

RELACION EXISTENTE ENTRE EL USO CONSUNTIVO DETERMINADO
POR EL METODO GRAVIMETRICO Y LA EVAPORACION MEDIDA EN
UN TANQUE EVAPOROMETRO, PARA ALGUNOS CULTIVOS DEL VALLE
DEL MAYO.

TESIS

Sometida a la consideración de la
Escuela de Agricultura y Ganadería

de la

Universidad de Sonora

por

Julián Armando Moreno Castillo

Como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Agrónomo especialista en Ingeniería Agrícola.

Noviembre de 1969.

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

INDICE

	Pag.
INTRODUCCION.....	1
LITERATURA REVISADA.....	3
MATERIAL Y METODOS.....	6
RESULTADOS.....	30
DISCUSION.....	41
RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	42
BIBLIOGRAFIA.....	44

INDICE DE CUADROS Y GRAFICAS

	Pag.
Cuadro 1. Cultivos y sus características, a los cuales se les determinó la evapotranspiración por el método gravimétrico.....	7
Cuadro 2. Cálculo de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Cártamo; variedad: Gila; fecha de siembra: Enero 4 de 1966; ciclo vegetativo: 140 días.....	10
Cuadro 3. Cálculo de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Cártamo; variedad: Gila; fecha de siembra: Enero 14 de 1966; ciclo vegetativo: 140 días.....	11
Cuadro 4. Cálculo de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Linaza; variedad: Punjab; fecha de siembra: Diciembre 23 de 1966; ciclo vegetativo: 140 días.....	11
Cuadro 5. Cálculo de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Linaza; variedad: Punjab; fecha de siembra: Enero 9 de 1967; ciclo vegetativo: 110 días.....	12
Cuadro 6. Cálculo de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Trigo; variedad: Pénjamo; fecha de siembra: Diciembre 25 de 1966; ciclo vegetativo: 130 días.....	12
Cuadro 7. Cálculo de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Algodón; variedad: Delta Pine Smooth Leaf; fecha de siembra: Febrero 7 de 1967; ciclo vegetativo: 180 días.....	13
Cuadro 8. Cálculo de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Sorgo; variedad: NK-225; fecha de siembra: Junio 11 de 1966; ciclo vegetativo: 100 días.....	13
Cuadro 9. Cálculo de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Sorgo; variedad: NK-212; fecha de siembra: Junio 12 de 1966; ciclo vegetativo: 100 días.....	14

	Pag.
Cuadro 10. Cálculo de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Sorgo; variedad: NK-212; fecha de siembra: Abril 30 de 1966; ciclo vegetativo: 110 días.....	14
Cuadro 11. Cálculo de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Sorgo; variedad: NK-210; fecha de siembra: Marzo 20 de 1967; ciclo vegetativo: 130 días.....	15
Cuadro 12. Ecuaciones encontradas para cada cultivo.....	26
Cuadro 13. Tabulación para resolver la ecuación $Y = 4.25X^3 + 5.43X^2 - 0.71X + 0.22$	29
Cuadro 14. Valores de K afinados cada 10% de desarrollo para los cultivos en estudio...	30
Gráfica 1. Valores de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Cártamo; variedad: Gila; fecha de siembra: Enero 4 de 1966; ciclo vegetativo: 140 días.....	16
Gráfica 2. Valores de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Cártamo; variedad: Gila; fecha de siembra: Enero 14 de 1966; ciclo vegetativo: 140 días.....	17
Gráfica 3. Valores de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Linaza; variedad: Punjab; fecha de siembra: Diciembre 23 de 1966; ciclo vegetativo: 140 días.....	18
Gráfica 4. Valores de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Linaza; variedad: Punjab; fecha de siembra: Enero 9 de 1967; ciclo vegetativo: 110 días.....	19
Gráfica 5. Valores de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Trigo; variedad: Pénjamo; fecha de siembra: Diciembre 25 de 1966; ciclo vegetativo: 130 días.....	20

Gráfica 6.	Valores de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Algodón; variedad: Delta Pine Smooth Leaf; fecha de siembra: Febrero 7 de 1967; ciclo vegetativo: 180 días.....	21
Gráfica 7.	Valores de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Sorgo; variedad: NK-225; fecha de siembra: Junio 11 de 1966; ciclo vegetativo: 100 días.....	22
Gráfica 8.	Valores de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Sorgo; variedad: NK-212; fecha de siembra: Junio 12 de 1966; ciclo vegetativo: 100 días.....	23
Gráfica 9.	Valores de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Sorgo; variedad: NK-212; fecha de siembra: Abril 30 de 1966; ciclo vegetativo: 110 días.....	24
Gráfica 10.	Valores de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Sorgo; variedad: NK-210; fecha de siembra: Marzo 20 de 1967; ciclo vegetativo: 130 días.....	25
Gráfica 11.	Ejemplo de cálculo de valores de K para diferentes porcentos de desarrollo.....	27
Gráfica 12.	Valores de K afinados para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Cártamo; variedad: Gila; fecha de siembra: Enero 4 de 1966; ciclo vegetativo: 140 días.....	31
Gráfica 13.	Valores de K afinados para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Cártamo; variedad: Gila; fecha de siembra: Enero 14 de 1966; ciclo vegetativo: 140 días.....	32
Gráfica 14.	Valores de K afinados para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Linaza; variedad: Punjab; fecha de siembra: Diciembre 23 de 1966; ciclo vegetativo: 140 días....	33

- Gráfica 15. Valores de K afinados para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Linaza; variedad: Punjab; fecha de siembra: Enero 9 de 1967; ciclo vegetativo: 110 días..... 34
- Gráfica 16. Valores de K afinados para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Trigo; variedad: Pénjamo; fecha de siembra: Diciembre 25 de 1966; ciclo vegetativo: 130 días..... 35
- Gráfica 17. Valores de K afinados para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Algodón; variedad: Delta Pine Smooth Leaf; fecha de siembra: Febrero 7 de 1967; ciclo vegetativo: 180 días..... 36
- Gráfica 18. Valores de K afinados para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Sorgo; variedad: NK-225; fecha de siembra: Junio 11 de 1966; ciclo vegetativo: 100 días..... 37
- Gráfica 19. Valores de K afinados para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Sorgo; variedad: NK-212; fecha de siembra: Junio 12 de 1966; ciclo vegetativo: 100 días..... 38
- Gráfica 20. Valores de K afinados para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Sorgo; variedad: NK-212; fecha de siembra: Abril 30 de 1966; ciclo vegetativo: 110 días..... 39
- Gráfica 21. Valores de K afinados para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Sorgo; variedad: NK-210; fecha de siembra: Marzo 20 de 1967; ciclo vegetativo: 130 días..... 40

INTRODUCCION

En todos los Distritos de Riego en operación, ha sido una preocupación constante mejorar la operación del mismo, ó sea aumentar la eficiencia de distribución del agua, siendo ésta el cociente que resulta de dividir el agua entregada a los usuarios en sus predios sobre el agua extraída de la fuente de almacenamiento, multiplicado por 100. Sin descuidar el aspecto anterior, por el contrario, tratando de superarlo más, actualmente, se están encaminando la mayor parte de los trabajos hacia la mejoría en la eficiencia del riego parcelario, entendiéndose como tal, el cociente que resulta de dividir el agua consumida por la planta sobre el agua aplicada al suelo, multiplicado por 100.

El conocimiento de la cantidad de agua que la planta consume, es importantísimo, ya que será el índice que marque la eficiencia lograda; es necesario, conocer además del consumo total de agua, el tiempo en el cual se consume esa cantidad y en que magnitud varía a través del mismo, para darse una idea de los períodos críticos de demanda de agua y en esta forma estar en posibilidad de planear la operación del sistema de riego en forma correcta.

Al total del volumen de agua usado por las plantas, en la construcción de los tejidos y en la transpiración, además del que se evapora en la superficie del suelo, se

le llama Uso Consuntivo de los cultivos. El volumen de agua utilizado en la construcción de los tejidos, casi nunca excede del 1 % del total que se definió como uso consuntivo, por esta razón se usa el término de Evapotranspiración como sinónimo de Uso Consuntivo.

Por todo lo que se expone anteriormente, es lógico suponer que para la operación racional de un distrito de riego es de mucha importancia conocer la cantidad de agua que consume la planta.

En el presente trabajo se hacen algunas consideraciones sobre el consumo de agua por las plantas y su relación con la evaporación del lugar.

LITERATURA REVISADA

Existen algunos métodos para estimar el uso consuntivo por medio de fórmulas empíricas basadas en datos meteorológicos de un lugar específico relacionados al período de desarrollo del cultivo de que se trate.

Entre estos métodos se tiene:

1) La fórmula del Dr. Charles Hedke (5).

Esta fórmula relaciona el calor disponible con el uso consuntivo ó evapotranspiración en la siguiente forma:

$$UC = KH - - - - - 1$$

Donde: UC = Uso Consuntivo

K = Constante que depende del cultivo

H = Calor disponible en grados-días

2) La fórmula de Lowry y Johnson (5).

Esta fórmula relaciona la evapotranspiración con el calor efectivo, encontrándose entre ellos una relación lineal, fijando dos límites para esa relación en función del clima del lugar y del cultivo; uno superior y otro inferior con los siguientes valores:

$$E_t = 0.000095 C_e + 0.335 - - - - - 2$$

$$E_t = 0.000069 C_e + 0.21 - - - - - 3$$

Donde: E_t = Evapotranspiración en mm.

C_e = Calor efectivo en el período, en °C

3) Fórmula del Dr. C. W. Thornthwaite (5).

Esta liga una expresión denominada eficiencia de la

temperatura, cuya expresión es:

$$i = \left(\frac{T}{5} \right) 1.514$$

con la temperatura media mensual, obteniendo la ecuación:

$$E_t = 1.6 \left(\frac{10 T}{I} \right)^a \text{-----} 4$$

Donde: E_t = Evapotranspiración Potencial mensual
en cm.

T = Temperatura media mensual en °C

I = Suma de i para cada mes

$$a = 0.000000675 I^3 - 0.0000771 I^2 + 0.017921 I + 0.49239$$

4) Método de Blaney y Criddle (2).

Este método relaciona la temperatura media del lugar con la luminosidad y la evapotranspiración con un factor de corrección que depende de la época de desarrollo y del cultivo que se considera.

La fórmula es:

$$E_t = KF \text{-----} 5$$

Donde: E_t = Evapotranspiración total en cm.

K = Coeficiente de corrección que depende del cultivo y época de desarrollo; es el promedio de los valores k mensuales.

$$K = \sum k$$

F = Factor de temperatura y luminosidad; es la suma de f mensuales.

$$F = \sum f$$

$$f = p \left(\frac{T + 17.8}{21.8} \right)$$

Donde: T = Temperatura media mensual en $^{\circ}\text{C}$
 p = Porcentaje de horas luz para el período,
 respecto al total anual.

5) El Ing. Jerald E. Christiansen (3), obtuvo algunas regresiones entre la evapotranspiración y la evaporación medida en tanque evaporómetro.

6) Fórmula del Dr. George H. Hargreaves (4).

El Dr. Hargreaves, propuso la siguiente fórmula para estimar la evapotranspiración.

$$E_t = KE_p \text{ - - - - - } 6$$

Donde: E_t = Evapotranspiración

K = Factor que depende del cultivo

E_p = Evaporación en tanque en mm., la cuál se obtiene como sigue:

$$E_p = 17.4 d T (1.0 - H_n)$$

Donde: d = Coeficiente mensual de duración del día, que es la relación de la duración del día para el mes, a un total de 12 horas.

T = Temperatura media mensual en $^{\circ}\text{C}$

H_n = Media mensual de la humedad relativa al medio día.

MATERIAL Y METODOS

El presente trabajo se efectuó en el Distrito de Riego No. 38, Río Mayo, Son., dependiente de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, el cuál está localizado al sur del Estado de Sonora, a los 27°00' Latitud Norte y 109°30' al Oeste del meridiano de Greenwich; su clima es: Provincia de Humedad árida, vegetación desierto, humedad deficiente todas las estaciones, provincia de temperatura mesotérmica, subprovincia de temperatura concentración en el verano entre 25 y 34 % (1).

Considerando que la medida de la evaporación es un índice aceptable para involucrar en ella los factores meteorológicos de los cuales depende la evapotranspiración, se ha buscado una expresión que ligue la evapotranspiración de las plantas con la evaporación del lugar, que quedaría como sigue:

$$E_p = KE_v \text{ - - - - - } 7$$

Donde: E_p = Evapotranspiración en cm.

K = Coeficiente que depende del cultivo y del desarrollo vegetativo.

E_v = Evaporación en cm.

Despejado K de la ecuación No. 7 se tiene:

$$K = \frac{E_p}{E_v} \text{ - - - - - } 8$$

Con el fin de aplicar la fórmula anterior se determinó la evapotranspiración y se midió la evaporación, en la forma que se explica a continuación para los cultivos

que aparecen en el cuadro No. 1.

Cuadro 1. Cultivos y sus características, a los cuales se les determinó la evapotranspiración por el método gravimétrico.

No.	Cultivo	Variedad	Fecha de Siembra.	Ciclo Vegetativo
1	Cártamo	Gila	Ene. 4 de 1966	140 días
2	Cártamo	Gila	Ene. 14 de 1966	140 días
3	Linaza	Punjab	Dic. 23 de 1966	140 días
4	Linaza	Punjab	Ene. 9 de 1967	110 días
5	Trigo	Pénjamo	Dic. 25 de 1966	130 días
6	Algodón	Delta Pine - Smooth Leaf	Feb. 7 de 1967	180 días
7	Sorgo	NK-225	Jun. 11 de 1966	100 días
8	Sorgo	NK-212	Jun. 12 de 1966	100 días
9	Sorgo	NK-212	Abr. 30 de 1966	110 días
10	Sorgo	NK-210	Mar. 20 de 1967	130 días

Determinación de la Evapotranspiración: El método que se utilizó para medir el consumo de agua de los cultivos fue el gravimétrico; el cual se llevó a cabo de la siguiente manera:

Se tomaron muestras de suelo cada tercer día en capas de 20 cm. hasta 120 cm. de profundidad, se tenían seis sitios de muestreo por cultivo. Para los muestreos se usó una barrena de tirabuzón. Al tomarse las muestras se envasaron en botes cerrados, previamente tarados los cuales se pesaron con el fin de obtener el peso de suelo

húmedo, enseguida se secaron en una estufa a 110°C durante 24 horas, para después pesarse de nuevo y obtener así el peso del suelo seco. El porcentaje de humedad se calculó por medio de la fórmula:

$$PS = \frac{PH \times 100}{PSS} \text{ - - - - - 9}$$

Donde: PS = Porcentaje de humedad respecto al suelo seco.

PH = Peso de la humedad.

PSS = Peso del suelo seco.

Con los datos obtenidos se formaron gráficas de humedad con el fin de ver la magnitud de los consumos de agua, en porcentaje.

La lámina consumida en un intervalo de tiempo dado se calculó de la siguiente manera:

$$L = PS \times Pr \times Da \text{ - - - - - 10}$$

Donde: L = Lámina consumida en cm.

PS = Porcentaje de humedad

Pr = Profundidad radicular

Da = Densidad aparente.

Las constantes de humedad se determinaron de la siguiente manera:

Capacidad de Campo: Se obtuvo por el método directo de campo, es decir determinando el porcentaje de humedad del suelo pocos días después del riego, cuando se ha percolado el exceso de agua, este método se comprobó por medio de la olla de presión, determinando el porcentaje de

al 11).

Ya obtenidos los valores de K, para cada 10 % de desarrollo, se llevaron a un eje de coordenadas, teniéndose en el eje de las abscisas (X) los valores de ciclo vegetativo en por ciento y en el eje de las ordenadas (Y) los valores de K. (gráficas Nos. 1 al 10).

Cuadro 2. Calculo de K para diferentes porcientos de ciclo vegetativo del cultivo: Cártamo; Variedad: Gila; Fecha de siembra: Enero 4 de 1966; Ciclo vegetativo: 140 días.

<u>% de desarrollo</u>	<u>Días</u>	<u>Evapotranspiración</u>	<u>Evaporación</u>	<u>K</u>
10	14	1.7	5.6	0.34
20	28	1.9	5.5	0.35
30	42	2.9	5.7	0.51
40	56	3.5	8.0	0.44
50	70	4.2	10.4	0.40
60	84	6.4	10.2	0.63
70	98	5.4	12.8	0.42
80	112	3.1	14.5	0.21
90	126	2.5	15.2	0.16
100	140	2.3	17.7	0.13

Cuadro 3. Cálculo de K para diferentes porcentajes de ciclo vegetativo del cultivo: Cártamo; Variedad: Gila; Fecha de siembra: Enero 14 de 1966; Ciclo vegetativo: 140 días.

% de desarrollo	Días	Evapotranspiración	Evaporación	K
10	14	1.2	3.8	0.32
20	28	1.5	3.7	0.41
30	42	2.0	4.2	0.48
40	56	3.4	5.9	0.58
50	70	4.6	6.8	0.68
60	84	5.4	7.2	0.75
70	98	6.9	8.2	0.84
80	112	5.7	9.4	0.61
90	126	3.4	9.9	0.34
100	140	2.2	10.4	0.21

Cuadro 4. Cálculo de K para diferentes porcentajes de ciclo vegetativo del cultivo: Linaza; Variedad: Punjab; Fecha de siembra: Diciembre 23 de 1966; Ciclo vegetativo: 140 días.

% de desarrollo	Días	Evapotranspiración	Evaporación	K
10	14	0.7	4.0	0.18
20	28	1.2	5.1	0.24
30	42	2.0	5.4	0.37
40	56	2.7	7.0	0.39
50	70	4.1	7.4	0.55
60	84	5.7	9.7	0.59
70	98	6.8	11.0	0.62
80	112	7.2	11.5	0.63
90	126	5.0	13.1	0.38
100	140	2.6	16.1	0.16

Cuadro 5. Cálculo de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Linaza; Variedad: Punjab; Fecha de siembra: Enero 9 de 1967; Ciclo vegetativo 110 días.

% de desarrollo	Días	Evapotranspiración	Evaporación	K
10	11	1.9	4.5	0.42
20	22	1.7	4.2	0.40
30	33	3.2	5.6	0.57
40	44	3.4	4.5	0.76
50	55	4.0	6.8	0.59
60	66	5.4	7.5	0.72
70	77	6.6	8.4	0.79
80	88	6.9	8.8	0.78
90	99	5.3	9.8	0.54
100	110	3.8	10.7	0.36

Cuadro 6. Cálculo de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Trigo; Variedad: Pénjamo; Fecha de siembra: Diciembre 25 de 1966; Ciclo vegetativo: 130 días.

% de desarrollo	Días	Evapotranspiración	Evaporación	K
10	13	1.7	3.4	0.50
20	26	2.1	5.0	0.42
30	39	2.6	4.9	0.53
40	52	3.7	6.5	0.57
50	65	5.0	6.4	0.78
60	78	6.4	9.0	0.71
70	91	6.8	9.7	0.70
80	104	5.7	11.0	0.52
90	117	3.9	11.2	0.35
100	130	2.9	13.8	0.21

Cuadro 7. Cálculo de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Algodón; Variedad: Delta Pine - Smooth Leaf; Fecha de siembra: Febrero 7 de 1967; Ciclo vegetativo: 180 días.

% de desarrollo	Días	Evapotranspiración	Evaporación	K
10	18	1.2	6.1	0.20
20	36	2.4	9.1	0.26
30	44	4.2	9.3	0.45
40	72	5.4	10.8	0.50
50	90	7.2	12.5	0.58
60	108	10.0	14.3	0.70
70	126	10.6	13.6	0.78
80	144	11.8	14.9	0.79
90	162	8.4	14.6	0.58
100	180	6.8	10.1	0.67

Cuadro 8. Cálculo de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Sorgo; Variedad: N K - 225; Fecha de siembra: Junio 11 de 1966; Ciclo vegetativo: 100 días.

% de desarrollo	Días	Evapotranspiración	Evaporación	K
10	10	3.2	13.0	0.25
20	20	3.4	11.3	0.30
30	30	3.6	11.8	0.31
40	40	3.9	11.0	0.35
50	50	4.6	7.0	0.66
60	60	4.9	7.8	0.63
70	70	5.2	5.9	0.88
80	80	7.2	5.8	1.24
90	90	6.8	7.5	0.91
100	100	5.2	7.2	0.72

Cuadro 9. Cálculo de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Sorgo; Variedad: N K - 212; Fecha de siembra: Junio 12 de 1966; Ciclo vegetativo: 100 días.

% de desarrollo	Días	Evapotranspiración	Evaporación	K
10	10	2.9	13.2	0.22
20	20	2.8	11.1	0.25
30	30	4.0	12.1	0.33
40	40	4.1	9.9	0.41
50	50	4.5	7.2	0.63
60	60	5.0	7.1	0.70
70	70	5.1	6.6	0.77
80	80	5.8	5.1	1.14
90	90	4.3	8.0	0.54
100	100	3.3	7.2	0.46

Cuadro 10. Cálculo de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Sorgo; Variedad: N K - 212; Fecha de siembra: Abril 30 de 1966; Ciclo vegetativo: 110 días.

% de desarrollo	Días	Evapotranspiración	Evaporación	K
10	11	2.0	11.5	0.17
20	22	2.1	11.4	0.18
30	33	3.6	13.0	0.28
40	44	4.9	13.5	0.36
50	55	5.8	14.5	0.40
60	66	7.7	12.4	0.62
70	77	7.3	13.4	0.55
80	88	4.6	9.4	0.49
90	99	3.4	7.8	0.44
100	110	2.9	6.9	0.42

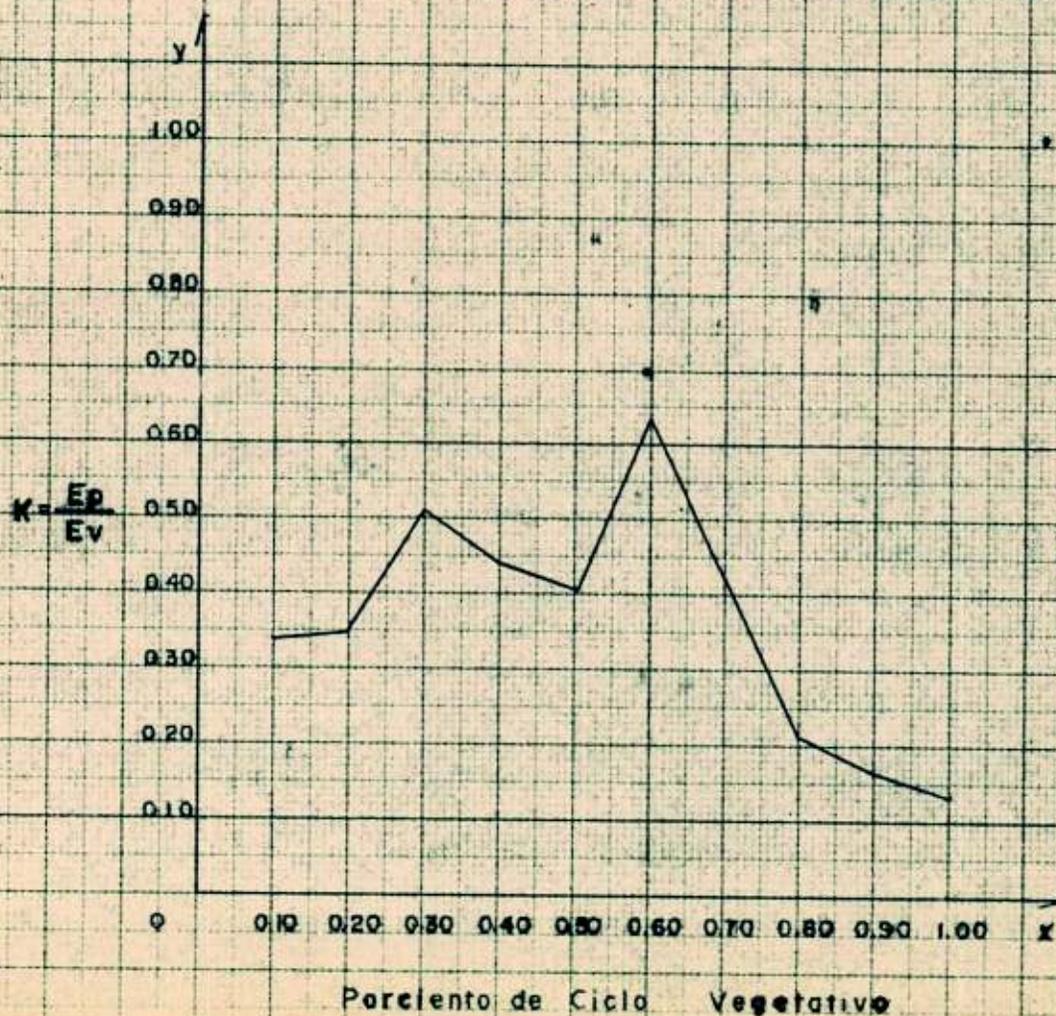
Cuadro 11. Cálculo de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del cultivo: Sorgo; Variedad: N K - 210; Fecha de siembra: Marzo 20 de 1967; Ciclo vegetativo: 130 días.

<u>% de desarrollo</u>	<u>Días</u>	<u>Evapotranspiración</u>	<u>Evaporación</u>	<u>K</u>
10	13	1.4	10.4	0.14
20	26	1.8	11.4	0.16
30	39	3.0	13.6	0.22
40	52	4.1	15.9	0.26
50	65	5.5	14.6	0.38
60	78	7.2	14.2	0.51
70	91	7.8	14.7	0.53
80	104	5.6	11.7	0.48
90	117	4.3	11.6	0.37
100	130	3.3	13.2	0.25

GRAFICA No. I

Valores de K para diferentes porcentajes de ciclo vegetativo del

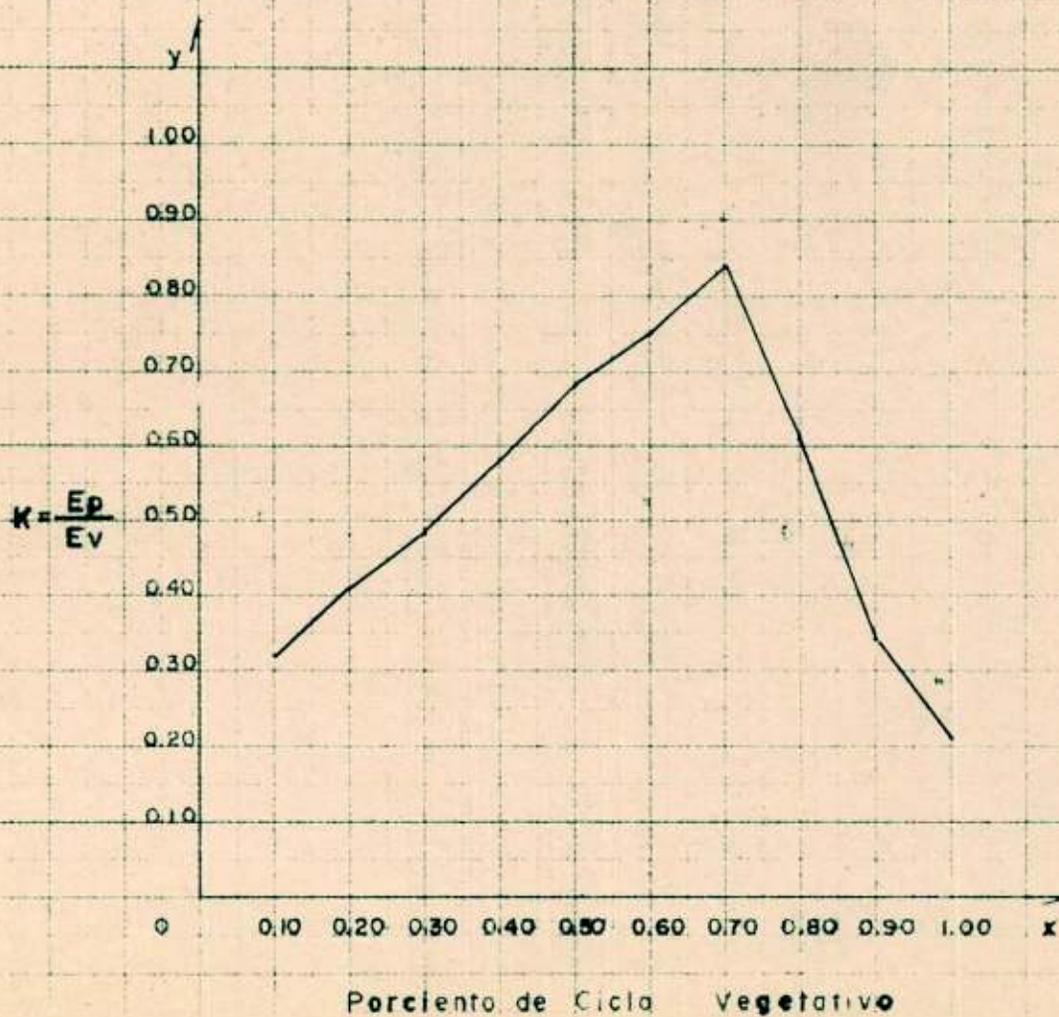
Cultivo:	Cártamo
Variiedad:	Gila
Fecha de Siembra:	Enero 4 de 1966
Ciclo Vegetativo:	140 Días.



GRAFICA No.2

Valores de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del:

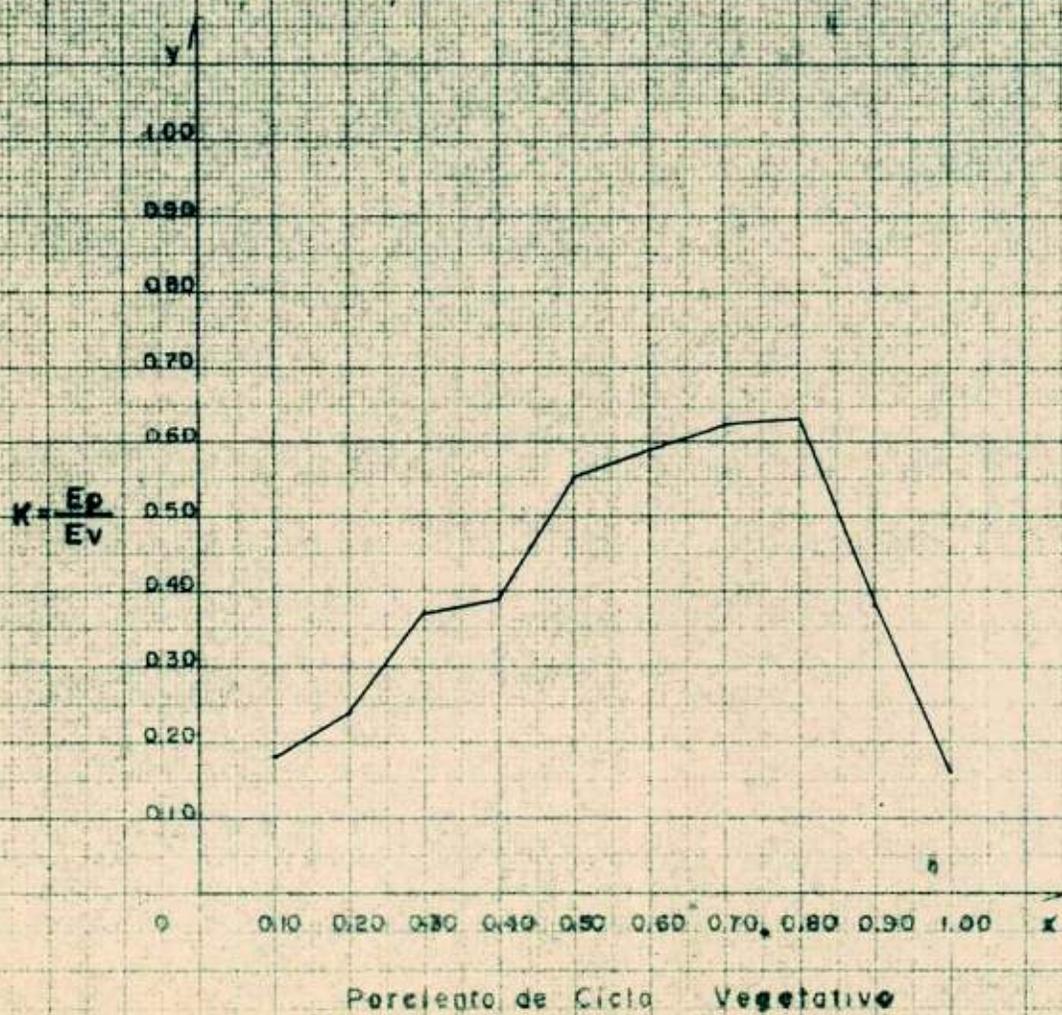
Cultivo:	Cártamo
Variedad:	Gila
Fecha de Siembra:	Enero 14 de 1966
Ciclo Vegetativo:	140 Dias



GRAFICA No. 3

Valores de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del .

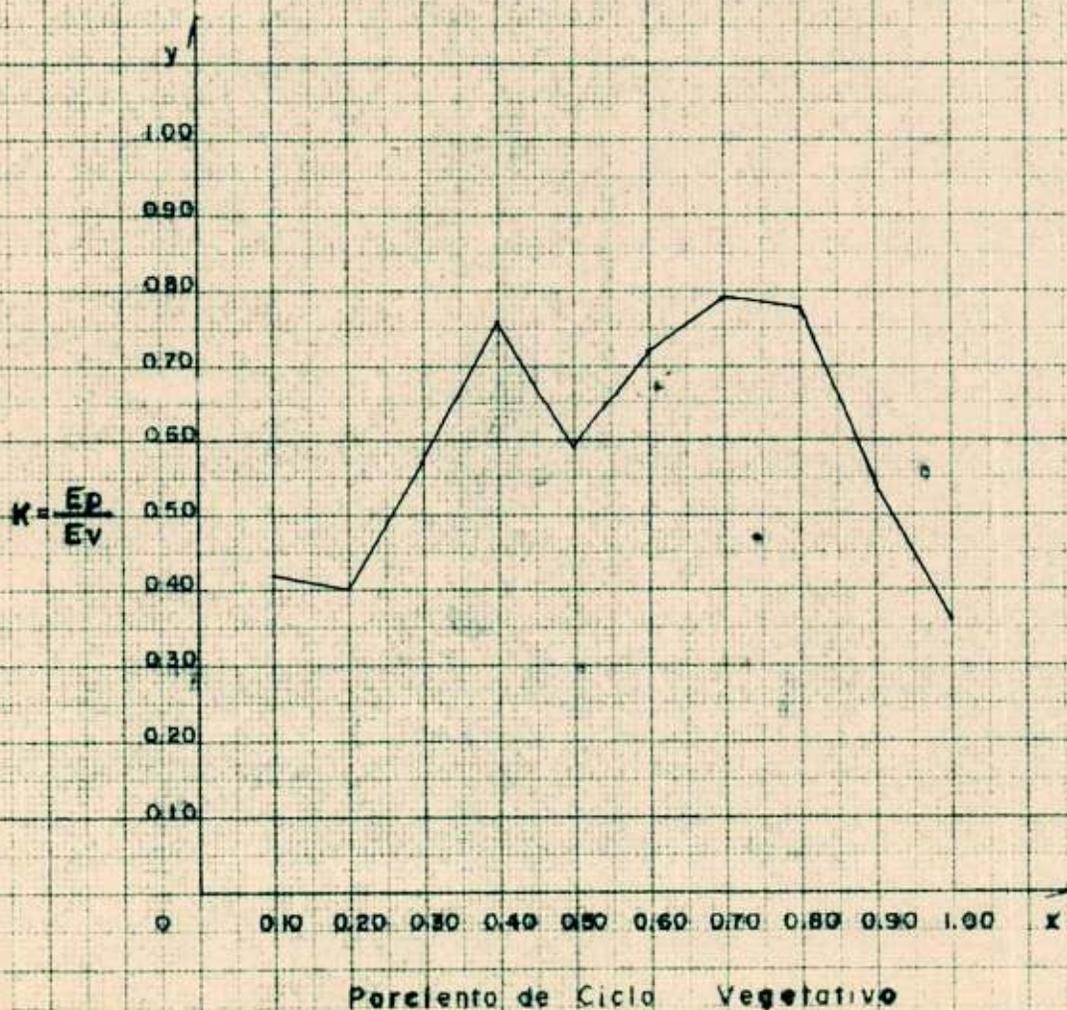
Cultivo:	Linaza
Variiedad:	Punjab
Fecha de Siembra:	Dic. 23 de 1966
Ciclo Vegetativo:	140 Dias



GRAFICA No. 4

Valores de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del .

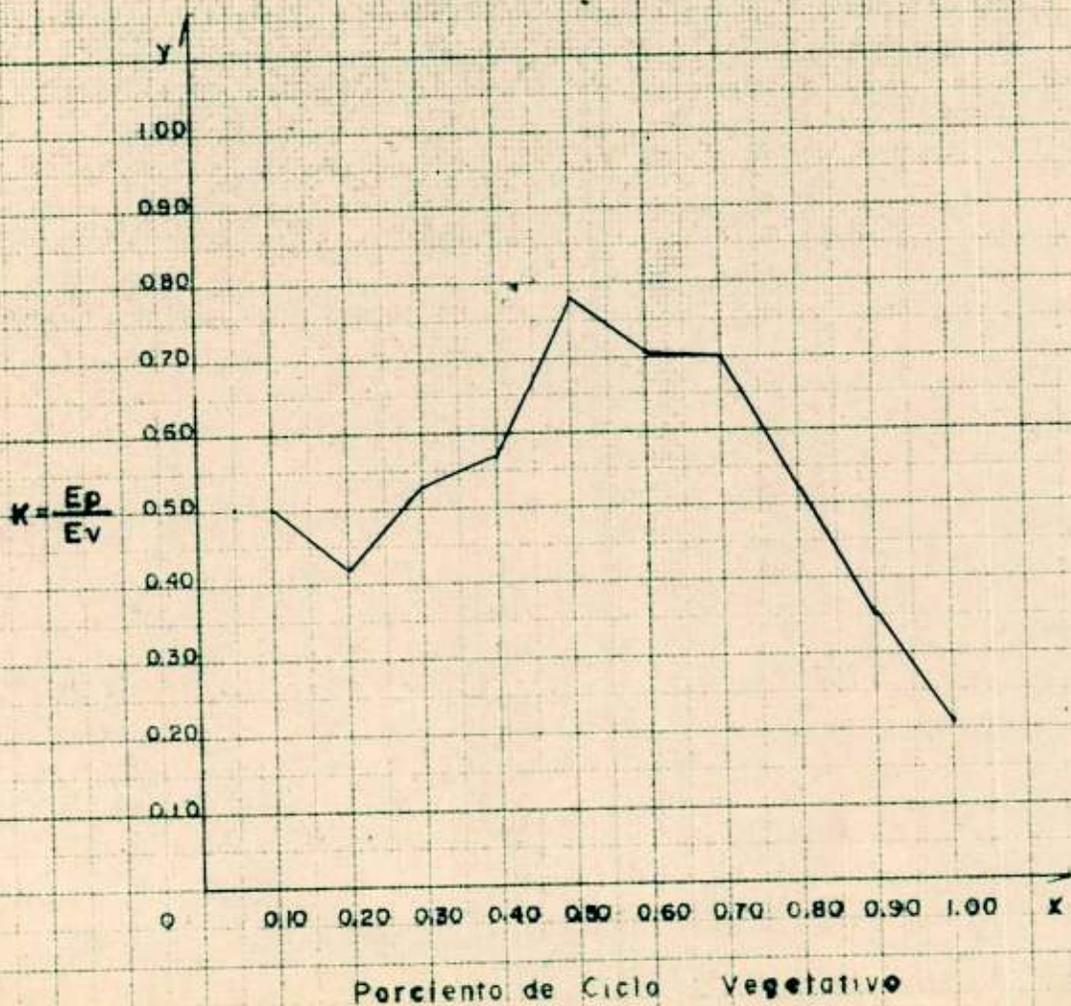
Cultivo:	Linaza
Variedad:	Punjab
Fecha de Siembra:	Enero 9 de 1967
Ciclo Vegetativo:	110 Dias



GRAFICA No. 5

Valores de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del

Cultivo:	Trigo
Variedad:	Pénjamo
Fecha de Siembra:	Dic. 25 de 1966
Ciclo Vegetativo:	130 Dias

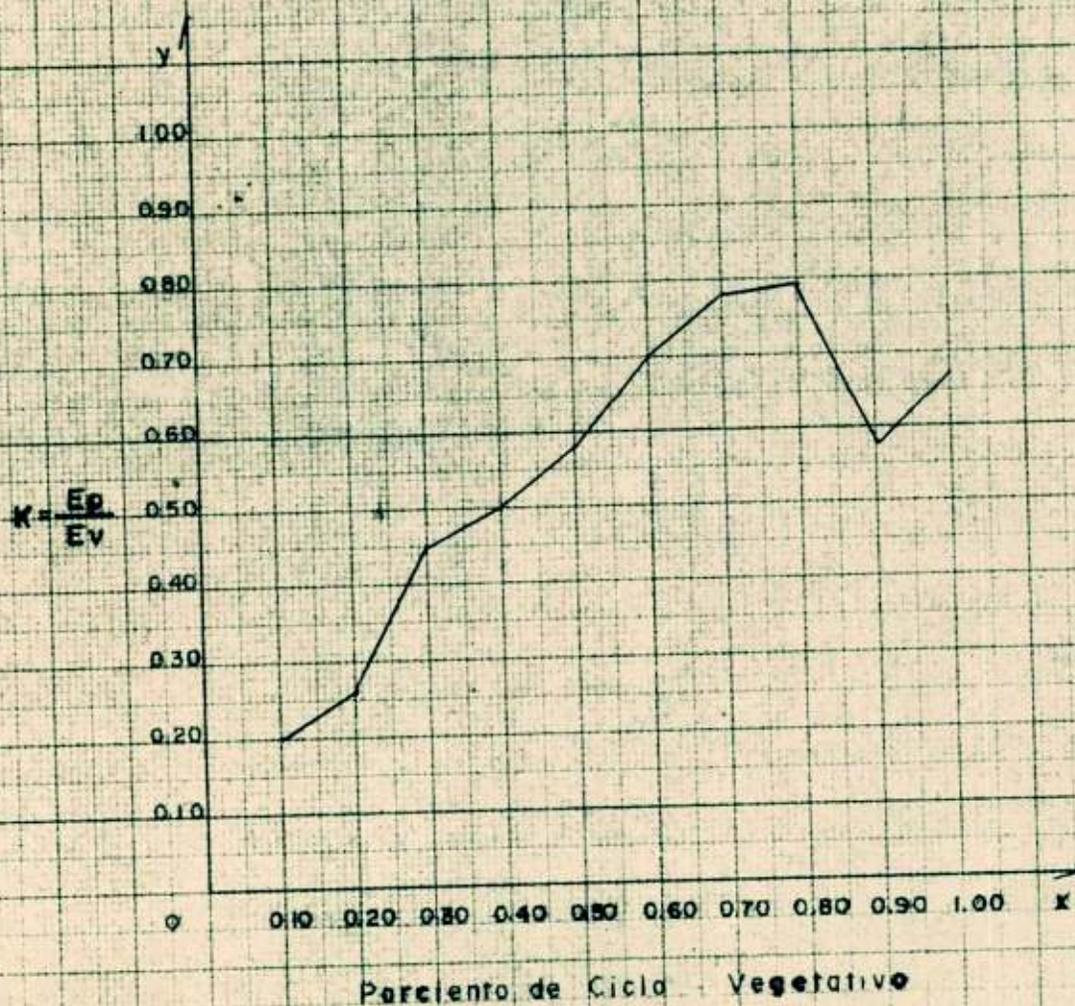


GRAFICA No. 6

Valores de K para diferentes porcentos
de ciclo vegetativo del

Cultivo:
Variedad:
Fecha de Siembra:
Ciclo Vegetativo:

Algodon
Delta Pine Smooth Leaf
Febrero 7 de 1967
180 Dias



GRAFICA No. 7

Valores de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del

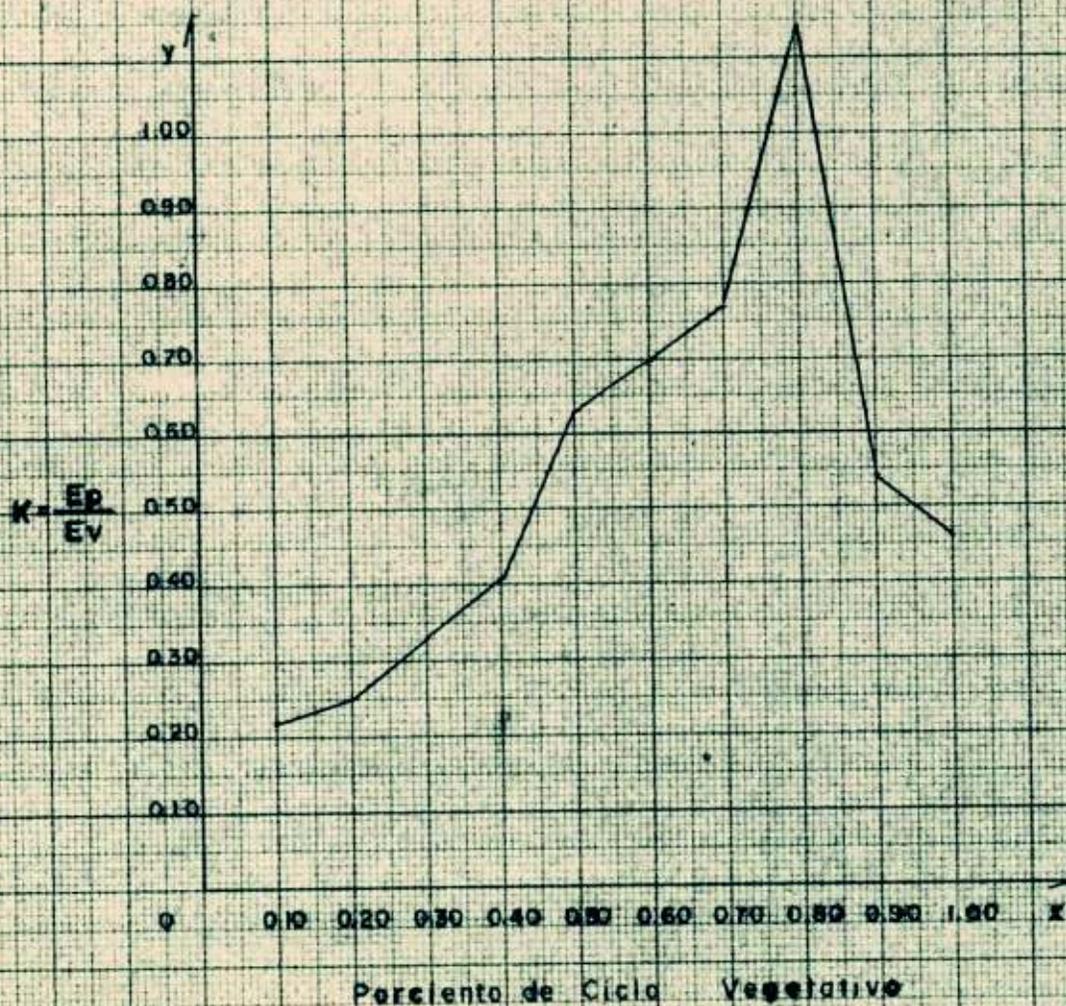
Cultivo:	Sorgo
Variedad:	NK - 225
Fecha de Siembra:	Junio 11 de 1966
Ciclo Vegetativo:	100 Días



GRAFICA No. 8

Valores de K para diferentes porcentos de ciclo vegetativo del

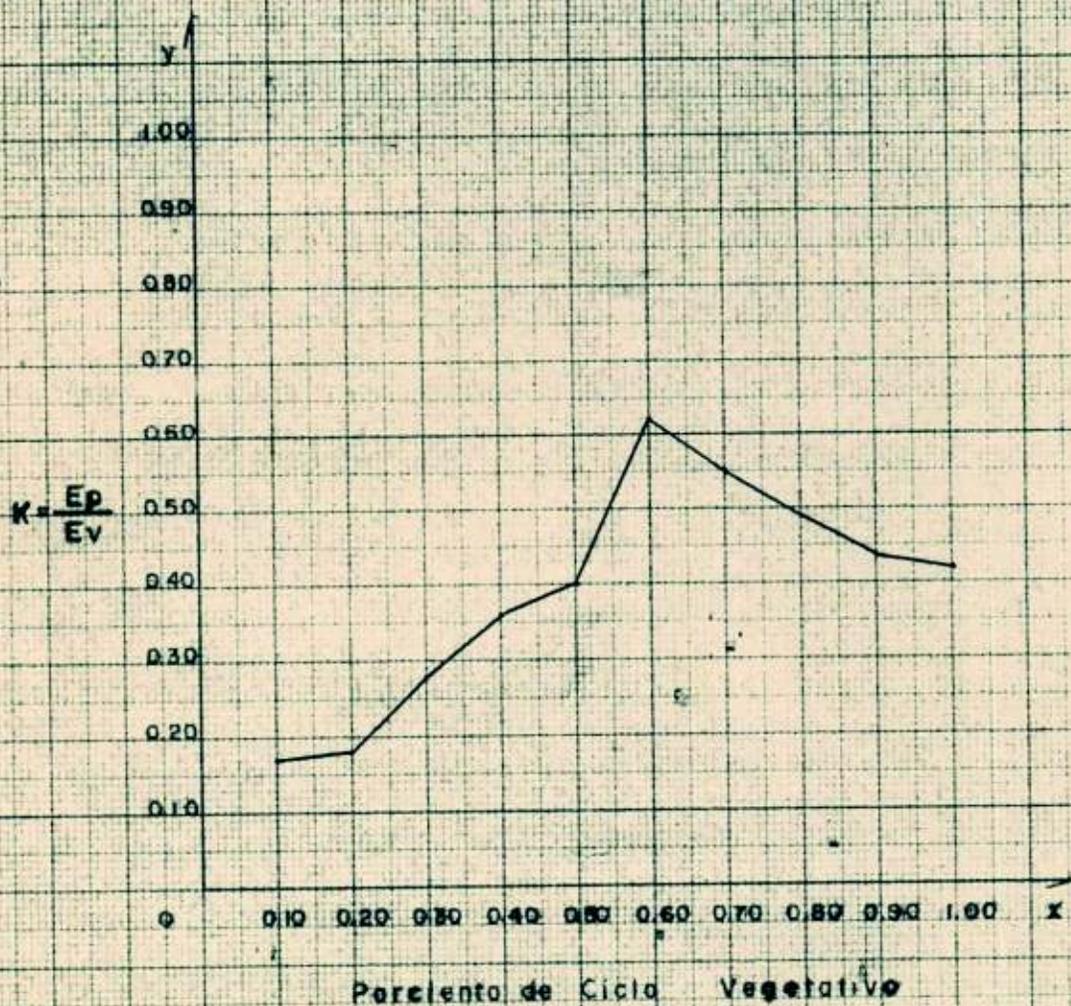
Cultivo:	Sorgo
Variiedad:	NK-212
Fecha de Siembra:	Junio 12 de 1966
Ciclo Vegetativo:	100 Dias



GRAFICA No. 9.

Valores de K para diferentes porcentajes de ciclo vegetativo del

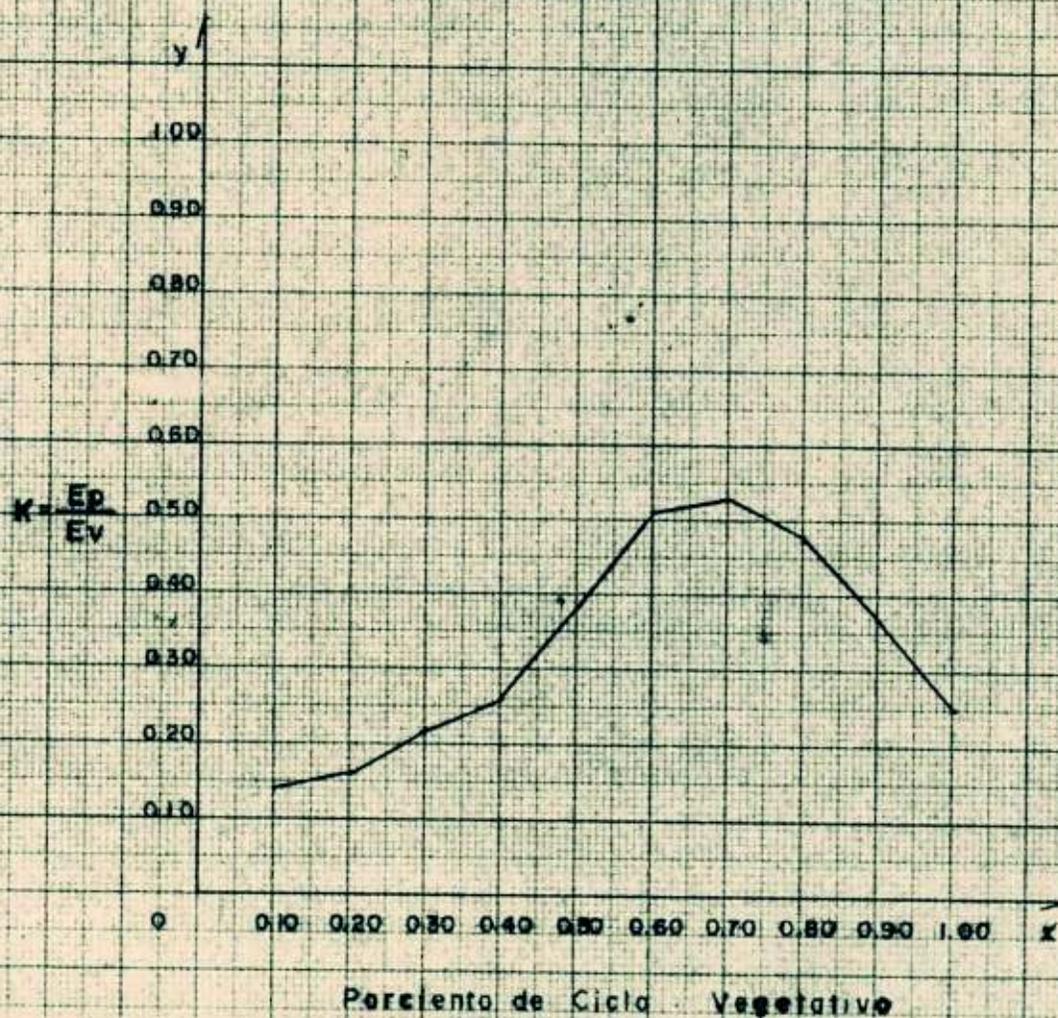
Cultivo:	Sorgo
Variiedad:	NK - 212
Fecha de Siembra:	Abril 30 de 1966
Ciclo Vegetativo:	110 Dias



GRAFICA No. 10^a

Valores de K para diferentes porcentajes de ciclo vegetativo del

Cultivo:	Sorgo
Variiedad:	NK-210
Fecha de Siembra:	Marzo 20 de 1967
Ciclo Vegetativo:	130 Dias



Cálculo de la curva que compensa los valores: Una vez obtenidas las gráficas Nos. 1 al 10, se trazó gráficamente la curva que compensa los valores, afinando ésta por medio del cálculo de la ecuación correspondiente, fijando para ello valores obligados de la curva, resultando ecuaciones de tercer y cuarto grado, según puede observarse en el cuadro No. 12.

Cuadro 12. Ecuaciones encontradas para cada cultivo (los cultivos aparecen en el mismo orden del cuadro 1).

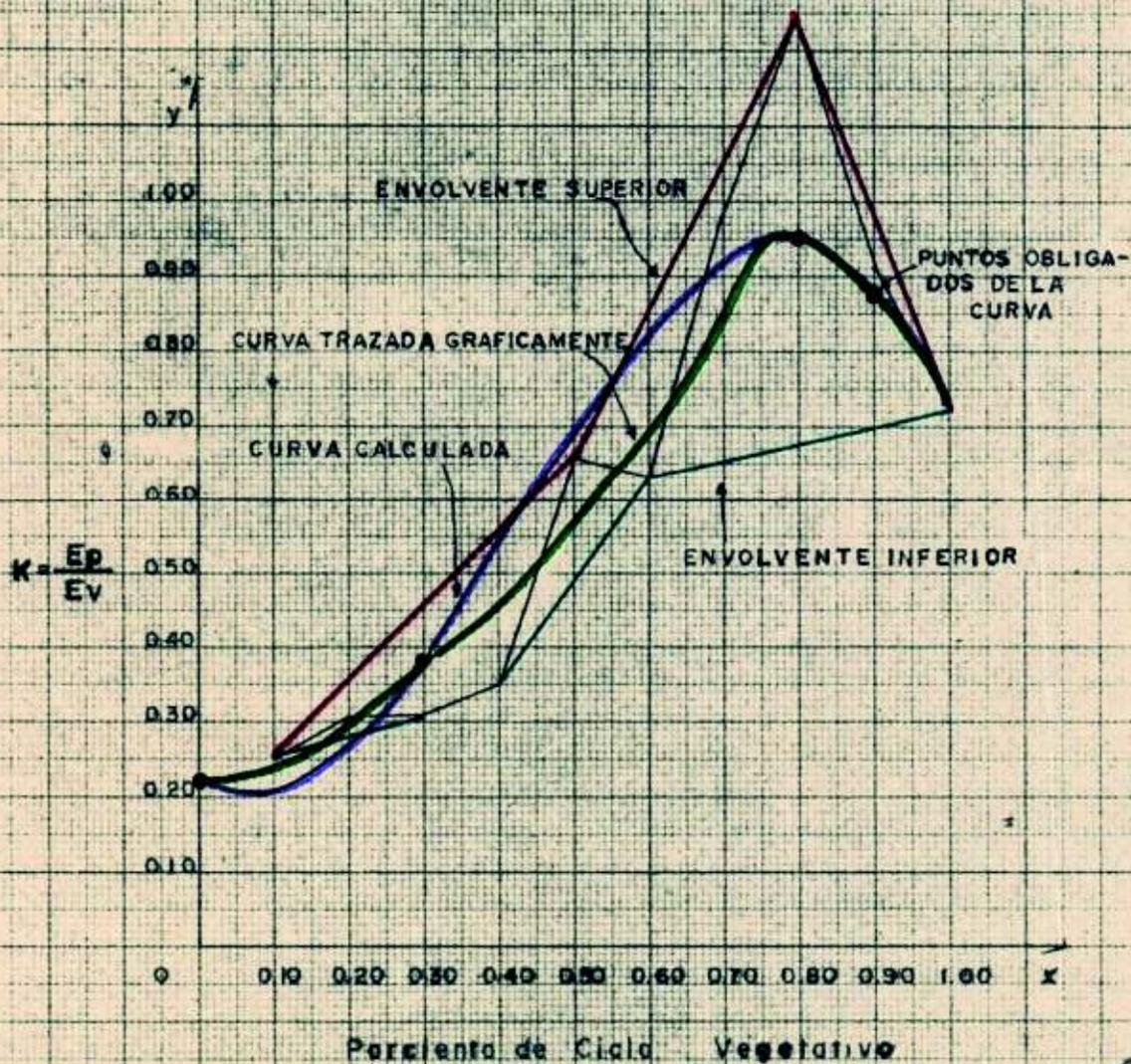
Cultivo No.	E c u a c i ó n
1	$y = + 0.31X^4 - 2.57X^3 + 1.93X^2 + 0.33$
2	$y = + 0.07X^4 - 5.69X^3 + 6.25X^2 - 0.95X + 0.34$
3	$y = - 4.51X^3 + 4.98X^2 - 0.57X + 0.17$
4	$y = - 1.41X^3 + 0.93X^2 + 0.48X + 0.39$
5	$y = - 4.21X^3 + 4.79X^2 - 0.99X + 0.49$
6	$y = - 2.60X^3 + 2.84X^2 + 0.23X + 0.12$
7	$y = - 4.25X^3 + 5.43X^2 - 0.71X + 0.22$
8	$y = - 5.47X^3 + 6.99X^2 - 1.24X + 0.20$
9	$y = + 0.22X^4 - 3.75X^3 + 4.34X^2 - 0.71X + 0.19$
10	$y = + 0.05X^4 - 4.74X^3 + 5.97X^2 - 1.30X + 0.17$

A continuación se describe un ejemplo de como se construyó la curva, el cual corresponde al cultivo: Sorgo; variedad: NK - 225; fecha de siembra: Junio 11 de 1966; ciclo vegetativo: 100 días. Partiendo de los valores de K para cada 10 % de desarrollo, se trazaron una

GRAFICA No. II

Ejemplo de calculo de valores de K para diferentes porcentos de desarrollo del

Cultivo:	Sorgo
Variiedad:	NK-225
Fecha de Siembra:	Junio II de 1966
Ciclo Vegetativo:	100 Dias



envolvente superior y una inferior (gráfica No. 11) encontrando en el centro de ambas el valor de K ajustado para cada 10 % de ciclo vegetativo, enseguida se unieron los puntos obligados de pase de curva siendo éstos: Para $X = 0.00$; $Y = 0.22$, para $X = 0.30$; $Y = 0.38$, para $X = 0.80$; $Y = 0.95$ y para $X = 0.90$; $Y = 0.88$; con los puntos anteriores y con base en la forma general de las ecuaciones de tercer grado:

$$y = A X^3 + B X^2 + C X + D \text{ - - - - - } 12$$

se formaron las siguientes ecuaciones:

$$0.22 = D \text{ - - - - - } 13$$

$$0.38 = 0.027A + 0.09B + 0.30C + D \text{ - - - } 14$$

$$0.95 = 0.512A + 0.64B + 0.80C + D \text{ - - - } 15$$

$$0.88 = 0.729A + 0.81B + 0.90C + D \text{ - - - } 16$$

Substituyendo la ecuación 13 en 14, 15 y 16, se tiene:

$$0.16 = 0.027A + 0.09B + 0.30C \text{ - - - - } 17$$

$$0.73 = 0.512A + 0.64B + 0.80C \text{ - - - - } 18$$

$$0.66 = 0.729A + 0.81B + 0.90C \text{ - - - - } 19$$

Resolviendo este sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas se encontraron los valores de los constantes:

$$A = -4.25 \text{ - - - - - } 20$$

$$B = +5.43 \text{ - - - - - } 21$$

$$C = -0.71 \text{ - - - - - } 22$$

Por lo que la ecuación general quedó:

$$Y = -4.25 X^3 + 5.43 X^2 - 0.71 X + 0.22 \text{ - } 23$$

Las ecuaciones obtenidas se tabularon en la forma

que aparece en el cuadro 13, con el fin de obtener valores de K más afinados.

Cuadro 13. Tabulación para resolver la ecuación

$$Y = - 4.25 X^3 + 5.43 X^2 - 0.71 X + 0.22$$

X	- 4.25 X ³	+ 5.43 X ²	- 0.71 X	+ 0.22	Y
0.10	0.00	0.05	0.07	0.22	0.20
0.20	0.03	0.22	0.14	0.22	0.27
0.30	0.11	0.49	0.21	0.22	0.39
0.40	0.27	0.87	0.28	0.22	0.54
0.50	0.53	1.36	0.36	0.22	0.69
0.60	0.92	1.95	0.43	0.22	0.82
0.70	1.46	2.66	0.50	0.22	0.92
0.80	2.18	3.48	0.57	0.22	0.95
0.90	3.10	4.40	0.64	0.22	0.88
1.00	4.25	5.43	0.71	0.22	0.69

RESULTADOS

Al obtener las ecuaciones que aparecen en el cuadro No. 12, por el método descrito, se tabularon en la misma forma que se muestra en el cuadro No. 13, construyendo con los valores encontrados, las gráficas Nos. del 12 al 21, en las cuales aparecen los valores de K afinados para cada 10% de desarrollo, anotados a manera de tabla en el cuadro No. 14.

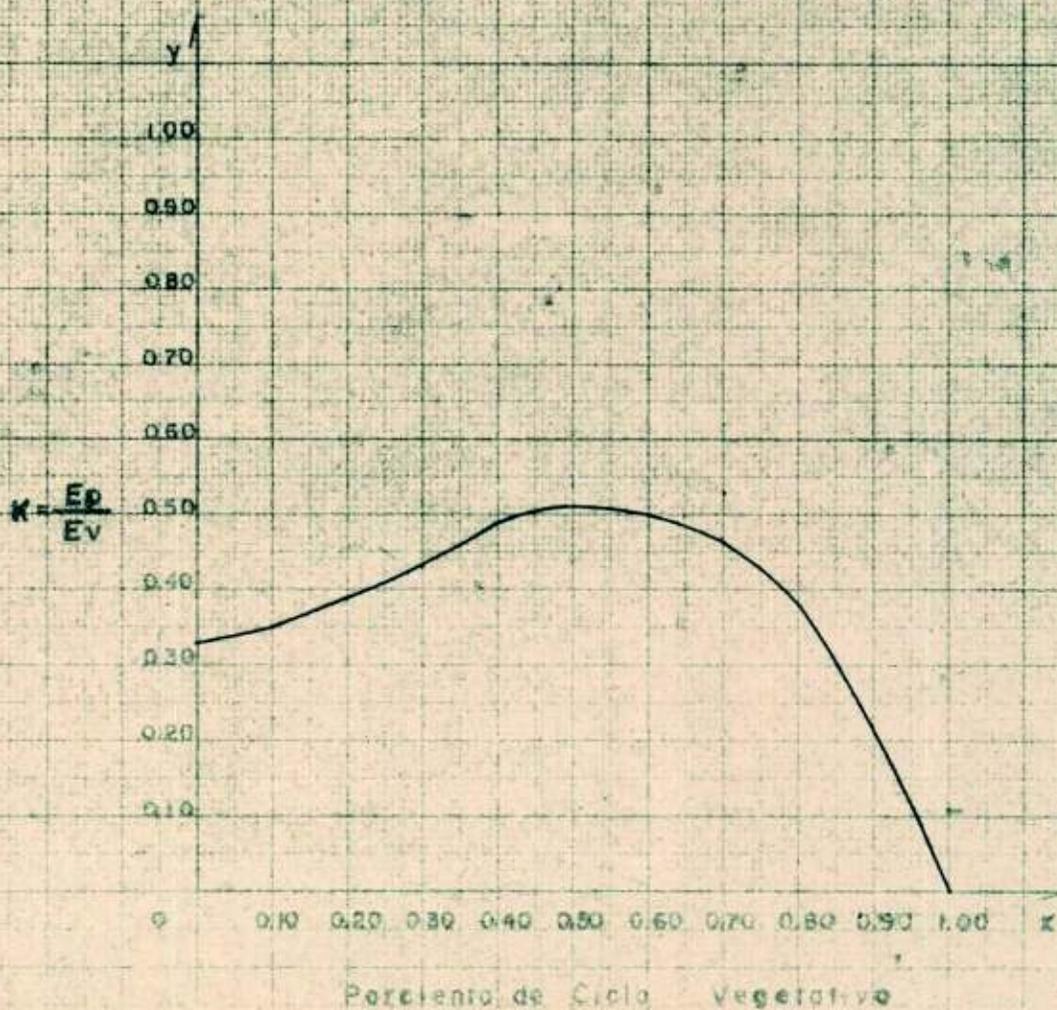
Cuadro 14. Valores de K afinados cada 10 % de desarrollo para los cultivos en estudio (los cultivos aparecen en el mismo orden del cuadro No. 1).

No. Cultivo	Valores de K afinados para cada 10% de desarrollo del ciclo vegetativo.									
	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
1	0.35	0.39	0.43	0.49	0.51	0.50	0.47	0.38	0.22	0.00
2	0.29	0.35	0.46	0.60	0.71	0.80	0.80	0.70	0.44	0.02
3	0.16	0.22	0.33	0.45	0.57	0.65	0.66	0.59	0.40	0.07
4	0.45	0.52	0.57	0.64	0.68	0.71	0.71	0.65	0.54	0.39
5	0.44	0.45	0.51	0.59	0.66	0.71	0.71	0.61	0.41	0.08
6	0.17	0.26	0.38	0.49	0.62	0.72	0.78	0.79	0.73	0.59
7	0.20	0.27	0.39	0.54	0.69	0.82	0.92	0.95	0.88	0.69
8	0.14	0.19	0.31	0.47	0.65	0.80	0.88	0.88	0.75	0.48
9	0.16	0.19	0.27	0.37	0.46	0.54	0.58	0.57	0.48	0.29
10	0.10	0.11	0.19	0.31	0.42	0.53	0.54	0.54	0.41	0.15

GRAFICA No.12

Valores de K afinados para diferentes porcentajes de ciclo vegetativo del

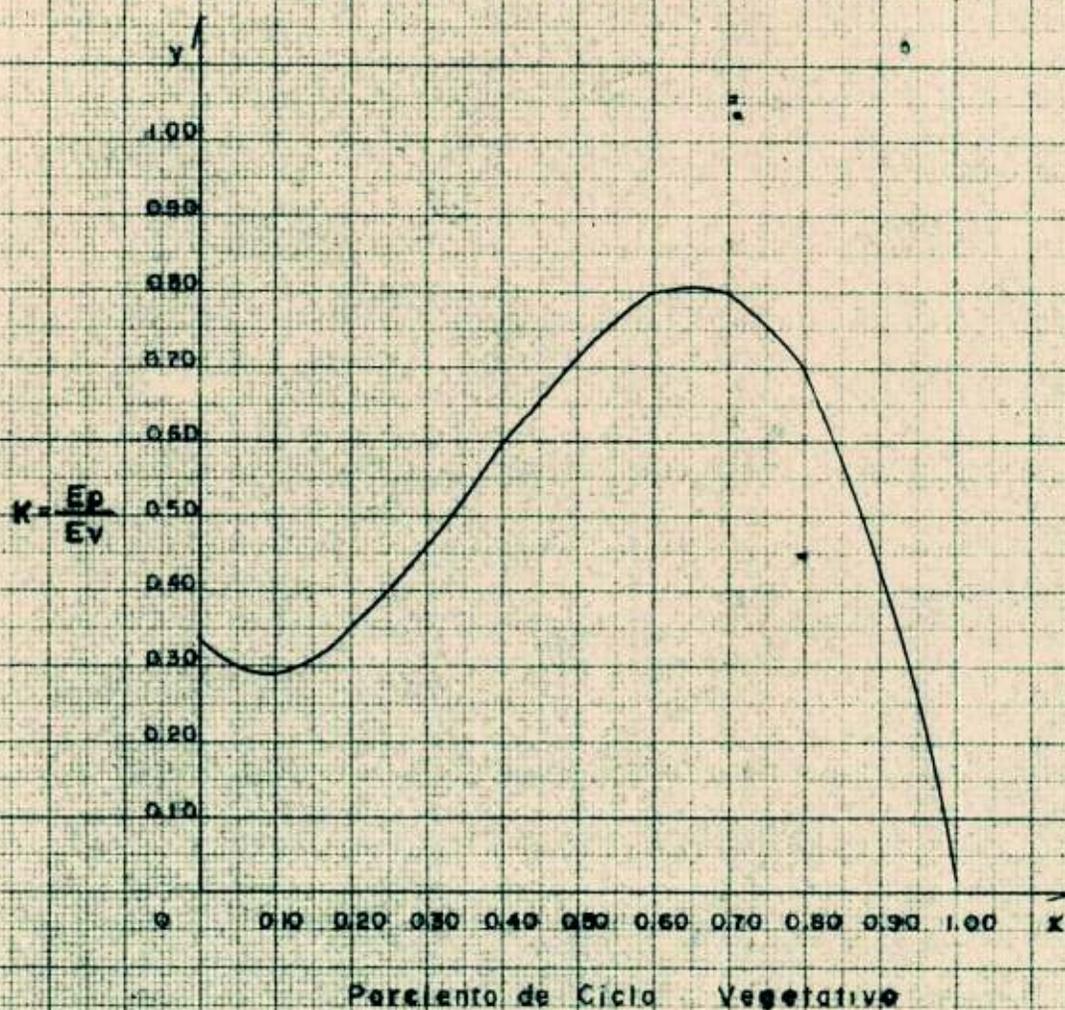
Cultivo:	Cártamo
Variedad:	Gila
Fecha de Siembra:	Enero 4 de 1966
Ciclo Vegetativo:	140 Días



GRAFICA No. 13

Valores de K afinados para diferentes porcentajes de ciclo vegetativo del

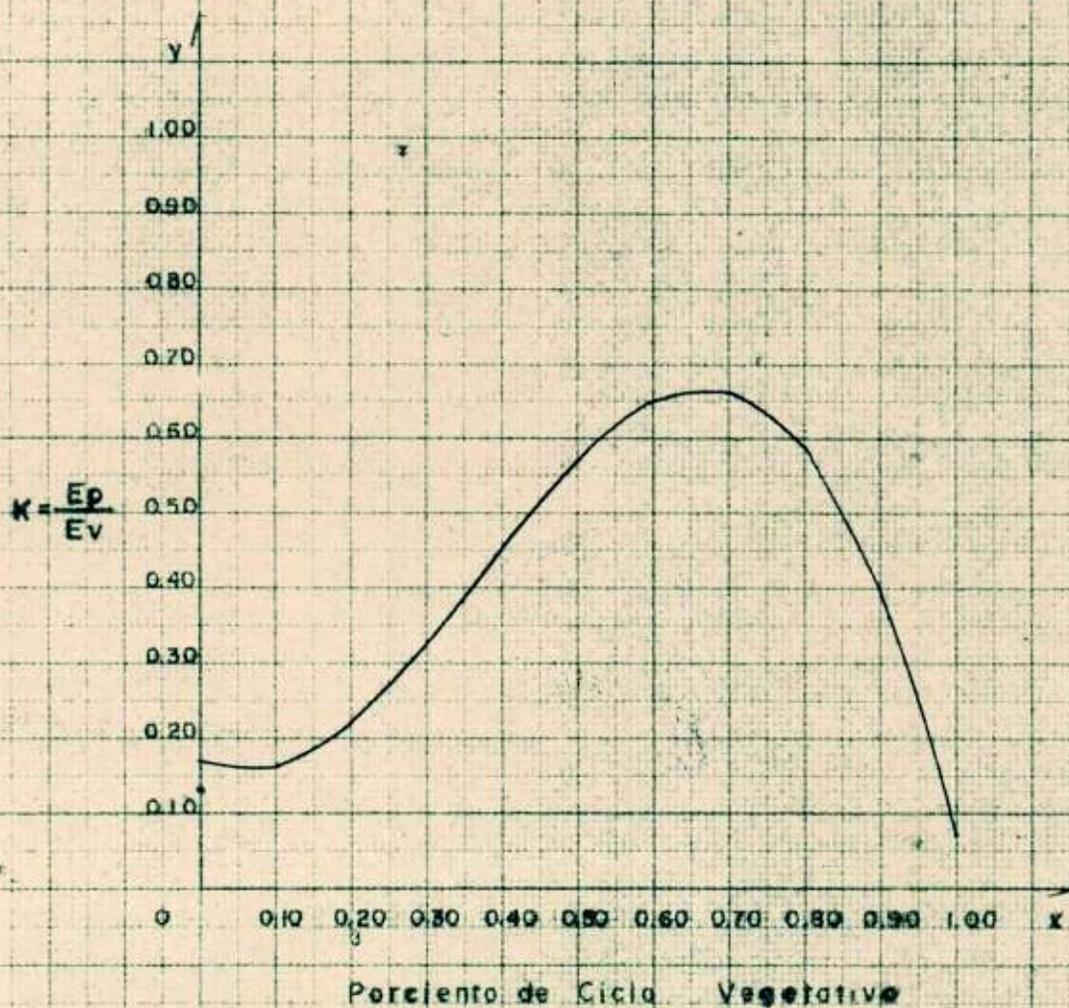
Cultivo:	Cártamo
Variiedad:	Gila
Fecha de Siembra:	Enero 14 de 1966
Ciclo Vegetativo:	140 Dias



GRAFICA No. 14

Valores de K afinados para diferentes porcentajes de ciclo vegetativo del

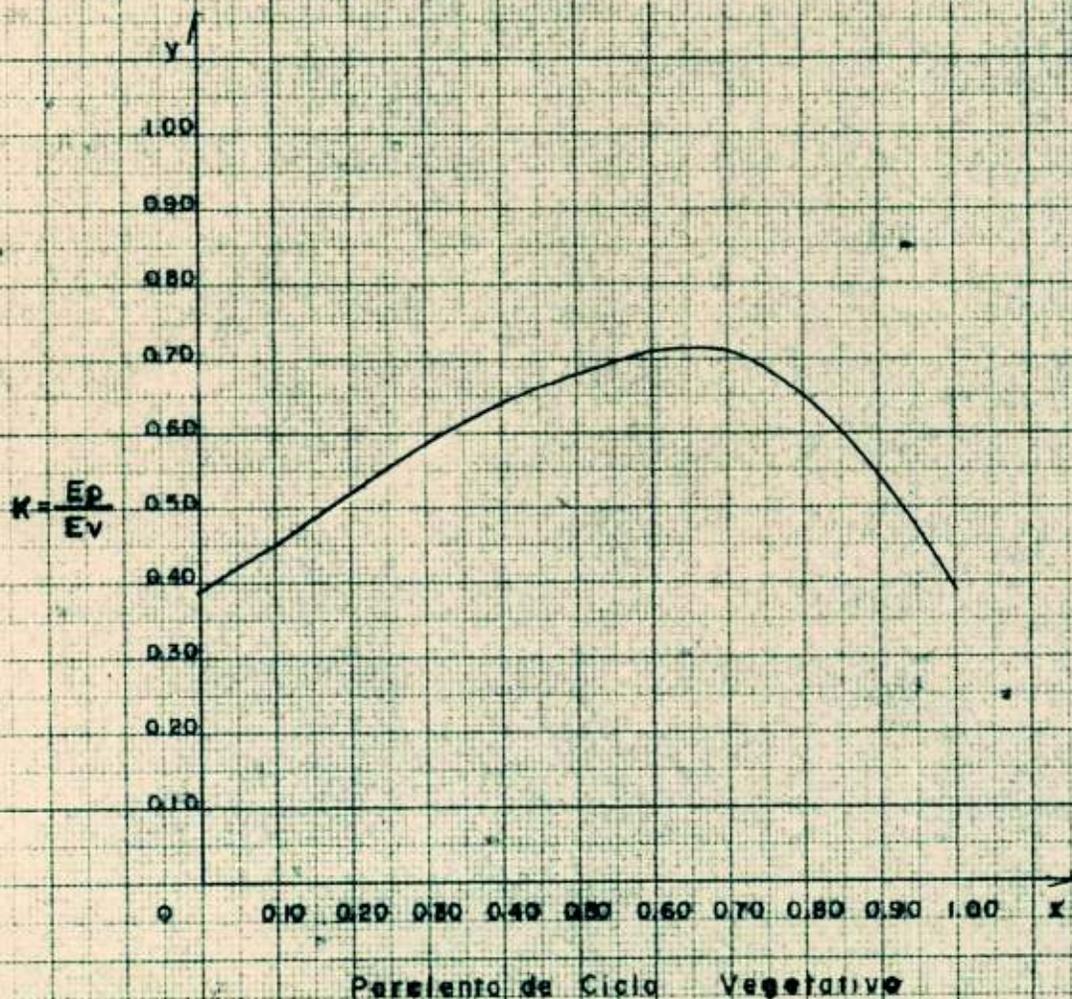
Cultivo:	Linaza
Variiedad:	Punjab
Fecha de Siembra:	Dic. 23 de 1966
Ciclo Vegetativo:	140 Días



GRAFICA No. 15

Valores de K afinados para diferentes por -
cientos de ciclo vegetativo del

Cultivo:	Linaza
Variiedad:	Punjab
Fecha de Siembra:	Enero 9 de 1967
Ciclo Vegetativo:	110 Dias

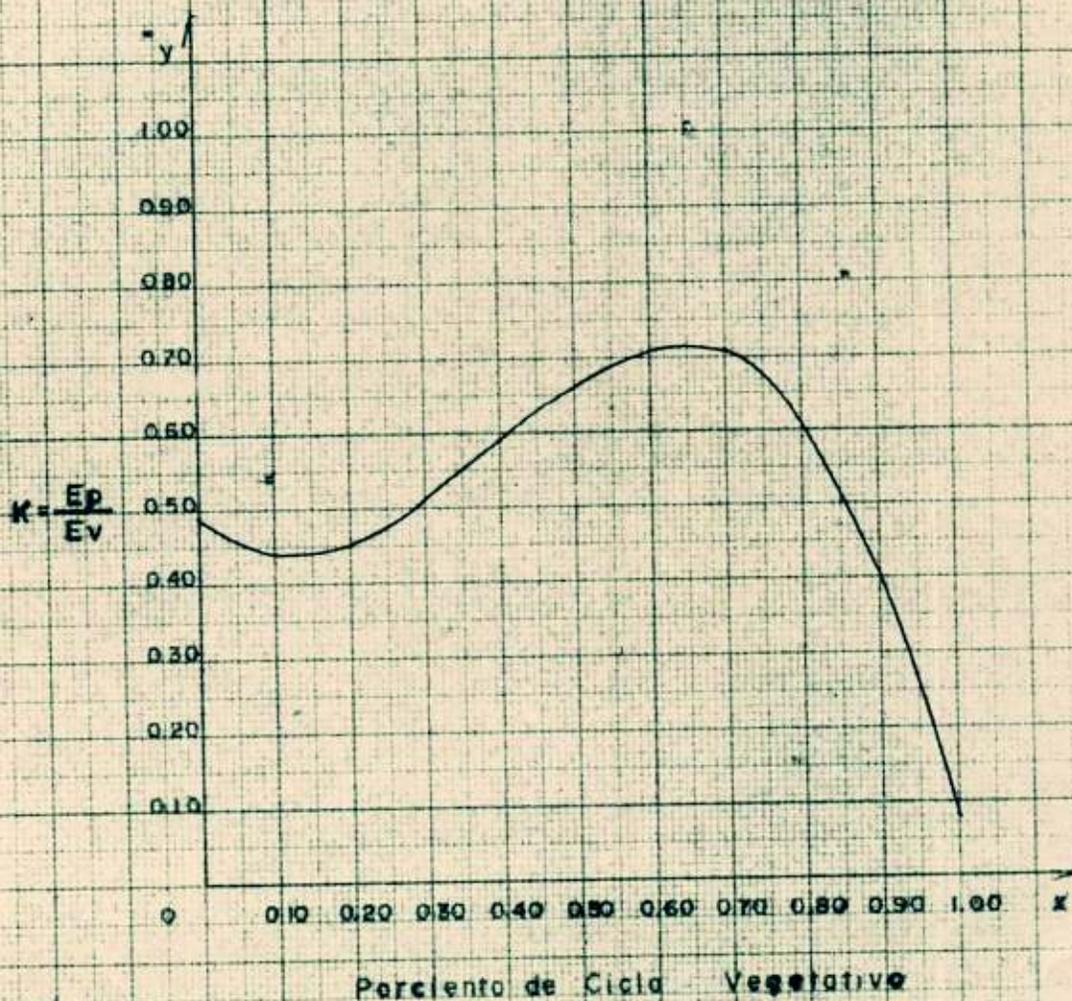


GRAFICA No. 16

Valores de K afinados para diferentes porcentajes de ciclo vegetativo del

Cultivo:
Variedad:
Fecha de Siembra:
Ciclo Vegetativo:

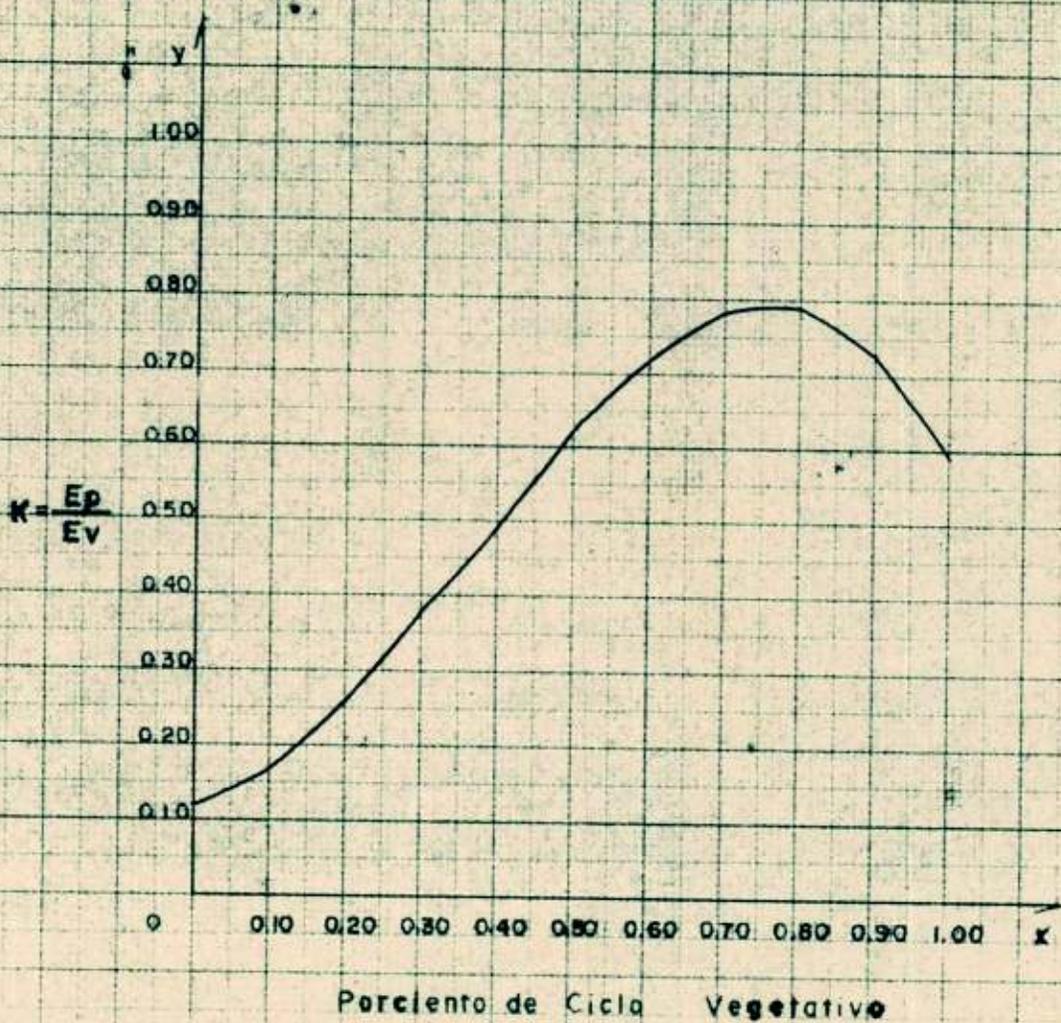
Trigo
Péñjamo
Dic. 25 de 1966
130 Dias



GRAFICA No. 17

Valores de K afinados para diferentes porcentajes de ciclo vegetativo del

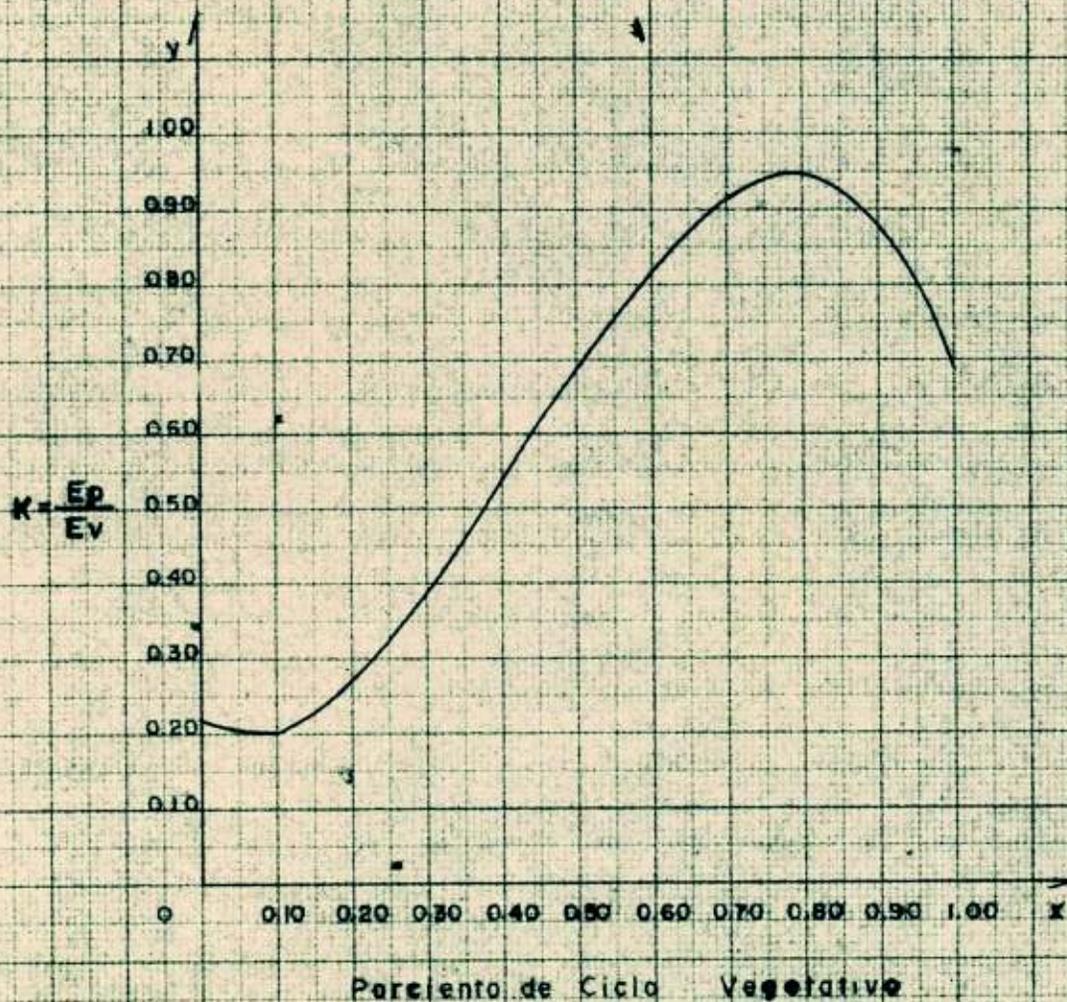
Cultivo:	Algodon
Variedad:	Delta Pine Smooth Leaf
Fecha de Siembra:	Febrero 7 de 1967
Ciclo Vegetativo:	180 Dias



GRAFICA No. 18

Valores de K afinados para diferentes porcentajes de ciclo vegetativo del

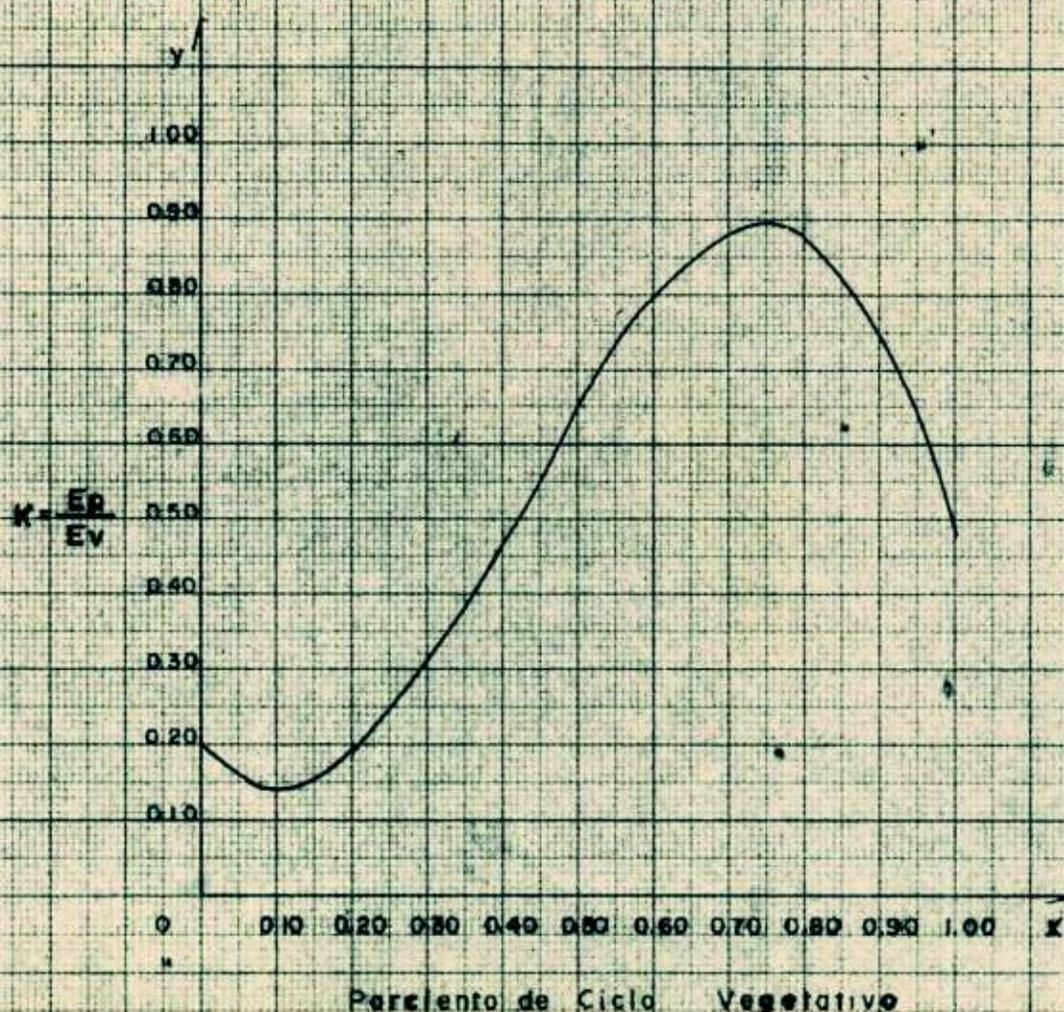
Cultivo:	Sorgo
Variedad:	NK-225
Fecha de Siembra:	Junio 11 de 1966
Ciclo Vegetativo:	100 Dias



GRAFICA No. 19

Valores de K afinados para diferentes porcentajes de ciclo vegetativo del

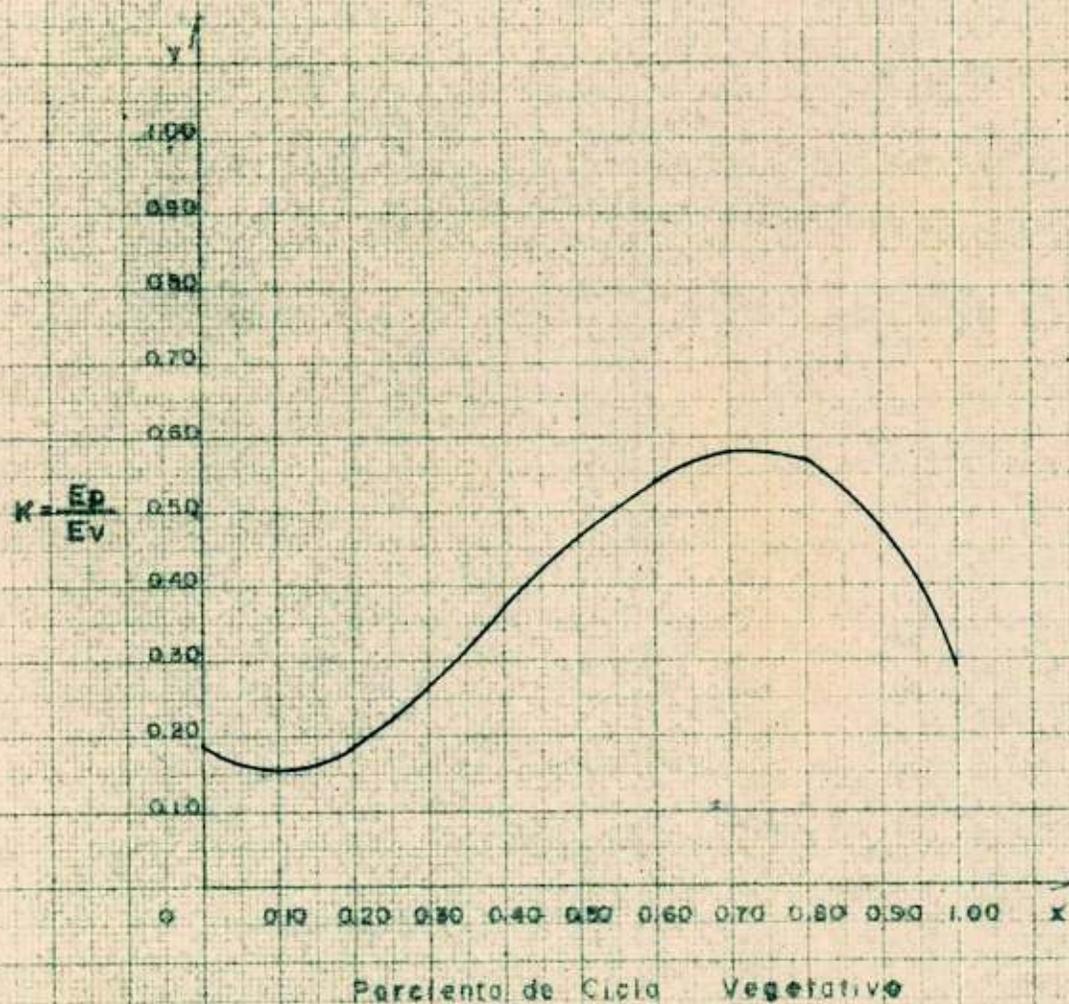
Cultivo:	Sorgo
Variedad:	NK-212
Fecha de Siembra:	Junio 12 de 1966
Ciclo Vegetativo:	100 Días



GRAFICA No. 20

Valores de K afinados para diferentes porcentajes de ciclo vegetativo del

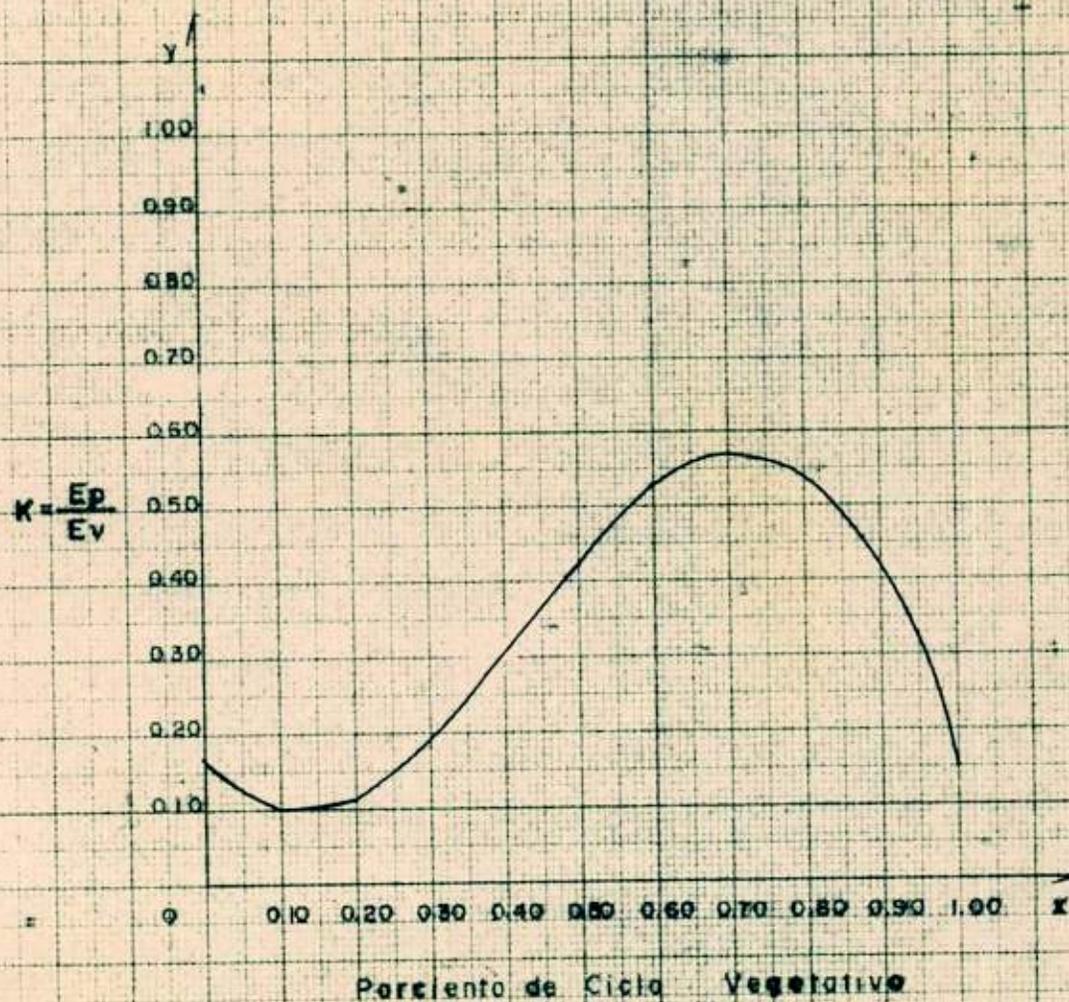
Cultivo:	Sorgo
Variiedad:	NK-212
Fecha de Siembra:	Abril 30 de 1966
Ciclo Vegetativo:	110 Dias



GRAFICA No. 21

Valores de K afinados para diferentes porcentajes de ciclo vegetativo del

Cultivo:	Sorgo
Variiedad:	NK- 210
Fecha de Siembra:	Marzo 20 de 1967
Ciclo Vegetativo:	130 Dias



DISCUSION

Como se observa en el cuadro No. 14, se calculó un valor de K para cada 10% de desarrollo. Partiendo de él se puede saber cuál es el valor de la evapotranspiración, solo con datos de evaporación medida en un evaporómetro en un lugar cercano al terreno donde se encuentra el cultivo, si se aplica la fórmula:

$$E_p = K E_v. \text{ - - - - - } 7$$

Por ejemplo se puede estimar cuál es la lámina de agua consumida por un cultivo al cual se le ha calculado el coeficiente K, con solo medir la evaporación en un tanque evaporómetro. De esa estimación pueden calcularse intervalos de riego parcelario (6), teniendo en cuenta que la fórmula para estimar el intervalo de riego puede expresarse como sigue:

$$I = \frac{L}{UC} \text{ - - - - - } 24$$

Donde: I = Intervalo de riego en días

L = Lámina de riego aplicada en cm.

UC = Consumo diario de agua por la planta

en cm.

Y que la eficiencia parcelaria viene dada por la fórmula:

$$E_f = \frac{E_p}{L} 100 \text{ - - - - - } 25$$

Donde: E_f = Eficiencia parcelaria en por ciento.

E_p = Evapotranspiración en cm.

L = Lámina aplicada en cm.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

El fin del presente trabajo es relacionar la evapotranspiración determinada por el método gravimétrico con la evaporación medida en un tanque evaporómetro, para en un futuro poder estimar el consumo de agua a partir de datos de evaporación.

Relacionando esos dos factores, se estudiaron diez cultivos en la región del valle del Mayo, Son., en distintos tipos de suelos.

Se construyó un eje de coordenadas, dibujando una gráfica para cada cultivo, la cual tiene como valores de X porcentajes de desarrollo del cultivo y como valores correspondientes de Y el cociente resultante de dividir la evapotranspiración sobre la evaporación en ese período, al cual se le llamó K. Se calculó y se trazó la curva que compensa los valores siguiendo la ley de una ecuación, que resultó de tercer grado en algunos casos y de cuarto en otros. De las curvas calculadas se sacaron valores de K afinados.

Esos valores de K obtenidos, se pueden usar en el cálculo de la evapotranspiración del cultivo de que se trate, midiendo solo la evaporación, a un período de ciclo vegetativo dado.

Los valores de K serán más de fiar, mientras mas repeticiones se hagan en ciclos agrícolas diferentes.

Se recomienda seguir este tipo de estudios, tomando

en cuenta grupos de cultivos, tipos de suelos, regiones agrícolas y probablemente algunos otros factores meteorológicos.

BIBLIOGRAFIA

- 1) CARRILLO, L. A., LOMA, J. L. DE LA. Los Climas de los Distritos de Riego de México. Memorándum Técnico No. 226. S.R.H. Dirección General de Distritos de Riego. P. 10 México, octubre de 1965.
- 2) CASTILLA, P. O. Determinación Práctica del Uso Consumtivo. Ingeniería Hidráulica en México Vol. XIX No. 4. P. 41. México, 1965.
- 3) CHRISTIANSEN, J. E. Estimating Pan Evaporation and Evapotranspiration from Climatic Data. Trad. Topolanski, M. E. Memorándum Técnico No. 255 S.R.H. Dirección General de Distritos de Riego. P. 11-27. México, marzo de 1968.
- 4) HARGREAVES, G. H. Consumptive use Derived from Evaporation Pan Data. Trad. Loma J. L. de la. Memorándum Técnico No. 261. S.R.H. Dirección General de Distritos de Riego. P. 3-4. México, septiembre de 1968.
- 5) PALACIOS, V. E. Cuanto, Cuando y Como Regar. Ingeniería Hidráulica en México. Vol. XX No. 1. P. 109-112. México 1966.
- 6) ROJAS, V. C. Evaluación por Zonas de la Eficiencia de Riego en el Valle del Mayo, Son. E.N.A. Chapingo, México, 1967. 94 P. (Tesis Mimeo-grafiada).