

1999. Revista Chapingo serie horticultura 5: 201-207.

## **USO CONSUNTIVO DEL CULTIVO AGUACATE: METODOLOGÍA BLANEY Y CRIDDLE MODIFICADA RELACIONANDO FENOLOGIA Y PRECIPITACIÓN**

**J. Sánchez-Tienda**

Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco. Departamento de Producción Agrícola y Animal. Domicilio: Calzada del Hueso No. 1100, Colonia Villa Quietud. 04960 Delegación Coyoacan. Ciudad de México D. F., México. Fax: (015) 368 3424, E-mail: jlmoja@spin.com.mx ó jsf@hispavista.com

### **RESUMEN**

La determinación de la adecuada administración del agua en el cultivo del aguacate, en la región de Uruapan, Michoacan, México, constituye uno de los aspectos más importantes en la producción de este fruto, la aplicación de la lámina de riego esta en función de las precipitaciones y la fenología de la especie. Los resultados de esta experiencia se basan en las metodologías establecidas por Blaney y Criddle, así como la de J. T. Phelan, y se propone una metodología integral para la determinación del uso consuntivo en el cultivo del aguacate así mismo, los resultados de aplicación de esta propuesta son reportados para el caso del rancho San Angel Surumucapio, Municipio de Uruapan, Michoacan, altitud: 1611 metros sobre el nivel del mar, latitud: 19° 25' Norte, longitud: 102° 04'. La metodología planteada para el cálculo del uso consuntivo permite determinar, para cada uno de los meses del año, el espesor máximo, mínimo y adecuado de la lámina de riego. La metodología considera las precipitaciones de agua en la zona, de acuerdo con el Observatorio Meteorológico de Tacubaya de la Comisión Nacional de Agua así como, los resultados de investigaciones realizadas para determinar la fenología del fruto producido en el rancho. Esta metodología permite tener mayor certidumbre en la aplicación de la lámina de riego, sobre todo en la época de estiaje cuando existe el riesgo de que la floración y la generación de frutos no sea la adecuada para una producción óptima.

**PALABRAS CLAVE:** Evapotranspiración, consumo neto, necesidades de agua.

### **CONSUMPTIVE USE IN AVOCADO: MODIFICATION OF THE BLANEY AND CRIDDLE METED IN RELATION TO PHENOLOGY AND RAIN**

### **SUMMARY**

One of the most important aspects in the production of avocado is to determine the adequate administration of water supply in its cultivation. The watering sheet supplied

remains as one of the most important variables in the production of this fruit; which is function of precipitations of the region and phenology of the species, the outputs of this work are based in the methodology of Blaney and Criddle; corrected by J. T. Phelan. An integral methodology is recommended for the determination of the consumptive use in the cultivation of avocado. The integral methodology was tested in the area of Uruapan, Michoacan, México at rancho San Angel Surumucapio, Municipio de Uruapan, Michoacan located at an altitude of 1611 meter above sea level, latitud north 19° 25', longitude 102° 40', this methodology allows to know the maximum, minimum and adequate thickness of the watering sheet for each month of the year. The data of precipitations are based in the information supplied by Observatorio Meteorológico de Tacubaya, Comisión Nacional del Agua, México. Also are showed the results of research performed to determine the phenology of the avocado produced at rancho San Angel. This methodology contribute to increase the certainty in the supply of watering sheet; specially in the dry season when there exists the risk of no adequate flowering for the generation of fruits and high production.

**KEY WORDS:** Evapotranspiration, net consumption, necessities of water.

## INTRODUCCIÓN

Esta experiencia en la aplicación y mejora de la metodología para la determinación del uso consuntivo, permite tener mayor certidumbre en la aplicación de la lámina de riego, sobre todo en la época de estiaje, cuando, en algunas ocasiones, no se aplica o se hace un uso irracional del agua de riego que conlleva una baja eficiencia de la irrigación. Las mediciones del uso consuntivo en campo usadas para los cultivos son complejas, consumen mucho tiempo y son costosas, lo que resulta poco práctico.

La determinación del uso consuntivo es generalmente a través de fórmulas empíricas. La primera publicación oficial del uso de las fórmulas fue realizada por el Natural Resources Conservation Service, U.S. Department of Agriculture (1970), citado por Jones *et al.* (1984), que publicó un informe que describe el uso de un método modificado de Blaney-Criddle que se puede usar para estimar el uso consuntivo de diferentes cultivos.

Originalmente Blaney-Criddle (1950) desarrollaron el método para una región semiárida, actualmente se usa extensivamente en los Estados Unidos y en los más de 130 distritos de riego de México, aunque particularmente para el aguacate no se ha aplicado en México. Numerosas versiones de modificaciones del método se han desarrollado para ajustarse mejor a las condiciones del lugar. Muchas otras modificaciones se usan para estimar la evapotranspiración como el método de Penman-Monteith, el método de Thornthwaite, el de Stephens-Stewart y el de pan evapotranspiration realizado por Jones *et al.* (1984), estos aplicables en función de los datos disponibles de los sitios de estudio.

Actualmente a través del Institute of Food and Agricultural Sciences de la University de Florida y la compañía Colorados Decision Support Systems están disponibles software que ofrecen una serie de herramientas para calcular la evapotranspiración y el uso consuntivo.

La fenología, estudiando la influencia de los cambios climáticos en los fenómenos vitales de desarrollo del aguacate, particularmente para los procesos vitales de crecimiento de raíz, brotes, floración fruto fijo y cosecha, es analizada por Wolstenholme, citado por Arpaia (1986), Whiley y Wolstenholme, citados por Arpaia (1990), aunque no esta asociada con el consumo neto del agua del cultivo del aguacate.

En la revisión global de esta problemática no se localizó información específica de alguna experiencia similar para la zona de Uruapan, Michoacan, México primer productor mundial del aguacate.

Este trabajo retoma la metodología de Blaney y Criddle para determinar la cantidad de agua que el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) requiere diariamente, se parte de la hipótesis de que la determinación y aplicación del uso consuntivo para el Aguacate debe ser asociada a la fenología para cada una de las etapas del cultivo permitiendo un mejor desarrollo del fruto, en este sentido se estableció el objetivo de determinar el uso consuntivo del aguacate a través de la metodología de Blaney-Criddle modificada relacionando la fenología asociada con el fruto.

El uso consuntivo es la cantidad de agua que usan las plantas para crecer, desarrollarse y producir económicamente. El uso consuntivo está constituido por el agua que transpiran las plantas a través de las hojas, el agua que se evapora directamente del suelo y el agua que constituye los tejidos de las plantas. En virtud de que los 2 primeros componentes constituyen casi el 99% del uso consuntivo es común y además correcto, mencionar el término “evapotranspiración real” al hacer referencia al uso consuntivo. Penman (1948), citado por Aguilera (1996), afirmó que la cantidad de agua que consume un cultivo de talla baja y uniforme, que cubre totalmente el suelo y que siempre está previsto de humedad aprovechable. Lógicamente, la cantidad de agua por este concepto será mayor que la de uso consuntivo.

Los factores fundamentales que influyen para que el uso consuntivo tenga un determinado valor son:

- El clima.                      Temperatura, humedad relativa, vientos, latitud, luminosidad y precipitación.
- El cultivo.                    Especie, variedad, ciclo vegetativo, hábitos radiculares, etc.
- El suelo.                      Textura, estructura, profundidad del nivel freático, capacidad de retención de humedad.
- El agua de riego.          Su calidad y disponibilidad, prácticas de riego.

Indudablemente que todos estos factores influyen en la cantidad de agua que usan los cultivos; pero los de mayor influencia son: la temperatura, la humedad relativa, los vientos, la latitud del lugar, la luminosidad y el cultivo.

El Método de Harry F. Blaney y Waine D. Criddle, estableció una fórmula aplicada en las condiciones del oeste de los Estados Unidos de América, en la cual se emplean la temperatura media mensual, el fotoperíodo diario y un factor de cultivo, con lo cual se puede estimar el uso consuntivo.

La expresión general es la siguiente:

$$U = K * F$$

Donde:

U es el uso consuntivo en cm.

K es el factor cultivo, que depende del tipo de cultivo y la proximidad al mar del lugar.

F es la sumatoria desde que i es igual a 1 hasta n de f, donde f es igual a:

$$f = (p (t+ 17.8))/21.8$$

donde:

p = Porcentaje de horas luz del mes, con respecto al total anual.

t = Temperatura media mensual en °C.

En virtud de que esta fórmula daba valores muy elevados, por haber sido deducida en una región desértica, Phelan (1948), citado por Aguilera (1996), introdujo una corrección por temperatura "K<sub>t</sub>" que se calcula como sigue:

$$K_t = 0.03114t + 0.2396$$

donde:

t = Temperatura media mensual en °C.

Por otro lado, considerando que la expresión general de Blaney y Criddle sólo permite obtener valores del uso consuntivo en períodos no menores de 30 días y en virtud de que "K" es la constante que varía en función del desarrollo del cultivo, se han obtenido curvas de variación de K<sub>C</sub> en función precisamente del desarrollo del cultivo; por lo cual el factor K se transforma en K<sub>C</sub>; y por lo tanto la expresión final de la fórmula tal como se usa actualmente es la siguiente:

$$U. C. = K_C K_t F$$

Naturalmente para poder aplicar esta fórmula, es necesario tener las curvas de coeficiente de desarrollo "K<sub>C</sub>" para cada cultivo, las cuales deben obtenerse para cada lugar y para cada cultivo ó para lugares similares.

Castilla (1965) determinó coeficiente global para ajustar la determinación del Uso consuntivo medio mensual, que es igual a KG = 0.50, aplicable al cultivo del aguacate en una región costera-húmeda.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se hizo una recopilación de la estación climatológica de Uruapan, Michoacán, México, de las temperaturas medias mensuales por un período de diez años (1976-1985) así como de la precipitación pluvial para un período de cinco años (1981-1985) dicha información fué proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua de México.

El método de Blaney y Criddle es un método indirecto que usa los factores de temperatura media mensual y porcentajes de horas luz para diferentes latitudes, para estimar la evapotranspiración de cultivos.

López (1974), citado por Aguilera (1996), diseñó evapotranspirómetros y Pallares (1974), citado por Aguilera (1996), realizó una modificación, éstos son usados para determinar la evapotranspiración de cultivos por procedimientos más directos.

A continuación en el Cuadro 1 se presenta el proceso de cálculo del uso consuntivo, esta integrado por 15 columnas explicadas a continuación:

<b>Columna</b>	<b>Descripción</b>
1	Mes: Meses del año
2	T: Temperatura media mensual en °C.
3	P %: Por ciento de horas luz obtenido del cuadro 2.
4	$(T + 17.8) / 21.8$ : Cálculos. (1)
5	F: El producto de la columna tres por la cuatro.
6	$K_t$ : La Corrección por temperatura es igual a: $K_t = 0.03114 T + 0.2396$ . (2)
7	$FK_t$ : El producto de la columna cinco por la seis.
8	$K_c$ : Obtención del coeficiente del desarrollo de cultivo aguacate. Ver la figura 1
9	$U_{cm}$ : Cálculo del uso consuntivo mensual, el producto de la columna siete por la ocho, en cm.
10	C $KG_1 = \Sigma \text{columna 9} / \Sigma \text{columna 5}$ $KG_1 = 86.449 / 170.241 = 0.507$ (3) $C = KG / KG_1 = 0.50 / 0.507 = 0.98$ (4)
11	$Uc'm$ : Uso consuntivo ajustado. El producto de la columna nueve por la diez, en cm.
12	$Uc'$ acumulado: El acumulado de la columna 11, en cm.
13	$Uc'd$ : Uso consuntivo por día. Se divide cada valor de la columna 11 entre el número de días de cada mes, en cm.
14	Precipitación media mensual, en mm.
15	Necesidades de agua neta Diferencia entre la columna 11 y la 14. Cuando este último es mayor, no se requiere agua de riego, en el otro caso, se requiere irrigación, en mm.

USDA Soil Conservation Service. Castilla (1996).

De acuerdo con los reportes obtenidos en el rancho San Angel Surumucapio, Municipio de Uruapan, Michoacán, existen 4 periodos de floración: el primero durante el mes de marzo el que es muy sensible a cambios climáticos, el segundo y principal que se genera durante los meses de diciembre y enero que genera la mejor cosecha durante los meses de julio y agosto, el tercero que se produce como una floración aventajada generada durante el mes de noviembre y el cuarto periodo de floración que se produce durante agosto y septiembre que se denomina floración “loca” y regularmente no genera una gran producción de fruto.

No es regular que las floraciones aventajada y marceña se fijen una vez que se han formado, porque su desarrollo normal lo inhibe la falta de humedad aprovechable en el suelo, en los meses de estiaje, en este caso, hay un alto esfuerzo de humedad en el suelo, que es igual a la presión osmótica mas la tensión superficial. La tensión superficial del suelo está por el orden de quince atmósferas, el agua que contiene el suelo es la que llamamos "higroscópica" y la planta no la puede tomar; agrediéndole primero, el marchitamiento temporal y al final el permanente, como funciones del suelo que la planta no tolera marchitándose por una descompensación celular por carencia de agua en su sistema vascular. Se agrega que el potencial matriz del suelo no capilariza agua disponible provocando la caída de floraciones y frutos de las denominadas aventajada y marceña afectando su cosecha, porque son pocos los frutos que llegan a la madures fisiológica y económica, lo que indica que para que no resulte afectada la fenología de flores y frutos, se recomienda reponer con irrigación la falta de agua.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

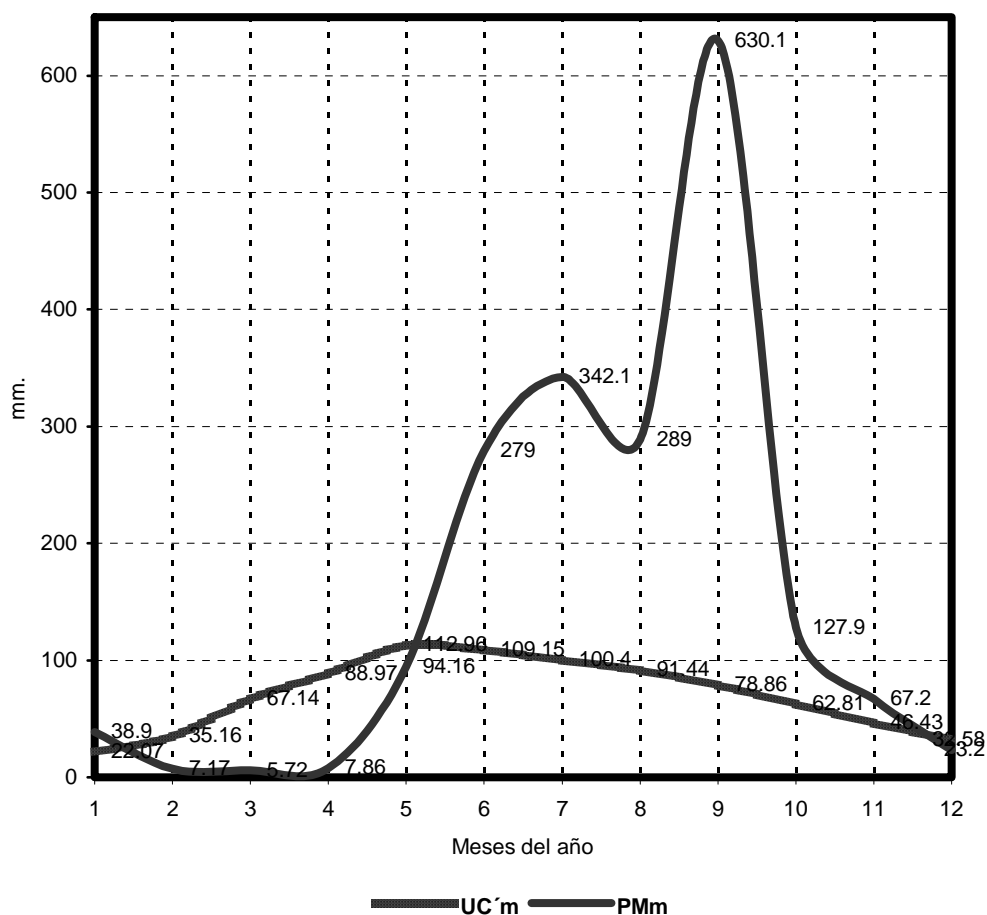
Los resultados de las columnas 11 del uso consuntivo mensual (U Cím) y 14 de la precipitación media mensual (PMm) del Cuadro 1, son presentados comparativamente en la Figura 1, de la que resulta que para los meses febrero a mayo el cultivo del aguacate en el rancho tiene una deficiencia de agua, que es administrada.

Las necesidades netas mensuales de agua son expresadas en valores positivos en la columna 15 del Cuadro 1, la administración de este volumen de agua para satisfacer las necesidades de desarrollo de los frutos, misma que por las características de los suelos y raíces del árbol (65% de ellas en los primeros 7.5 cm de profundidad), ofrecerá resultados en corto plazo reflejados en la floración y el desarrollo de los frutos.

La etapa de floración es afectada sustancialmente en la época del año determinada en la Figura 1 impactando los ciclos marceña y aventajada, siendo escasa y no fijándose debidamente, produciendo una gran perdida de frutos potenciales. Así mismo, los aguacates cosechados durante el mes de octubre, derivados de esta floración, son escasos respecto a la cosecha que se efectúa durante los meses de julio y agosto.

La causa más probable de estas diferencias de floración y desarrollo de frutos, es principalmente la falta de agua, la recomendación establecida al propietario del rancho es que incorpore, en principio, un sistema de riego para el periodo de febrero a mayo, ya que la floración y el desarrollo del fruto esta siendo afectada por la fenología particular, en contraparte, es factible pensar que con un riego adecuado, se tendrá

frutos durante el periodo de junio a octubre, lo anterior derivado del periodo de maduración del aguacate. De este modo, la determinación y aplicación del uso consuntivo para el cultivo asociado a la fenología para cada una de las etapas del cultivo permite un mejor y mayor desarrollo de la cosecha, comprobándose la hipótesis de esta experiencia.



**Figura 1. Comparativa entre el uso consuntivo mensual y la precipitación media mensual**

Será indispensable, para consolidar esta experiencia, realizar determinaciones en el rancho, asociadas con las variables que intervienen en el cálculo del uso consuntivo, así mismo, establecer un programa de seguimiento para evaluar los efectos en desarrollo del fruto, generados por la aplicación del riego, así como evaluar económicamente la inversión y el tiempo de amortización del sistema de captación e irrigación.

### CONCLUSIONES

Como resultado de esta experiencia se determinó el uso consuntivo, aplicado particularmente al rancho San Angel Surumucapio, Municipio de Uruapan, Michoacán,

México, particularmente en el periodo en que se requiere irrigar para fortalecer la floración y la generación de frutos, basado en las características fenológicas del sitio asociadas con el aguacate y se estimó una ampliación para el periodo de cosecha.

### **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Pablo Alberto Torres Lima, Jefe del Departamento de Producción Agrícola y Animal de la UAM-X, por su apoyo para la realización de esta trabajo, a la D. G. Alma Leticia González Villanueva y al M. en C. Julio Sánchez Figueroa por su apoyo en la búsqueda bibliográfica y en la edición del documento.

### **LITERATURA CITADA**

- AGUILERA, C., M. 1996. Relación Agua Suelo Planta Atmósfera. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp. 209-218.
- ARPAIA, M. L. 1990. Avocado Information Site. Universidad of California. Cooperative Extension. The Purpose and Goal of Phenology.
- BLANEY, H. F.; CRIDDLE, W. D. 1950. Determining Water needs From Climatological Data. U. S. D. A. Soil Conservation Service. SOS –TP. pp. 8-9.



**Cuadro 1.** Uso consuntivo del cultivo aguacate, metodología: Blaney y Criddle modificado relacionando precipitación. Rancho San Angel Surumucapio, Uruapan, Michoacán, México.

1	2	3	4	5	6	7	8
Meses	T (°C)	P % Horas Luz	$(T+17.8)/21.8$ (1)	F	$K_t =$ $0.03114T^{\circ}C + 0.2396$ (2)	FKt	Kc
ENERO	16.3	7.79	1.564	12.183	0.74	9.01	0.25
FEBRERO	17.1	7.28	1.601	11.655	0.77	8.97	0.40
MARZO	19.3	8.41	1.702	14.313	0.84	12.02	0.57
ABRIL	20.4	8.51	1.752	14.909	0.87	12.97	0.70
MAYO	21.6	9.11	1.807	16.461	0.91	14.97	0.77
JUNIO	21.2	8.97	1.789	16.047	0.89	14.28	0.78
JULIO	19.8	9.20	1.725	15.870	0.85	13.48	0.76
AGOSTO	20.1	8.92	1.739	15.511	0.86	13.33	0.70
SEP.	20.1	8.28	1.739	14.398	0.86	12.38	0.65
OCTUBRE	19.6	8.19	1.716	14.054	0.85	11.94	0.53
NOV.	17.9	7.63	1.638	12.497	0.79	9.87	0.48
DIC.	17.1	7.71	1.601	12.343	0.77	9.50	0.35
				$\Sigma = 170.241$			

**Cuadro 1.** Continuación. Uso consuntivo del cultivo aguacate, metodología: Blaney y Criddle modificado relacionando la precipitación. Rancho San Angel Surumucapio, Uruapan, Michoacán, México.

1	9	10	11	12	13	14	15
Meses	U. C.m Cm	C (3) y (4)	U. C'.m cm	U. C'.m Acumulado, cm	U. C'.m Diario, cm	Precipitación Media Mensual, mm	Necesidades de Agua Neta, mm
ENERO	2.252	0.98	2.207	2.207	0.071	38.9	<b>-16.83</b>
FEBRERO	3.588	0.98	3.516	5.723	0.125	7.17	<b>27.95</b>
MARZO	6.851	0.98	6.714	12.437	0.216	5.72	<b>61.42</b>
ABRIL	9.079	0.98	8.897	21.334	0.296	7.86	<b>81.11</b>
MAYO	11.527	0.98	11.296	32.630	0.364	94.16	<b>18.80</b>
JUNIO	11.138	0.98	10.915	43.545	0.363	279.0	<b>-169.8</b>
JULIO	10.245	0.98	10.040	53.585	0.324	342.1	<b>-242.2</b>
AGOSTO	9.331	0.98	9.144	62.729	0.295	289.0	<b>-197.5</b>
SEP.	8.047	0.98	7.886	70.615	0.263	630.1	<b>-551.2</b>
OCTUBRE	6.328	0.98	6.281	76.896	0.203	127.9	<b>-65.0</b>
NOV.	4.738	0.98	4.643	81.539	0.155	67.2	<b>-20.7</b>
DIC.	3.325	0.98	3.258	84.797	0.105	23.2	<b>9.3</b>
	<b><math>\Sigma=86.449</math></b>						

**Cuadro 2.** Porcentajes de horas-luz en el día para cada mes y año con relación al número total en un año.

LATITUDNORTE	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
15°	7.94	7.37	8.44	8.45	8.98	8.80	9.03	8.83	8.27	8.26	7.75	7.88
16°	7.93	7.35	8.44	8.46	9.01	8.83	9.07	8.85	8.27	8.24	7.72	7.83
17°	7.86	7.32	8.43	8.48	9.04	8.87	9.11	8.87	8.27	8.22	7.69	7.80
18°	7.83	7.30	8.42	8.50	9.09	8.92	8.16	8.90	8.27	8.21	7.66	7.74
19°	7.79	7.28	8.41	8.51	9.11	8.97	9.20	8.92	8.28	8.19	7.63	7.71
20°	7.74	7.26	8.41	8.53	9.14	9.00	9.23	8.95	8.29	8.17	7.59	7.66
21°	7.71	7.24	8.40	8.54	9.18	9.05	9.29	8.98	8.29	8.15	7.54	7.62
22°	7.66	7.21	8.40	8.56	9.92	9.09	9.33	9.00	8.30	8.13	7.50	7.55
23°	7.62	7.19	8.40	8.57	9.24	9.12	9.35	9.02	8.30	8.11	7.47	7.50
24°	7.58	7.17	8.40	8.60	9.30	9.20	9.41	9.05	8.31	8.09	7.43	7.46
25°	7.53	7.13	8.39	8.61	9.32	9.22	9.43	9.08	8.30	8.08	7.40	7.41
26°	7.49	7.12	8.40	8.64	9.38	9.30	9.49	9.10	8.31	8.06	7.36	7.35
27°	7.43	7.09	8.38	8.65	9.40	9.32	9.52	9.13	8.32	8.03	7.36	7.31
28°	7.40	7.07	8.39	9.68	9.46	9.38	9.58	9.16	8.32	8.02	7.22	7.27
29°	7.35	7.04	8.37	8.70	9.49	9.43	9.61	9.19	8.32	8.00	7.24	7.20
30°	7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.34	7.99	7.19	7.14
31°	7.25	7.00	8.36	8.73	9.57	9.54	9.72	9.24	8.33	7.95'	7.15	7.09
32°	7.20	6.97	8.37	8.75	9.63	9.60	9.77	9.28	8.34	7.95	7.11	7.05

Blaney, H. F. y W. D. Criddle. S. C. S. – P – 96. USDA Soil Conservation Service