCEDIMIENTO CHRISTIANSEN (UTAH)

TEMPERATURA MEDIA		TEMPERATURA MEDIA	
T	Ct	T	Ct
4	0.552	25	1.169
5	0.576	26	1.205
6	0.601	27	1.241
7	0.625	28	1.278
8	0.651	29	1.315
9	0.677	30	1.352
10	0.703	31	1.391
11	0.731	32	1.430
12	0.758	33	1.469
13	0.787	34	1.509
14	0.815	35	1.550
15	0.845	36	1.591
16	0.875	37	1.633
17	0.905	38	1.675
18	0.936	39	1.718
19	0.968	40	1.761
20	1.000	41	1.805
21	1.033	42	1.849
22	1.066	43	1.894
23	1.100	44	1.940
24	1.134		

$$Ct = 0.463 + 0.405 (Tc/Tco) + 0.112 (Tc/mco)^2$$

TABLA NO 3

COEFICIENTE DE VELOCIDAD DE VIENTO PARA EL USO EN:

Et. K.R. Jt. Cw. Co. Co. Co.

PROCEDIMIENTO CHRISTIANSEN (UTAH)

VELOCIDAD DE VIENTO A 2 mts. sobre suelo		VELOCIDAD DEL VIENTO A 2 mts. sobre suelo	
Velocidad Km/h.	CW	Velocidad Km/h.	CW
0.00	0.672	11.50	1.133
0.50	0.702	12.00	1.140
1.00	0.731	12.50	1.153
1.50	0.759	13.00	1.166
2.00	0.786	13.50	1.173
2.50	0.813	14.00	1.179
3.00	0.836	14.50	1.185
3.50	0.853	15.00	1.190
4.00	0.887	15.50	1.199
4.50	0.909	16.00	1.199
5.00	0.932	16.50	1.195
5.50	0.953	17.00	1.188
6.00	0.973	17.50	1.177
6.50	0.992	18.00	1.163
7.00	1.011	18.50	1.145
7.50	1.029	19.00	1.124
8.00	1.045	19.50	1.100
8.50	1.061	20.00	1.071
9.00	1.076	20.50	1.040
9.50	1.091	21.00	1.004
10.00	1.104	21.50	0.966
10.50	1.116	22.00	0.924
11.00	1.128		

$$Cw = 0.672 + 0.406 + (w/w_c) - 0.0750 (w/w_c)^2$$

TABLA No. 4

COEFICIENTE DE HUMEDAD RELATIVA PARA SU USO EN:

Na. = K. R. Ct. Ch. Cw. Cs. Ce.

PROCEDIMIENTO CHRISTIANSEN (NTAH)

HUMEDAD RELATIVA MEDIA		HUMEDAD RELATIVA MEDIA	
Hm %	Ch	Hm %	Ch
20	1.051	62	0.988
22	1.054	64	0.974
24	1.056	66	0.959
26	1.058	68	0.943
28	1.059	70	0.925
30	1.061	72	0.905
32	1.062	74	0.884
34	1.062	76	0.861
36	1.062	78	0.836
38	1.061	80	0.810
40	1.060	82	0.781
42	1.058	84	0.751
44	1.056	86	0.718
46	1.052	88	0.684
48	1.048	90	0.647
50	1.043	92	0.608
52	1.036	94	0.567
54	1.029	96	0.523
56	1.020	98	0.477
58	1.011	100	0.429
60	1.000		

$$Ch = 1.035 + 0.240 (Hm/Hmc)^2 - 0.225 (Hm/Hmc)^3$$

TABLA N° 5

COEFICIENTES DE HORAS DE SOL DIARIA PARA SU USO EN:

C_B = K. S. Ct. Ch. Cw. Cs. Ce.

PROCEDIMIENTO CHRISTIANSEN (UTAH)

HORAS DE SOL		HORAS DE SOL	
S %	C s	S %	C s
20	0.540	62	0.886
22	0.561	64	0.899
24	0.579	66	0.913
26	0.597	68	0.926
28	0.616	70	0.939
30	0.633	72	0.952
32	0.651	74	0.964
34	0.668	76	0.976
36	0.686	78	0.988
38	0.702	80	1.000
40	0.719	82	1.011
42	0.735	84	1.023
44	0.752	86	1.034
46	0.767	88	1.044
48	0.783	90	1.055
50	0.798	92	1.065
52	0.814	94	1.075
54	0.828	96	1.085
56	0.843	98	1.094
58	0.856	100	1.104
60	0.872		

$$C_B = 0.340 + 0.856 (S/S_0) - 0.196 (S/S_0)^2$$

TABLA Nº 6

ELEVACION E. (m) Y COEFICIENTE DE ELEVACION CE.

PROCEDIMIENTO CRISTIANO DE CÁLCULO

ELEVACION METROS	CE	ELEVACION METROS	CE
0	0.970	1500	1.118
50	0.975	1600	1.127
100	0.980	1700	1.137
150	0.985	1800	1.147
200	0.990	1900	1.157
250	0.995	2000	1.167
300	1.000	2100	1.177
350	1.005	2200	1.187
400	1.010	2300	1.197
450	1.015	2400	1.207
500	1.020	2500	1.217
550	1.024	2600	1.227
600	1.029	2700	1.236
650	1.034	2800	1.245
700	1.039	2900	1.255
750	1.044	3000	1.265
800	1.049	3100	1.275
850	1.054	3200	1.285
900	1.059	3300	1.295
950	1.063	3400	1.304
1000	1.068	3500	1.314
1050	1.073	3600	1.324
1100	1.078	3700	1.334
1150	1.083	3800	1.344
1200	1.088	3900	1.354
1300	1.098	4000	1.363
1400	1.108	4100	1.373

$CE = 0.970 + 0.030 (E/L)$

TABLA N° 7

COEFICIENTES DE USO CONSUNTIVO DE LOS CULTIVOS EN PORCENTAJE DE CRECIMIENTO ESTACIONAL

RELACION Et/Ev*.

PROCEDIMIENTO CHRISTIANSEN (22AH)

CULTIVOS	PORCENTAJE ESTACIONAL DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO											
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
FRIJOL	0.20	0.30	0.40	0.65	0.85	0.90	0.90	0.80	0.60	0.35	0.20	
MAIZ	0.20	0.30	0.50	0.65	0.80	0.90	0.90	0.85	0.75	0.60	0.50	
ALGODON	0.10	0.20	0.40	0.55	0.75	0.90	0.90	0.85	0.75	0.55	0.35	
SORGO G.	0.20	0.35	0.55	0.75	0.85	0.90	0.85	0.70	0.60	0.35	0.15	
GRANO PRIM.	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.55	0.75	0.85	0.90	0.90	0.30	
GRANO INV.	0.15	0.25	0.35	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.90	0.30	
CUCURBITACEAS	0.35	0.35	0.45	0.50	0.60	0.65	0.65	0.60	0.60	0.55	0.55	
PECANO	0.35	0.45	0.55	0.75	0.75	0.65	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30	
MANI	0.15	0.25	0.35	0.45	0.55	0.60	0.65	0.65	0.60	0.45	0.30	
PAPA	0.20	0.35	0.40	0.65	0.80	0.90	0.95	0.95	0.95	0.90	0.90	
ARROZ	0.80	0.95	1.05	1.15	1.20	1.30	1.30	1.20	1.10	0.90	0.50	
SOYA	0.15	0.20	0.25	0.30	0.45	0.55	0.70	0.80	0.70	0.60	0.50	
VEG. PEQ.	0.25	0.30	0.45	0.55	0.60	0.65	0.65	0.60	0.55	0.45	0.30	
REMOL. AZUC.	0.25	0.45	0.60	0.70	0.80	0.85	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	
TOMATE	0.20	0.25	0.40	0.60	0.70	0.75	0.75	0.65	0.55	0.30	0.20	
VEGETALES DE RAIZ PIVOTANTES	0.10	0.20	0.40	0.50	0.60	0.60	0.60	0.55	0.45	0.35	0.30	

Estos valores multiplicados por 1.25 pueden ser usados con la Evapotranspiración Potencial estimadas de la ecuación (1).

2.3 DESCRIPCION DE OTROS PROCEDIMIENTOS

Existe una gran cantidad de procedimientos que han sido desarrollados por diferentes autores, para determinar la evapotranspiración potencial o real de una área; entre estos podemos citar a Thornthwaite, Meyer, Davivov (1942 - 1948), Penman (1948), Hargraves (1956), Jensen y Panssen (1963), Lorry y Jonshon (1963), el método de Grassi - Christiansen y otros.

Se incluyen en esta publicación los procedimientos desarrollados por Grassi - Christiansen y Hargraves para el cálculo de la evapotranspiración real, porque para su aplicación práctica, se cuenta con tablas desarrolladas, principalmente de radiación solar global, factores de cultivo y otros coeficientes y de los otros factores componentes de la fórmula. Así mismo, para el desarrollo de la fórmula de Hargraves, se presentan las tablas que han sido desarrolladas para tal propósito.

2.3.1 Fórmula de Grassi - Christiansen

Esta fórmula permite calcular la evapotranspiración actual o real mediante el uso de factores climáticos y de cultivo. La fórmula original tiene la siguiente expresión:

$$E_a = E_p \cdot C_{vc} \cdot F \quad (I)$$

Siendo:

E_a = La evapotranspiración actual o real en mm/día

E_p = Evapotranspiración potencial en mm/día

C_{vc} = Coeficiente del ciclo vegetativo del cultivo

F = Factor de cultivo

La ecuación desarrollada para el cálculo de la evapotranspiración potencial tiene la siguiente expresión:

$$E_p = K \cdot C_r \cdot C_{cl} \cdot C_t \quad (II)$$

Siendo:

- K = Una constante e igual a 5.35
- Cr = Coeficiente de radiación solar
- Cclc= Coeficiente de nubosidad
- Ct = Coeficiente de temperatura

Las fórmulas para calcular cada uno de los coeficientes son las siguientes:

$$\begin{aligned} Cr &= 0.1824 + 0.0575 R \\ Cclc &= 1.15 - 0.05 Clc \\ Ct &= 0.64 + 0.018 T \end{aligned}$$

Siendo:

- R = Radiación solar teórica en el techo de la atmósfera, expresada en equivalente de altura de agua evaporada en mm /día
- Clc = Nubosidad expresada en octavos
- T = Temperatura en grados centígrados

Para calcular el coeficiente del ciclo vegetativo de los cultivos Cvc se ha desarrollado la siguiente expresión:

$$Cvc = 0.0895 + 0.02738 Vc - 0.0002058 Vc^2$$

Siendo:

- Vc = La duración del ciclo vegetativo expresado en porcentaje.

Ejemplo de Cálculo

Para la aplicación de éste método, se adjunta cuadros y tablas que contienen los elementos necesarios para que los cálculos sean simplificados.

1. Se obtiene el coeficiente de radiación solar teórica, expresada en equivalente de altura de agua evaporada, mm /día de la tabla N° 8, la que contiene valores desde 0°a 20° de latitud sur.

Los valores medios mensuales de radiación extraterrestre estarán dados por el grado de latitud en que se encuentra situado la zona de estudio. Para obtener valores intermedios, bastará realizar una simple interpolación. Los valores de radiación obtenidos se colocarán en la columna (1) del cuadro N° 2.8

2. Con los valores promedio de nubosidad registrados en la estación meteorológica y con ayuda de la tabla N° 9 se obtienen los valores del coeficiente C_{cl} , el que se anotará en la columna 2 del cuadro N° 2.8
3. Con la temperatura media en grados centígrados del área para la que se desea calcular el uso consuntivo, y con ayuda de la tabla N° 10 se obtiene el valor del coeficiente, C_t el que se colocará en la columna (3) del cuadro N° 2.8
4. Caracterizados los valores de C_r , C_{cl} , C_t y K , se calculará la evapotranspiración potencial mediante la ecuación (II) el resultado se registra en la columna (4) del cuadro N° 2.8
5. Obtenida la evapotranspiración (E_p) se procederá al cálculo del coeficiente C_{vc} o coeficiente del ciclo vegetativo, valores que están en función del desarrollo foliar del cultivo expresado en porcentaje. Según el desarrollo promedio mensual en que se encuentra el cultivo se obtendrá el valor del coeficiente de la tabla N° 11 el que se colocará en la columna (5) del cuadro N° 2.8

Otra forma de calcular el valor de C_{vc} , es utilizando el gráfico N° 1, el que contiene valores de C_{vc} para diferentes porcentajes del período de desarrollo de los cultivos.

TABLA Nº 8

VALORES MEDIOS MENSUALES DE RADIACION EXTRATERRESTRE EXPRESADOS COMO EQUIVALENTE DE EVAPORACION EN MILIMETROS POR DIA

LATITUD SUR GRADOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOST	SET	OCT	NOV	DIC
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
1	15.22	15.62	15.72	15.19	14.33	13.80	14.03	14.84	15.58	15.72	15.36	15.06
2	15.37	15.71	15.73	15.11	14.19	13.63	13.87	14.73	15.55	15.78	15.49	15.23
3	15.42	15.80	15.74	15.03	14.05	13.46	13.71	14.62	15.52	15.84	15.62	15.39
4	15.57	15.81	15.75	14.95	13.91	13.39	13.55	14.51	15.49	15.90	15.75	15.56
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
6	15.94	15.05	15.93	14.78	13.60	12.53	13.21	14.28	15.41	16.00	16.00	15.86
7	16.07	15.12	16.12	14.68	13.44	12.74	13.04	14.15	1.36	16.04	16.11	16.01
8	16.19	16.19	16.30	14.57	13.27	12.56	12.86	14.02	15.30	16.07	16.23	16.15
9	16.32	16.26	16.49	15.47	13.11	12.37	12.69	13.89	15.25	16.11	16.34	16.30
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
11	16.56	16.37	15.63	14.25	12.77	11.98	12.32	13.61	15.12	16.16	16.54	16.56
12	16.66	16.42	15.59	14.13	12.59	11.78	12.12	13.41	15.05	16.17	16.63	16.69
13	16.77	16.46	15.56	14.00	12.42	11.57	11.96	13.31	14.97	16.19	16.71	16.81
14	16.87	16.51	15.52	13.88	12.24	11.37	11.73	12.16	14.90	16.20	16.80	16.94
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
16	17.06	16.57	15.41	13.62	11.87	10.96	11.33	12.74	14.72	16.20	16.96	17.16
17	17.15	16.59	15.34	13.48	11.67	10.74	11.13	12.67	14.62	16.19	17.02	17.26
18	17.23	16.62	15.29	11.33	11.48	10.53	10.92	12.51	14.52	16.18	17.09	17.37
19	17.32	16.64	15.22	13.19	11.28	10.81	10.72	12.34	14.43	16.17	17.15	17.47
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

El porcentaje de desarrollo del ciclo vegetativo del cultivo solamente se considera en cultivos estacionales no así en cultivos permanentes, para los cuales el valor de Cvc es igual a 1

6. Los valores de "F" han sido determinados previamente por Christiansen en base a pruebas experimentales y aplicados con posterioridad. Estos valores se presentan a continuación:

FACTOR F DE LOS CULTIVOS

Alfalfa.....1.00*	Manzana.....1.02
Algodón.....1.08	Cebolla.....1.01
Frejoles.....0.98	Maíz.....1.00
Papas.....1.02	Tomates.....0.82
Vid.....0.73	

*Cvc = 1.00 Solo para cultivos que han alcanzado su madurez
 Otra forma de calcular en forma matemática el valor de "F" v para cultivos estacionales, es mediante la ecuación:

$$Cvc \times F = E_p/E_a \dots\dots\dots(7)$$

El valor de "F" obtenido se registra en la columna 6 del cuadro N° 2.8

7. Con los valores de E_p, Cvc y "F" se calcula la evapotranspiración real en mm/día, mediante la ecuación: E_a = E_p . Cvc . F

El producto de estos factores se registra en la columna 7 del cuadro N° 2.8 obteniéndose así los correspondientes valores.

REGISTRO PARA EL CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION ACTUAL POR LA FORMULA GRASSI - CHRISTIANSEN

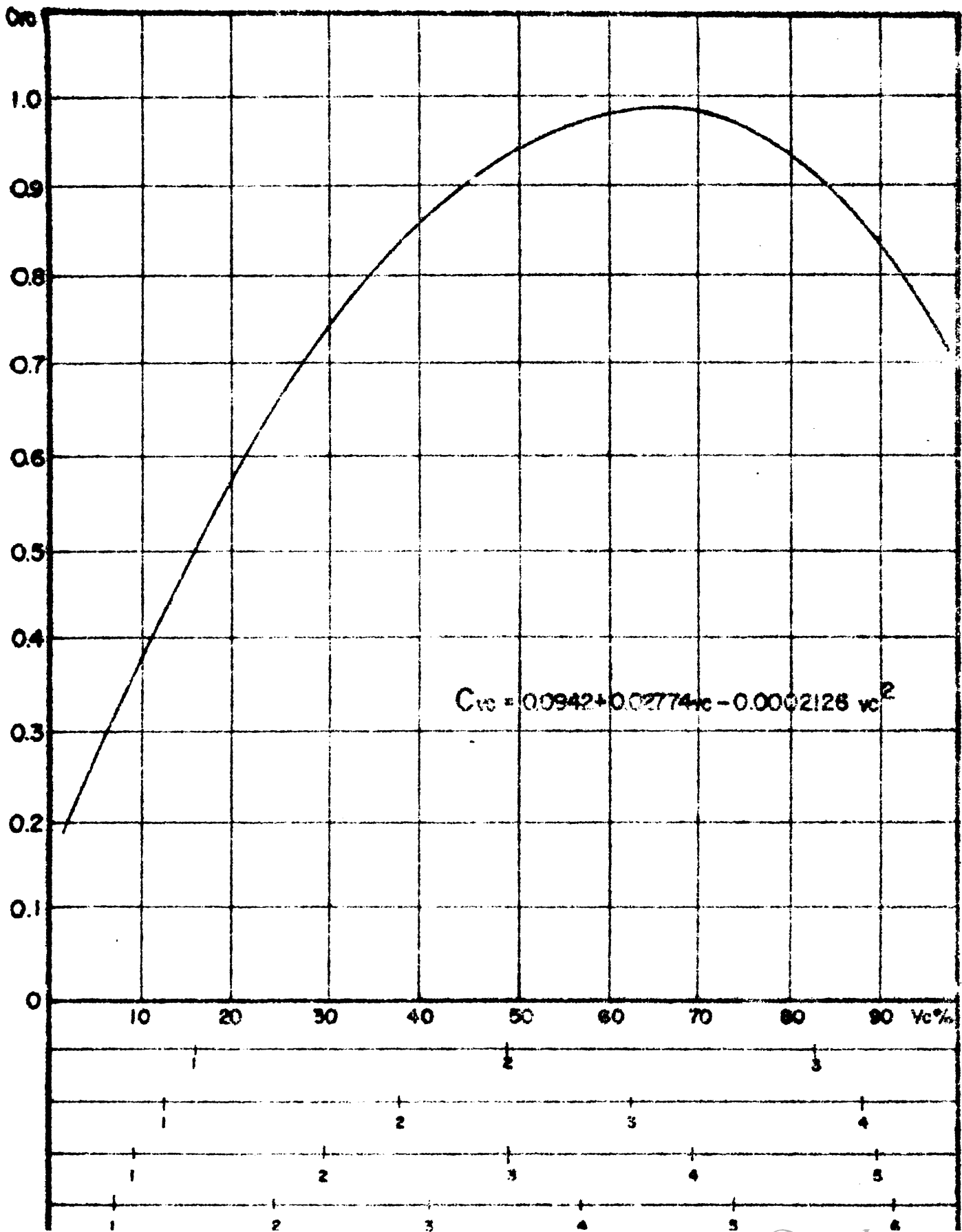
MESES	C _R	C _{C1c}	C _T	E _P	C _{Vc}	F	E _a
ENE							
FEB							
MAR							
ABR							
MAY							
JUN							
JUL							
AGOST							
SET							
OCT							
NOV							
DIC							

$$E_a = E_p \times C_{Vc} \times F$$

$$E_p = 5.35 \times C_R \times C_{C1c} \times C_T$$

$$C_{Vc} = 0.0827 + 0.02738 Vc - 0.0002058 Vc^2$$

CURVAS DE VALORES C_{vc} PARA LA
FORMULA DE GRASSI-CHRISTIASEN



T A B L A N° 9

NUBOSIDAD Clc (Octavos)	COEFICIENTE DE NUBOSIDAD (Cclc)
1 : 8	1. 14375
2 : 8	1. 13750
3 : 8	1. 13125
4 : 8	1. 12500
5 : 8	1. 11875
6 : 8	1. 11250
7 : 8	1. 10625
8 : 8	1. 10000

$$Cclc = 1.15 - 0.05 Clc$$

T A B L A N° 10

TEMPERATURA MEDIA °C	COEFICIENTE DE TEMPERATURA (C _T)
10	0.180
11	0.198
12	0.216
13	0.234
14	0.252
15	0.270
16	0.288
17	0.306
18	0.324
19	0.342
20	0.360
21	0.378
22	0.396
23	0.414
24	0.432
25	0.450
26	0.468
27	0.486
28	0.504
29	0.522
30	0.540
31	0.558
32	0.576
33	0.594
34	0.612
35	0.630

T A B L A N° 11
 VALORES DE Cvc PARA DIFERENTES PORCENTAJES DE DE-
 SARROLLO DE LOS CULTIVOS

% DEL CICLO VEGETA- TIVO DEL CULTIVO	VALORES DE (Cvc)
5	0.221255
10	0.342720
15	0.453895
20	0.554780
25	0.645375
30	0.725680
35	0.795295
40	0.855420
45	0.904855
50	0.944000
55	0.972855
60	0.991420
70	0.997690
75	0.985375
80	0.962780
85	0.929895
90	0.886720
95	0.833255
100	0.769500

2.3.2 Fórmula de Hargreaves

La fórmula desarrollada por Hargreaves en 1856, permite calcular el uso consuntivo mensual de los cultivos en función de la temperatura media, humedad relativa media al medio día, duración diurna que es dependiente de la latitud, los coeficientes para diferentes cultivos y un factor constante adicional de corrección.

La ecuación para el cálculo en unidades métricas y temperatura en grados centígrados es la siguiente:

$$E_t = 17.37 \times K \times d \times T (1.0 - 0.01 H_n)$$

donde:

- E_t = Evapotranspiración real en mm/mes
- K = Coeficiente empírico del cultivo
- d = Coeficiente mensual de duración del día
- T = Temperatura media mensual
- H_n = Humedad relativa media al medio día

El coeficiente de duración del día (d), está relacionado con el (p) de la fórmula de Blaney y Criddle por la ecuación:

$$d = 0.12 p$$

Los valores de humedad relativa que generalmente se publican en los registros climatológicos del SENAMH, (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, corresponden a valores medios diarios.

Al Barrak (1964) obtuvo una relación entre la humedad relativa medie del medio día y la humedad relativa media de 24 horas la cual se presenta en el gráfico N° 2

Los valores de K para diferentes cultivos y según el período de crecimiento que han sido obtenidos por Hargreaves se presentan

en la tabla N° 12

El desarrollo de la fórmula de Hargreaves ha dado buenos resultados para condiciones meteorológicas medias. Las investigaciones de Patil y Christiansen (1963), Al Barrak (1964) y Chindasnguan (1966) para comprobar la fórmula de Hargreaves indican que ésta da buenos resultados para diferentes condiciones de clima, cuando los vientos son uniformes o normales. A continuación se presenta un cuadro para el cálculo del uso consuntivo mediante la fórmula de Hargreaves.

CUADRO N° 2-9

CUADRO PARA EL CALCULO DE LA EVATRANSPIRACION O NECESIDAD DE RIEGO APLICANDO LA FORMULA DE HARRIS-GREAVES.

CULTIVO: _____

MESES	COEFICIENT. K DE CULTIVO	COEFICIENT MENSUAL DURACION DIA: d.	TEMPERAT. MEDIA MENSUAL °C	HUMEDAD RELATIVA MEDIA AL MEDIO DIA Hn.	EQUACION (1.0-0.01 Hn.)	E _T DEL CULTIVO mm.
	1	2	3	4	5	6
JULIO						
AGOSTO						
SEPTIEMBRE						
OCTUBRE						
NOVIEMBRE						
DICIEMBRE						
ENERO						
FEBRERO						
MARZO						
ABRIL						
MAYO						
JUNIO						
AÑO						

$E_t \text{ mm.} = 1737 K_d T (1.0 - 0.01 H_n)$

*Relación entre humedad relativa media diaria y la
humedad relativa media al medio día según:
ALBARRAK (1964)*

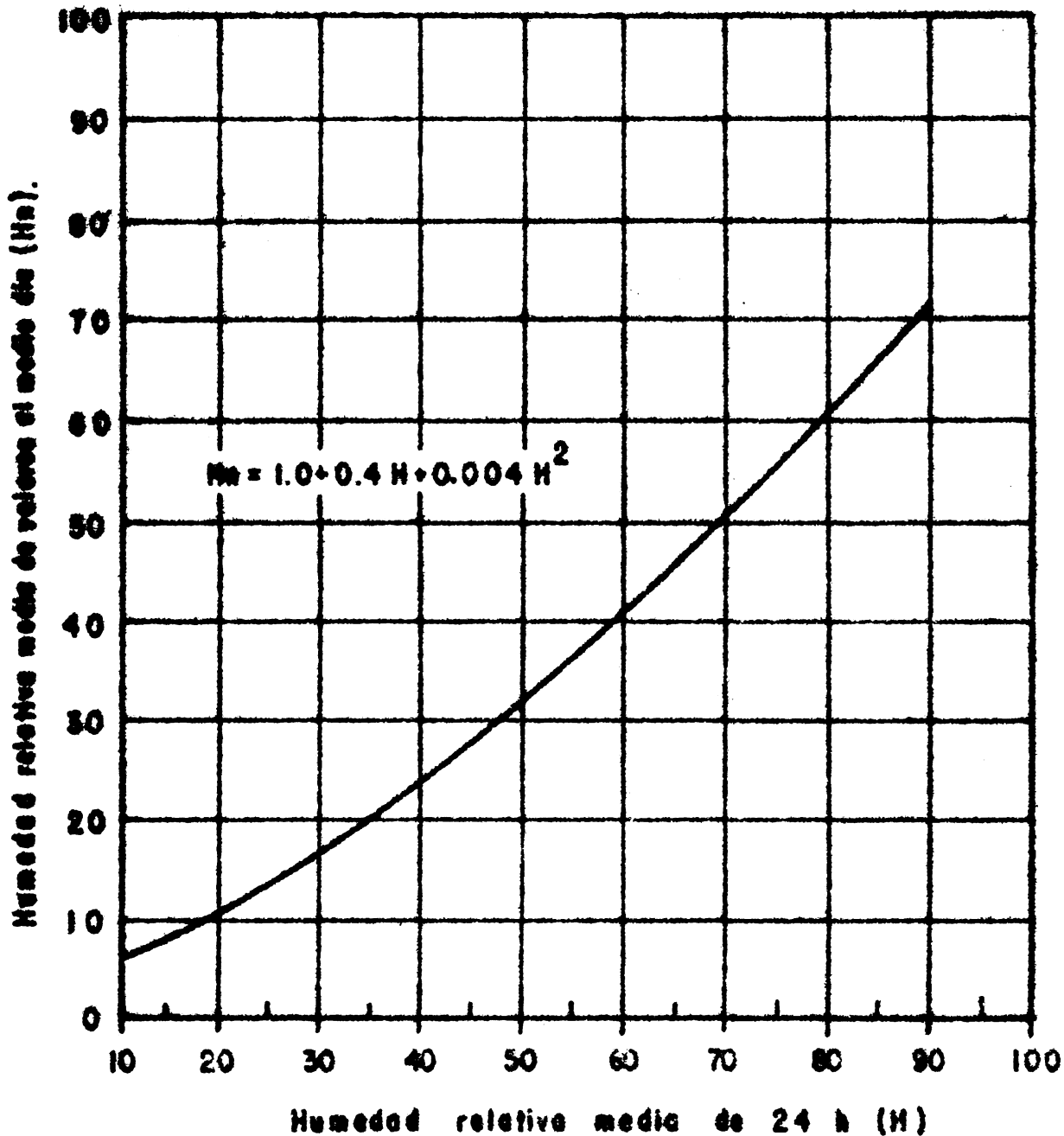


TABLA Nº 12
VALORES DEL COEFICIENTE k - FORMULA DE HARGREAVES (1966)

Estación de Crecimiento %	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D	Grupo E	Grupo F	Grupo G	Arroz
0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0.20	0.15	0.12	0.08	1.00	0.60	0.55	0.90
10	0.36	0.27	0.22	0.15	1.00	0.60	0.60	0.92
15	0.50	0.38	0.30	0.19	1.00	0.60	0.65	0.95
20	0.64	0.48	0.38	0.27	1.00	0.60	0.70	0.98
25	0.75	0.56	0.45	0.33	1.00	0.60	0.75	1.00
30	0.84	0.63	0.50	0.40	1.00	0.60	0.80	1.03
35	0.92	0.69	0.55	0.46	1.00	0.60	0.85	1.06
40	0.97	0.73	0.58	0.52	1.00	0.60	0.90	1.08
45	0.99	0.74	0.60	0.58	1.00	0.60	0.95	1.10
50	1.00	0.75	0.60	0.65	1.00	0.60	1.00	1.10
55	1.00	0.75	0.60	0.71	1.00	0.60	1.00	1.10
60	0.99	0.74	0.60	0.77	1.00	0.60	1.00	1.10
65	0.95	0.72	0.58	0.82	1.00	0.60	0.95	1.10
70	0.91	0.68	0.55	0.88	1.00	0.60	0.90	1.05
75	0.85	0.64	0.51	0.90	1.00	0.60	0.85	1.00
80	0.75	0.56	0.45	0.90	1.00	0.60	0.80	0.95
85	0.60	0.45	0.36	0.80	1.00	0.60	0.75	0.90
90	0.46	0.35	0.28	0.70	1.00	0.60	0.70	0.85
95	0.28	0.21	0.17	0.60	1.00	0.60	0.55	0.80
100	0	0	0	0	0	0	0	0

Grupo A : frejol, maíz, algodón, papas, remolacha azucarera y tomates
 Grupo B : dátiles, olivo, duraznos, ciruelas, nogal
 Grupo C : melón, cebada, zanahorias, vides y almendras
 Grupo D : espárragos, cebada, apio, lino avena, trigo y otros cereales menores y sorgo granífero
 Grupo E : pasto pangola, trébol, huertos con cultivos de cobertura, bananas y plátanos.
 Grupo F : naranjo, limonero y toronja
 Grupo G : caña de azúcar y alfalfa

BIBLIOGRAFIA DE CONSULTA

1. BURGOS, J.J. Y VIDAL, A.L.: Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite.
Año 1 Nº 1 Buenos Aires, Argentina (1951)
2. CORNEJO ARTURO T.: El Riego en el Perú - CENDRET - UFA, Lima, Perú, 1972
3. CRIDDLE, W.D. Consumptive Use of Water and Irrigation Requirements, Journal of Soil and Water Conservation Vol. 8 Nº5, Sept. USA (1953)
4. CHRISTIANSEN, J.E. AND HARGREAVES, G.H.: Irrigation Requirements from Evaporation Question 23 -P. 36. 7th Congress, Commission International on Irrigation and Drainage. Mex. 1968.
5. CHANG - NAVARRO, L. Y ARTURO CORNEJO T.: Funciones de producción del agua de Riego de los principales cultivos de la Costa Peruana.
Publicado por el Instituto para el desarrollo de los Recursos de Agua y Tierras de la Fundación para el Desarrollo Nacional, Año II Nº 5 Lima - Perú (1972)
6. D.A.T. DE S. FOULC.: El Riego por Aspersión
Edit. Técnicos Asociados S.A. Barcelona, España (1968)
7. DIRECCION GENERAL DE AGUAS MINISTERIO DE AGRICULTURA:
Ley General de Aguas - Dcto. Ley Nº 17752 y Reglamento de sus Títulos I - X
Lima - Perú (1972)

8. DIRECCION GENERAL DE AGUAS DIRECCION GENERAL DE FORESTAL Y CAZA
OFICINA SECTORIAL DE PLANIFICACION AGRARIA:
Normas para la elaboración del Manual de Organización y Funciones de las Sub-direcciones de Recursos Naturales y de las Administraciones Técnicas de Distritos de Riego. Lima - Perú, Enero(1973)
9. DIRECCION GENERAL DE AGUAS MINISTERIO DE AGRICULTURA:
Normativo para la Formulación de los Planes de Cultivo y Riego, Lima - Perú, Noviembre (1973)
10. ESPINOSA VICENTE, E.: Los Distritos de Riego
Comp. Edit. Continental S. A. México(1962)
11. GRASSI, CARLOS.: Estimación de los usos contutivos de Agua y requerimientos de Riego con fines de Formulación y Diseño de Proyectos.
Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras
Mérida Venezuela, Enero (1968)
12. GRASSI, CARLOS J.: Criterios básicos para determinar el coeficiente de Evapotranspiración relativa,
CIDIAT - IVº Sem. Latinoamericano de Irrigación. Ven. (1967)
13. HAGAN, R.N., HAISE, H. EDMINSTER, T.: Irrigation of Agricultural Land
Ame. Soc. Agronomy, N° 11, serie Agronomy (1959)
14. ISRAELSEN, O.W. AND HANSEN, V.E.: Principios y aplicaciones del Riego Edit.
Reveret S. A. 2da. Edición, México (1963)

15. LINSLEY, R.K. KOHLER, M. A. AND PAULHUS, J.L.:
 Hydrology for Engineers.
 Mc Graw - Hill Book Company. Inc.
 New York, USA (1949)
16. LINSLEY, R.K., KOLER, M.A. AND PAULHUS, J.L.:
 Hydrology Applied
 Mc Graw - Hill, New York, USA (1949)
17. LUQUE, J.A.:
 Aplicación del método de Blanney y Criddle
 Ajustado para la determinación del Uso Con-
 sumtivo, Lámina Neta y Requerimientos de
 Riego en el País.
 Revista IDIA, Nº 266 pág 61 -69 INTA, Bue-
 nos Aires, Argentina (1969)
18. LUQUE, J.A.:
 Necesidades de agua y bases para la deter-
 minación del Uso Consuntivo en Pedro Luro.
 Public. del Inst. de Edafología e Hidrolo-
 gía de la U. M. S. - Nº 7 Bahía Blanca,
 Argentina (1965)
19. LUQUE, J. A.:
 Agricultura Bajo Riego
 Edit. Piaggio, Buenos Aires, Argentina (1965)
20. LUQUE, J.A.:
 Caracterización del Río Colorado con fines
 de Riego C.F.C.I.P.M.A., UNS. Bol Nº 1-
 Bahía Blanca Argentina (1967)
21. LUQUE, J.A.:
 Uso Consuntivo en Explotaciones del Valle
 Bonaerense del Río Colorado.
 Public. del Inst. de Edafología e Hidrolo-
 gía de la U.M.S. Nº 8 Bahía Blanca - Ar-
 gentina (1966)
22. LUQUE J.A.:
 Procedimientos para el cálculo de Lámina
 de Riego Cufa de Riego, Public. del Dpto.
 de Ingeniería UNS. Nº 1, Bahía Blanca -

- Argentina (1967)
23. LUQUE, J.A.: Técnicas de Programación y Análisis de Ingeniería Ediciones Riagro, Bahía Blanca - Argentina (1969)
 24. LUQUE, J.A. Y PAOLONI, J.D.: Manual de Operación de Riego Edit. Riagro, Buenos Aires - Argentina 2ª Edic (1974)
 25. LUQUE, J.A., PAOLONI, J.D., DELL'ORO, B.J.: Modelos Operacionales para Riego. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Minería, Río Negro - Argentina (1973)
 26. LUQUE, J.A. Y PAOLONI, J.D.: Estudio de las dotaciones de Riego y Demanda de Agua para el valle inferior del Río Colorado. Publ. Técnico COPEO - Pedro Luro, Argentina (1969)
 27. LUQUE, J.A. GUTIERREZ, A.U Y PAOLONI, J.D.: Requerimiento de Agua y Uso Consuntivo en Explotaciones de la Provincia de Río Negro Public. Tecn. de la Subsecretaría de Asuntos Agrarios de la Provincia de Río Negro Vidma, Argentina (1970)
 28. LUQUE, J.A. Y PEINEMANN, N. Propiedades Hídricas del Suelo del Valle Bonaerense del Río Colorado, INTA INDIA. Vol. 5, Serie "Clima y Suelo" Buenos Aires - Argentina (1968)
 29. PAPACIOS VELEZ, E.: Cuánto, cuándo y cómo regar Mem. Téc. Nº 195, S.P.H. México (1963)
 30. POIREE, M. ET OLLIEP.: El Regadío Edit. Técnicos Asociados S.A. Parcelona, España (1965)

31. ROSELL, P., LUQUE, J.A. Y CARLSON, P.:
Informe sobre el Valle inferior del río Colorado.
Public. de Inst. de Edaf. e Hidrología U.M.S.
N° 5, Páña Blanca - Argentina (1964)
32. RICHARDS, L.A.:
Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos, Manual de Agricultura N° 60
Secretaría de Agricultura y Ganadería, México (1962)
33. ROMANELLA CARLOS A.:
Dotaciones de Agua Calculados para el río Mendoza. Dep. Gal. de Irrigación Provincia Mendoza (1960)
34. SERVICIO DE CONSERVACION DE SUELOS - DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA:
Relación entre Suelo - Planta y Agua
Editora Diana 1ª Edición, Secc. 15 Colecc. Ingeniería de Suelos, México (1972)
35. SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS DE MEXICO:
Metodología para la determinación y cálculo del uso consuntivo de los cultivos
Memorándum Técnico N° 290 (1963)
36. SHOCKLEY, D. R.:
Capacity of Soil to hold moisture Agricultural Engineering, Vol. 35 N° 2 Feb. USA (1955)
37. SOIL CONSERVATION SERVICE - USDA:
Irrigation, Section 15 - Washington D.C. USA. (1967)
38. SOIL CONSERVATION SERVICE- USDA:
Instructions and Criteria for preparation on Irrigation Guides. Oregón, USDA, USA (1957)

39. THORNTWAITE, C. W.: The climates of North America according to a new classification. The Geographical review (633 - 655) (1951)
40. TOPOLANSKI, E.L.: "Arroz y Riego"
Int. Mac. Colonización, Montevideo. Uruguay (1956).
41. THORNE, E.W. Y PETERSON, H.B.:
Técnica del Riego
Comp. Edit. Continental S.A. México (1960)
42. U.S.D.A., S.C.S.: Nat. Engin Handbook, Hydrology guide for use in watershed planing, USA (1968)
43. UNITED STATES SALINITY LABORATORY STAFF:
Agricultura Handbook Nº 60
Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soil USDA (1954)

APENDICE IPROGRAMA PARA EL CALCULO DEL USO CONSUNTIVO Y LAMINA NETA O DE REPOSICIONPARA RIEGO EN LA CALCULADORA PROGRAMABLE OLIVETTI P - 203.Programa Ac - RR01

Consideraciones básicas.- Se ha tomado como base el procedimiento de Blaney y Criddle ajustado, con las siguientes consideraciones:

Se utiliza el cuadro N°1 cuyo formato se adjunta, en el cual, en la columna 1 se presenta el año agrícola.

La columna 2 representa la temperatura media mensual para cada mes, obtenida en la zona, en grados centígrados (t).

En la columna 3 se considera un factor de ajuste para la temperatura para regiones áridas (ta).

En la columna 4: se presentan los valores de la insolación, o resplandor solar que se obtienen de cuadros para zonas de latitud Sur (n).

La columna 5 muestra el valor del uso Consuntivo potencial en centímetros (Fu.c.).

En la columna 6 se emplean los valores del coeficiente de cultivo (k) obtenidos de las tablas correspondientes.

En la columna 7 se ubican los valores del Uso Consuntivo mensual del cultivo (U.C. cultivo) expresado en milímetros.

La columna 8 presenta los valores de la precipitación efectiva (Pe) que intervienen en el cálculo de la siguiente manera:

- a) Cuando la precipitación media mensual es menor que 10mm. no se considera para el cálculo.

- b) Cuando la precipitación media mensual está entre 10mm. y 15mm. inclusive se considera como precipitación efectiva, el total de la precipitación.
- c) Cuando la precipitación media mensual es mayor que 15mm. y menor ó igual que 25 mm., se consideran los nueve décimos de la misma.
- d) Cuando la precipitación media mensual es mayor que 25mm., se considera los ocho décimos.

La columna N°9 representa el valor calculado para la lámina neta ó de reposición expresada en milímetros.

Desarrollo del Programa.- Se han considerado como datos de entrada los valores de t, ta, p, k y p.

El procedimiento comienza por calcular el Uso Consuntivo potencial en centímetros, multiplicando "ta" por "p".

$$Fuc = ta \times p$$

Luego el Uso Consuntivo del cultivo se calcula multiplicando el Uso Consuntivo potencial por el coeficiente del cultivo y convirtiéndolo a milímetros.

$$U. C. = Fuc \times k \times 10$$

La precipitación efectiva se encuentra, de acuerdo a las consideraciones básicas tomadas, según su magnitud media mensual; en el caso:

- a) No se considera
- b) Se considera en toda su magnitud
- c) Se considera el 90%
- d) Se considera el 80%

Por último, la lámina neta o de reposición, se encuentra restando la precipitación efectiva (excepto en el caso "a") del valor encontrado para el Uso Consuntivo.

Estas operaciones se realizan para cada cultivo y cada mes de acuerdo a su período vegetativo, luego se obtiene una lámina anual acumulando los valores de las láminas mensuales.

Operación del Programa.- Los resultados de los cálculos, incluyendo los datos, se obtienen impresos en el formato que se adjunta.

Se comienza por introducir ~~it~~ en la calculadora el programa por intermedio de la tarjeta magnética grabada para el efecto. Luego, presionando la tecla "V", se está en condiciones de introducir los datos en el orden siguiente : k, t, ta, p, P. Después de marcar el valor de cada dato en el teclado operativo, se presiona la tecla "S", teniendo en cuenta que los datos de "t" y "ta" se imprimen en el formulario con el número de decimales con que se introduzcan (normalmente uno y tres, respectivamente) y los resultados se obtendrán impresos con dos decimales, efectuándose un redondeo con los valores de la lámina neta.

El formulario se ubica en el Tekne (unidad de impresión de formularios), con el marginador izquierdo en el margen izquierdo de la columna de temperatura, y el carro de la impresora en la línea que corresponde al primer mes del período vegetativo.

Al culminar el período vegetativo del cultivo se ubica la impresora en la línea marcada como "Fin" en el formulario (sin moverlo lateralmente) y presionando la tecla "Z" se imprime automáticamente la lámina total en la columna correspondiente a lámina neta.

APENDICE IIPROGRAMA PARA EL CALCULO DE LOS INDICES VOLUMETRICOS UNITARIOS MENSUALES
O REQUERIMIENTOS DE RIEGO A NIVEL DE PARCELA EN LA CALCULADORA PROGRAMABLEOLIVETTI P 203Programa AC - PR#2

Consideraciones básicas.- Tomando como datos de entrada el valor de la lámina neta ó de reposición expresado en milímetros (calculado con el programa AC - PR#1), se realiza la conversión de éste valor en m^3/mes y considerando la eficiencia del sistema de riego considerado, se calcula un consumo ó volumen bruto unitario mensual en m^3 .

Para facilitar la explotación de estos resultados, se presentan en un cuadro (H) en miles de metros cúbicos, redondeando por exceso o defecto en $50m^3$.

Desarrollo del Programa.- De acuerdo al sistema de riego empleado, así como las características del cultivo y a otros factores se asume convenientemente una eficiencia de aplicación estimada entre 40 a 65 % para los sistemas de riego por gravedad, en función de las condiciones imperantes en el área y la meta en este aspecto.

Como se ha consignado, se cuenta con tablas de consulta para estimaciones de este parámetro, hasta tanto se opere en base a experiencias regionales. Para cambiar la eficiencia dentro del programa bastará con introducir, antes del inicio del mismo el valor de dicha eficiencia en la memoria "D" de la calculadora disponiéndose de la memoria "E" para eficiencia alternativa.

Operación del Programa.- El programa trabaja con la eficiencia introducida en la memoria "D" (actualmente 0.60) y si se desea usar la eficiencia alternativa, presionando la tecla "W" se dispondrá de ésta en el programa quedando impreso en la cinta de papel.

Los resultados se obtienen impresos en la Teclne en el formato del cuadro Nº . El programa trabaja con la rueda de decimales de impresión en "2" y la adicional en "0".

Para iniciar el programa se presiona la tecla "V" y se introduce el valor de la lámina neta en milímetros por medio del teclado operativo considerando desde "0" a "2" decimales.

Para totalizar se ubica el carro de la impresora en la línea correspondiente a "Año" y se presiona la tecla "Z".

La calculadora imprimirá los totales de todas las columnas.

P 203

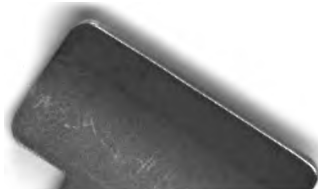
PROGRAMA

Cálculo de Uso Consumitivo, Lámina neta o de reposición, para riego

AÑO 74
 CODIGO TEMA RR 01
 No. AC
 TARJETA No. DE

Constantes: 10 en D/, 09 en D, 08 en E/, 0.005 en E decimales de impresión en 2 Versión 05
 Datos: K, t, fa, p, P
 Marginador en la izquierda de la columna "t"
 "V" para iniciar el programa, "Z" para totalizar
 decimales adicionales en 3
 80 instrucciones
 Tiempo total 35 seg.

REGISTRO 1		REGISTRO 2		REGISTRO F	REGISTRO REG.	CONTENIDO REG.		V	AV	X
1	A V	-	P-15	A <	87	M		W	AW	X
2	S K	/ W		* (9)	86			Y	AY	X
3	C/ ↑	W		C +	89			Z	AZ	X
4	S ↑	A/W		C †	100			CV	BV	
5	V	B ↑	P	F/ S	101			CW	BW	
6	R ÷ (7)	A/↑		V	102			CY	BY	
7	S 10	R/ - 5		A Z	103			CZ	BZ	
8	↓	D ↑ 25		/ <	104			DV	EV	
9	A <	-	P-25	/Y (30)	105			DW	EW	
10	R * (9)	/ Y		/ <	106			DY	EY	
11	S P	B ↓	P	/Y (30)*	107			DZ	EZ	
12	V	D X	0.9P	C <	108			RV	FV	
13	< (10)	B ↑		/↑ (17)	109			RW	FW	
14	X S P	W		C *	110			RY	FY	
15	S P	A/ Y		F/ S	111			RZ	FZ	
16	B ↑	B ↓	P	V	112			IV	AV	X
17	A <	E/ X	0.8P					IW	AW	X
18	< (10)	B ↓						IY	AY	X
19	C/ <	A W						IZ	AZ	
20	* (9)	C/ ↓	UC					CIV	BIV	
21	C/ X	B -	UC-P					CIV	BIV	
22	D/ X	C/ ↑						CIV	BIV	
23	C/ ↑	A/ V						CIV	BIV	
24	C/ <	B <						CIV	BIV	
25	* (9)	* (9)						CIV	BIV	
26	D/ ↑	C/ ↑	Lam.					CIV	BIV	
27	B -	E +	Lam.+0.005					CIV	BIV	
28	/ V	D/ X	10(Lam.+0.005)					CIV	BIV	
29	B ↑	D/ X	100(Lam.+0.005)					CIV	BIV	
30	A /↑	/ ↑						CIV	BIV	
31	R/ - 5	D/ ÷	10 Lam.					CIV	BIV	
32	D ↑ 15	D/ ÷	10 Lam. neta.					CIV	BIV	





IICA CE