



Ministerio del Ambiente
y de los Recursos
Naturales Renovables

PROCEDIMIENTO PARA ESTIMAR LA EFICIENCIA GLOBAL DE RIEGO

CARACA, DICIEMBRE 1978
SERIE DE INFORMES CIENTIFICOS DGSP0A/IC/05



Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables
Direccion General de Planificacion y Ordenacion del Ambiente

PROCEDIMIENTO PARA ESTIMAR LA EFICIENCIA GLOBAL DE RIEGO

Autor:

Javier Lopez

RESUMEN.

Se presenta un procedimiento para estimar la Eficiencia Global de Riego, a partir de cálculos parciales de las Eficiencias de Aplicación, de Distribución y de Conducción. Para calcular la de Aplicación se propone multiplicar por un coeficiente de disponibilidad de los recursos hídricos y humanos, la media resultante de valores estimados de eficiencia que dependen de los métodos de riego a emplear, las láminas netas requeridas, las texturas predominantes del suelo, la topografía del terreno y los caudales a emplear. Para determinar las Eficiencias de Conducción en el sistema de riego y de Distribución en la parcela se propone el empleo de algunos gráficos del ICID, con ciertas modificaciones, los cuales están en función de la textura de los suelos, del tiempo y tipo de suministro de agua, así como de las áreas del sistema de riego, de la parcela y de la zona servida por una toma.

SUMMARY.

A procedure for estimating overall irrigation efficiency is presented. Application efficiency is proposed to be calculated by multiplying a coefficient of availability of human and water resources by the arithmetic mean of estimated values which depend on the irrigation methods to be used, on the depths of water required, on the mean flows of application and on the prevailing topographies and soil textures.

The use of several ICID graphs are proposed for estimating water conveyance and water distribution efficiencies. These graphs are functions of soil textures, time and type of water delivery to the farm, as well as the areas of the irrigation project, of the farm and of the mean area served by an offtake (delivery) structure.

INDICE

	Pag.
1. INTRODUCCION	1
2. OBJETIVO	2
3. ESTADO DEL ARTE	3
3.1 Eficiencia de Aplicación	3
3.2 Eficiencia de Distribución en la Parcela	4
3.3 Eficiencia de Conducción en el Sistema de Riego	5
3.4 Eficiencia Global de Riego	8
4. METODOLOGIA	10
4.1 Eficiencia Global de Riego	10
4.2 Eficiencia de Aplicación	12
4.3 Eficiencia de Distribución en la Parcela	24
4.4 Eficiencia de Conducción en el Sistema de Riego	27
5. EJEMPLO DE CALCULO	30
5.1 Información Disponible	30
5.2 Eficiencia de Aplicación	30
5.3 Eficiencia de Conducción y de Distribución	34
5.4 Eficiencia Global de Riego	36

1. INTRODUCCION

Durante el estudio del Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos (5) se hizo el cálculo prospectivo a los años 1980, 1990 y 2000, de los requerimientos de agua para los diferentes usos: agrícola, urbano e industrial. El trabajo "La Agricultura Deseable" (4) da las demandas previstas a los fines agrícolas, para cuya obtención fué necesario hacer una prospección de las demandas de productos agrícolas a las mencionadas fechas y, con base a estimaciones de producción por unidad de superficie y a la información existente de suelos, se calculó y ubicó la superficie que potencialmente debe satisfacer dicha demanda, la cuál a su vez se dividió en siembras de lluvia y siembras de riego.

El cálculo de volúmenes requeridos para la agricultura parte de afectar por la eficiencia global de riego los volúmenes netos de agua que demanda cada área de riego seleccionada. En vista de lo dificultoso que resulta determinar la eficiencia global de riego se asumieron valores de 40, 50 y 60% y finalmente se escogió entre estos el valor medio, de 50%. Tal selección es frecuente en todos los cálculos de requerimientos de agua que se hacen en el país y a los fines de un cálculo preliminar su uso se ha eceptado; sin embargo hoy día hay elementos de juicio para considerar que el mencionado valor es relativamente alto, aún al tomar en cuenta que a 20 años plazo, la tecnología, por una parte y la escasez por la otra, inducirán a un aumento en la eficiencia del recurso.

Un refinamiento de las demandas de agua para la agricultura exige sin

lugar a dudas que se traten de estimar valores más cercanos a la realidad y más ajustados en cada caso particular. Ello se está intentando actualmente para la segunda aproximación de las demandas y a tal fin, se han revisado las necesidades de alimentos para los años 1990 y 2000, e igualmente, se han calculado las demandas netas de riego con una metodología diseñada por Avellán (1) que arroja una alta correlación entre la evaporación computada y la medida.

Con mayor razón, se precisan usar valores más adecuados de eficiencia, especialmente si se toma en cuenta que cualquier error al estimarla puede representar una equivocación de varios miles de metros cúbicos de demanda; sin duda esto da un grado de imprecisión mucho mayor que el que se incurre al estimar erradamente la evaporación ó el uso consuntivo.

2. OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es definir un procedimiento que en sistemas de riego contruidos o por construir, permita estimar la eficiencia global de riego.

Se desea con ello hacer un aporte al refinamiento de las demandas prospectivas de agua por la agricultura, pero también podrá ser útil para el cálculo de requerimientos brutos de riego con fines de formulación de proyectos e igualmente, servirá como elemento de apoyo y de control para los operadores de sistemas de riego.

El presente enfoque metodológico no debe considerarse definitivo sino simplemente como una primera aproximación, sujeta a cambios futuros; en todo

caso, permitirá determinar de manera mucho más exacta las referidas demandas prospectivas de agua.

3. ESTADO DEL ARTE

3.1 Eficiencia de Aplicación.

En la literatura existe poca información para estimar eficiencia de riego en la parcela; ello se explica en cierta forma en el hecho de que el procedimiento normal consiste en diseñar, para cualquier método de aplicación, los parámetros de riego tales como láminas, longitudes, caudales, tiempo de riego, etc., que den la máxima eficiencia * y posteriormente, los resultados del cálculo se ponen en práctica y se evalúan en el campo a fin maximizar la eficiencia al modificar algunos de dichos parámetros.

Diversos autores citan, para sus áreas de trabajo, las eficiencias más frecuentes en los métodos usuales pero tales valores resultan difíciles de universalizar. Keller (8 y 9) ha presentado aportes para relacionar la eficiencia de riego en los métodos más ampliamente usados en el mundo con los factores que los afectan, estos son: las relaciones entre lámina neta de riego y eficiencia para surcos, melgas y aspersión e igualmente los valores de eficiencia en dichos métodos para diferentes condiciones de topografía y textura del suelo; también ha producido un cuadro que relaciona la eficiencia en riego por aspersión con diferentes condiciones de viento, lámina y consumo máximo diario. Tales relaciones se presentan en el anexo, las cuales conjuntamente a las obtenidas por el ICID, representan el material de consulta básico empleado en el presente trabajo.

(*) No se dan citas específicas porque tales metodologías aparecen descritas para los principales métodos en casi cualquier texto de riego.

Este último es sin lugar a dudas el más valioso; fué realizado por Bos y Nugteren (2) y se refiere al procesamiento de datos de la información contenida en 91 cuestionarios recibidos de 29 países y que representan, de una manera u otra, resultados referentes a 2.85 millones de hectáreas, lo cuál constituía para la fecha de la encuesta, (1971) el 1,7% de la superficie regada del mundo.

Existen otras informaciones aisladas referentes a eficiencia de aplicación, por ejemplo, estudios efectuados en Nebraska (7) permiten estimar que las pérdidas por escorrentía ó de agua de cola al fondo de un lote son en promedio alrededor de 8% del total de agua aplicada al mismo.

3.2 Eficiencia de Distribución en la Parcela.

La información de eficiencia más escasa en la literatura es precisamente la que trata sobre distribución del agua en la finca, el reporte de Bos y Nugteren (2) muestra en forma de cuadro la relación entre las pérdidas por conducción en el interior de las parcelas contra el área de ellas y su tipo de suelos, e igualmente su relación con los tiempos medios de entrega de agua. Los resultados más resaltantes de las referidas relaciones son los siguientes: cuando las entregas son continuas la eficiencia de distribución es alta, (92%) e independiente de la superficie de la finca, pero cuando los suministros son intermitentes la eficiencia de distribución si es función de la superficie de la parcela, el límite superior resulta de 80% para 20 Ha. y sube gradualmente de 60 a 75% para superficies entre 1 y 10 Ha. Si la red de distribución interna es por tuberías o acequias revestidas, la eficiencia tiene un incremento entre 10 y 15%. En cuanto a las relaciones

con el tiempo de suministro, cuando el es de 10 horas, la eficiencia resulta de 58% y sube hasta 88% para 200 horas, acercandose asi al 92% que se obtiene para abastecimiento continuo.

3.3 Eficiencia de Conducción en el Sistema de Riego.

Referente a la eficiencia de conducción en el sistema de riego, el referido trabajo del ICID muestra cuadros que la relacionan tanto con la superficie de la zona regable como con el tamaño de las unidades que constituyen una rotación. Dichos cuadros están hechos con arreglo a si el agua es entregada en forma continua ó por turnos.

Golze citado por Cannell (3) reporta registros de sistemas de riego administrados por el "Bureau of Reclamation" de los Estados Unidos; en ellos, sobre un total de 514.422 Ha., las pérdidas en el canal principal fueron de 17.4%, en los laterales de 13.3% y los otros desperdicios del orden de 10.8%; esto significa que fué entregado a la finca sólo el 58.5% del agua conducida. Tal información coincide razonablemente con la citada por Israelsen (6), quien da una media de 62% para 17 estados del oeste americano. Por su parte Jensen et al (7) citan que las eficiencias medias de conducción tienen corrientemente valores de 70 a 75%.

Algunos autores dan referencias combinando las eficiencias de conducción y de distribución; Phelan (14) reporta los valores de tales eficiencias en 12 sistemas de riego del oeste americano en los años cincuenta y su valor medio está en el 63%.

En lo que respecta a información de Venezuela, los archivos de las

Divisiones de Funcionamiento del Ministerio de Agricultura y del Ministerio del Ambiente tienen los registros de caudales extraídos y entregados, con medias de 55% para algunos sistemas en operación tales como Taiguaigui, Guárico y San Carlos. Con una metodología como la diseñada por Palacios Velez (11) es posible estimar para estos sistemas, la eficiencia de conducción en años futuros. Tal metodología se basa fundamentalmente en hacer, para un determinado sistema de riego la ecuación de regresión entre gastos servidos y gastos extraídos, y usar para casos futuros dicha curva. Este procedimiento no permite hacer estimaciones para áreas nuevas y no se encontró en la literatura ninguna fórmula que permita una aproximación en tal sentido, sin embargo, si las hay para estimar pérdidas específicas. Ello concuerda con el hecho de es necesario separar los diferentes tipos de pérdidas y analizarlas individualmente para lograr el mejor enfoque teórico sobre la eficiencia de conducción. Palacios Velez (12) divide las pérdidas en:

Evaporación

Infiltración

Fugas (en estructuras principalmente)

Operación

Consecuentemente para estimar dicha eficiencia de la forma más aproximada posible, precisaría calcularse por separado cada una de ellas. Sin embargo, tal cosa no resulta fácil; donde existe mayor información es en lo referente al cálculo de pérdidas por percolación profunda; así

Palacios Velez cita algunos investigadores rusos tales como Averyánov, Kostyakov, Vedemikov, etc. La fórmula de Kostyakov merece citarse por su simplicidad, aunque logicamente por su misma sencillez y caracter empírico los resultados de cálculo pueden diferir en muchos casos de las observaciones de campo. Su expresión es la siguiente:

$$P = \frac{A}{Q^B}$$

donde: P = Pérdidas del caudal (Q) en porciento por kilómetro de canal.

A y B son factores empíricos en función del tipo de suelo, cuyos valores se indican en el Cuadro N° A 3, del anexo.

Por su parte, en lo que se refiere a mediciones de pérdidas en función del tipo de material, existen diversas en la literatura; Poire y Ollier (15) dan un cuadro de pérdidas por percolación en canales de acuerdo a textura de sus suelos y al perímetro mojado; tal información aparece en el Cuadro N° A 4 del anexo. Similarmente, Worstell (17) da en forma de cuadros los resultados de 765 pruebas de infiltración en canales de Estados Unidos; estos aparecen resumidos en el Cuadro N° A 5 del anexo, a partir del cual se produjo el gráfico N° A 2.

Queda claro que los caudales de operación, así como la longitud, sección y material del piso de los canales son los factores que inciden en las pérdidas por infiltración.

En cuanto a pérdidas por evaporación es posible calcularlas al seleccionar la que mejor se ajuste entre algunas de numerosas fórmulas existentes en la literatura, ó bien registrarla mediante un evaporímetro, por ejemplo el tanque "A" del U.S.W.B.

Las pérdidas por fugas y por operación son difíciles de universalizar mediante alguna fórmula; ellas dependen grandemente de la operación y del mantenimiento que se le da a cada sistema de riego y, sobre este particular son importantes: el número o densidad de los operadores o canaleros, el mantenimiento de las estructuras y de los canales, el tipo de entrega, así como la abundancia y costo del recurso agua.

3.4 Eficiencia Global de Riego.

Es ciertamente extraño que la información existente en la literatura sobre eficiencia de riego resulte relativamente escasa y de hecho no hay fórmula que permita estimarla de una manera global; ello ha conducido a que en la formulación de proyectos frecuentemente se use el valor de 50%. En términos generales esta cifra parece ser elevada; en efecto, ello resulta obvio al combinar algunos de los valores citados atrás con otros que aparecen en la literatura. Tal cosa puede observarse en el párrafo a continuación.

El Departamento de Agricultura de Estados Unidos, citado por Phelan (14) estima que en promedio sólo 47% del agua disponible en cada parcela queda retenido en la zona radicular; este valor no difiere grandemente de los citados por Jensen et al, (7) de 45 a 55%; al multiplicar tales cifras por la eficiencia de

conducción citada por el mismo Jensen, entre 70 y 75%, se obtienen eficiencias globales de riego*, de 31 a 41%. De manera similar, con base a las cifras que reportan el trabajo de Bos y Nugteren y los de Keller, puede estimarse que en riego por gravedad, 55% resulta un valor modal de la eficiencia de aplicación y que tanto la distribución como la conducción frecuentemente alcanzan cada una valores entre 70 y 80%. Esto representa eficiencias globales de riego de apenas 25 a 35%. No está demás indicar que muchas veces las bajas eficiencias se ven asociadas con la relativa abundancia del recurso agua. Conviene advertir que tales diferencias entre las estimaciones de 50% y los valores de eficiencia global de riego arriba citados, muchas veces no originan discrepancias entre los cálculos de demandas brutas de riego y los valores reales, pues ocurre una compensación de errores; efectivamente, es normal calcular sólo un balance hídrico preliminar bajo la hipótesis de cultivo en el campo durante todo el año y evapotranspiración potencial, cuando por el contrario, pasará solo como media alrededor de 120 días en el campo a una tasa de consumo actual de apenas 80% de la potencial. De cualquier forma, cuando abundan cultivos permanentes con cobertura completa es bastante probable que las demandas brutas reales superen las calculadas con base a una eficiencia alta. Ello aún no ha resultado obvio por el hecho de que el general bajo desarrollo agrícola de los sistemas de riego ha significado una aparente disponibilidad de agua, pero en la medida que las áreas de riego se desarrollen y se acerquen a lo programado, probablemente ocurran usos conflictivos del recurso y escasez; de hecho, ello ya está comenzando a ser visible en Zuata, Taiguaigui y Calabozo, aún cuando la escasez esté conformada

* No incluye pérdidas en el embalse.

dentro de un problema más complejo en el que los bajos escurrimientos de los últimos dos años son una causa importante.

4. METODOLOGIA

4.1 Eficiencia Global de Riego.

La metodología empleada en el presente trabajo consistió en agrupar los valores de eficiencia existentes en la literatura y complementar los faltantes con estimaciones propias; de esta forma podrá estimarse la eficiencia global de riego en función de los factores que la afectan cuya información se conozca en una determinada área.

Dada la imposibilidad de tener en cada caso particular registros de todas las variables que afectan la eficiencia, se consideró como premisa que ella pueda estimarse con la mínima disponibilidad de información básica; naturalmente, con esta base la precisión en los resultados será baja pero en la medida que se disponga de mayor información, los cálculos se aproximarán más al valor real. En futuras zonas de riego que aún no se hayan estudiado, la información disponible será escasa; ante tal situación deberá considerarse la necesidad de generar ó de estimar algunos factores que afectan la eficiencia y que tienen alta probabilidad de ocurrencia. A modo de ejemplo, con base al cultivo que se desee regar en una determinada región y a sus condiciones prevalecientes de suelo y de topografía, es posible suponer otros factores tales como el método de riego, tipo de entrega de agua, etc. Logicamente, esto significa que la eficiencia global de riego calculada para la mencionada área podrá finalmente

diferir de la real, no sólo por limitaciones inherentes a la metodología, sino también por un posible cambio de los factores previstos; en todo caso, darán valores de eficiencia mucho más correctos que los usados hasta ahora.

Dentro de los abundantes términos empleados en la literatura mundial (10) para el presente trabajo se ha optado por dividir la eficiencia global de riego en tres componentes, de modo que:

$$E_g = E_a \times E_b \times E_c \quad (1)$$

donde: E_g = Eficiencia global de riego.

E_a = Eficiencia de aplicación en el lote.

E_b = Eficiencia de distribución en la parcela.

E_c = Eficiencia de conducción en el sistema de riego.

A su vez tales eficiencias pueden expresarse de la siguiente manera:

$$E_a = \frac{V_n}{V_a}; \quad E_b = \frac{V_a}{V_f}; \quad E_c = \frac{V_f}{V_t} \quad (2)$$

donde: V_n = Volúmen neto requerido por el cultivo.

V_a = Volúmen aplicado al campo.

V_f = Volúmen suministrado a la finca.

V_t = Volúmen total entregado a la zona regable.

y reemplazando en (1) las expresiones dadas en (2) queda:

$$E_g = \frac{V_n}{V_t} \quad (3)$$

En efecto, de conocerse el volúmen almacenado en la zona radicular y el volúmen extraído de la fuente, el cálculo de eficiencia podría hacerse por esta última ecuación, pero dada la dificultad de medir para todo

sistema de riego el volúmen almacenado en la zona radicular, resulta necesario computar la eficiencia con base a estimaciones de la expresión N° (1), es decir, multiplicando valores parciales de las eficiencias de aplicación, de distribución y de conducción.

Al no disponerse para el presente trabajo de resultados de eficiencia en campo con sus correspondientes valores de las variables que la afectan, no es posible hacer análisis matemáticos para obtener ecuaciones relacionando aquella con esta. En su lugar, se compiló, ordenó y seleccionó la información existente, complementandola con valores estimados por el autor. Tal procedimiento tiene limitaciones obvias; sin embargo, se considera justificado por la actual falta de alguna metodología.

Con base a los datos de la encuesta realizada por el ICID, el Instituto Internacional para la Recuperación y el Mejoramiento de Tierras (ILRI), de los Países Bajos, está elaborando una metodología que seguramente permitirá calcular adecuadamente la eficiencia global de riego, mientras tanto, el procedimiento que aqui se expone intenta llenar el actual vacío.

4.2 Eficiencia de Aplicación. (E_a)

El primer paso para buscar una aproximación que permita evaluar la eficiencia de aplicación, fué identificar los factores que la afectan y los cuales son: Método de Riego, Textura y/o tasa de entrada de agua, Lámina, Caudal y Disponibilidad de agua, Topografía del terreno, Clima, Capacidad y experiencia del regador, Diseño y/o supervisión técnica, Edad y tipo del cultivo y, Aspectos económicos.

Debido a la imposibilidad de realizar un análisis de correlación múltiple, por la falta de registros de otras indicadas, se tanteó en primer término la alternativa de producir una fórmula de tipo similar a las empleadas en la Universidad del Estado de Utah para determinaciones de evapotranspiración, esto es, dar a cada variable valores cercanos a la unidad, superiores a este valor cuando el factor en consideración pudiera mejorar la eficiencia de la media esperada, e inferiores a 1, en caso contrario; así, el resultado de la eficiencia vendría dado al multiplicar la eficiencia media por estos valores. La ventaja de tal tipo de fórmula es que permite emplear toda la información disponible que de una manera u otra afecta dicha eficiencia y cuando se carece de datos sobre algún factor en particular su coeficiente se reemplaza por el valor 1; de esta manera sería factible estimar la eficiencia en prácticamente cualquier caso y la mayor o menor precisión en el resultado dependerá de la cantidad y calidad de los factores utilizados en el cálculo. Tal tentativa resultó fallida por cuanto en los extremos se obtienen valores diferentes a los esperados.

Por tal motivo se resolvió seguir una alternativa más fácil, esto es: seleccionar, dentro de la lista de factores que afectan la eficiencia, los más importantes y los que poseen mayor información. Con ello se conformó una serie de cuadros asignando valores de eficiencia para cada método de riego en función de dichos variables. Estos aparecen con los números 2 al 6.

Con base a dichos cuadros se consideró que la eficiencia de aplicación es la media aritmética de los valores asignados a las variables, afectadas por un coeficiente que depende de la disponibilidad del agua, de la supervisión técnica y de la calidad y experiencia del regante; tales valores se presentan en el cuadro N° 7. En resumen, se ha considerado que cuando se tenga información sobre todas las variables la eficiencia de aplicación será igual a:

$$Ea = Cr \frac{Ea_m + Ea_l + Ea_s + Ea_q + Ea_t}{5} \quad (4)$$

donde: Ea = Eficiencia de Aplicación de acuerdo a los siguientes subíndices:

m = Media para el método de riego a emplear.

l = Lámina requerida.

s = Textura del suelo.

q = Caudal medio de riego a emplear por un regador.

t = Topografía del terreno.

Cr = Coeficiente de disponibilidad de recursos, hídrico y humano.

Cuando se carezca de información sobre una ó más variables la fórmula general podrá representarse de la siguiente manera:

$$Ea = Cr \frac{\sum Ea_f}{n} \quad (5)$$

donde: Ea_f = Eficiencias de Aplicación según los factores conocidos.

n = Número de variables empleadas en la fórmula.

CUADRO N° 1

METODO DE RIEGO CON MAYOR PRELACION SEGUN TIPO DE CULTIVO*

CULTIVO	METODO**
I. Frutales:	
1. Arboles	Platonos
2. Banano	Surcos cortos con tapas
3. Vid y otros en espaldera	Surcos con tapas y platonos
II. Hortalizas:	
1. De crecimiento denso y corta distancia de siembra:	
i De trasplante	Serpentines
ii De siembra directa	Canteros
2. Otras hortalizas	Surcos largos con tapas
3. Papa y tabaco	Surcos largos con tapa y aspersión
III. Caña	Surcos clásicos y surcos clásicos modificados.
IV. Cultivos extensivos:	
Textiles, oleaginosas, cereales y leguminosas	Surcos clásicos, excepto el primer riego que puede ser surcos largos con tapas.
V. Arroz	Melgas en contorno con salida
VI. Pastos:	
1. Sembrados en hileras especialmente de corte.	Surcos clásicos y melgas rectas con salida.
2. De pastoreo directo:	
i Con agua abundante y mano de obra escasa	Transbordamiento libre y cajones
ii Con agua limitado para altos caudales:	
• Suelos nivelados	Melgas rectas con o sin salida
• Suelos emparejados	Melgas en contorno sin salida

* Cuando los otros factores que afectan la selección del método están en condiciones medias. La selección ha tomado en cuenta las costumbres tradicionales de riego en el país.

** Considerar las alternativas, goteo y aspersión para suelos pendientes y/o arenosos y cuando el agua sea escasa o el cultivo altamente rentable.

CUADRO N° 2

VALORES MEDIOS DE EFICIENCIA DE LOS DIFERENTES METODOS DE RIEGO.

METODO DE RIEGO	EFICIENCIA (%)
Surcos:	
Clásicos (con salida de agua)	(57)
Corrugaciones	54
Largos con tapas	60
Cortos sin salida	65
Canteros	62
Serpentines	60
Con platones	60
Melgas:	
Rectas con salida	(55)
Rectas sin salida	58
En contorno con salida	(32)
En contorno sin salida	(58)
Tazas y palanganas	60
Cajones	32
Transbordamiento libre	32
Aspersión	(68)
Goteo	85
Cuando no pueda escogerse el método.	57

Fuente: ICID (números en paréntesis) y propia.

CUADRO N° 3

EFICIENCIA DE APLICACION ESTIMADA SEGUN LA LAMINA A APLICAR Y EL METODO DE RIEGO

METODO DE RIEGO		LAMINA EN CM.										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	> 10
SURCOS	Clásicos			31	42	49	53	57	61	64	67	68
	Corrugaciones			28	39	46	50	54	58	61	64	65
	Largas con tapas			39	46	52	56	60	62	64	65	66
	Cortos sin salida			53	59	62	64	65	66	66	67	67
	Cantero			51	56	59	61	62	63	64	64	65
	Serpentin			45	52	56	59	60	61	62	63	63
	Con platones			39	46	52	56	60	62	64	65	66
M	Rectas con salida			48	51	53	54	55	57	58	59	60
E	En contorno con salida			NO A P L I C A								
L	Rectas sin salida			37	44	50	54	58	60	62	63	64
G	En contorno sin salida			37	44	50	54	58	60	62	63	64
A	Tazas y Palanganas			49	54	57	59	60	61	62	62	63
S	Cajones con salida			17	24	28	31	32	34	36	37	38
Goteo		83	85	86	86							
Aspersión		63	64	65	66	67	67	68	69	70	71	73
Indefinido				42	47	51	54	57	60	62	64	65

Fuente : Propia, combinando resultados del Estado de Idaho (citado por Keller) y trabajo del ICID.

CUADRO N° 4

EFICIENCIA DE APLICACION ESTIMADA SEGUN TEXTURA DEL SUELO Y METODO DE RIEGO

METODO DE RIEGO	TEXTURA					
	ARENOSO	FRANCO	LIMOSO	F. ARCILLOSO ARC. LIMOSO	ARCILLOSO	ARCILLOSO PESADO
Clásicos	46	50	52	64	66	64
S Corrugaciones	43	48	50	61	63	60
U Largos con tapas	54	58	58	60	66	63
R Cortos sin salida	65	65	65	65	65	65
C Canteros	56	60	63	65	65	62
O Serpentes	54	58	61	63	63	60
S Con platonés	60	60	60	60	60	60
M Rectas con salida	52	53	54	63	58	55
E Rectas sin salida	55	55	55	64	62	58
L En contorno con salida	-	25	31	38	44	50
G En contorno sin salida	55	57	59	64	62	58
A Tazas y Palanganas	63	60	60	69	63	60
S Cajones sin salida	-	25	31	38	44	50
Transbordamiento libre	30	31	32	37	34	32
Aspersión	71	69	67	64	62	59
Goteo	88	87	85	83	82	80
No definido	54	55	58	62	62	60

Fuente : Propia. En términos generales son valores mas cercanos a los que se infieren de tablas de Keller, que a los reportados por el ICID. Ambas referencias tienen criterios prácticamente opuestos por cuanto los resultados del ICID excepto en melgas, en contorno con salida, muestran disminución de la eficiencia al hacerse mas pesada la textura y los de Keller sugieren lo contrario.

CUADRO N° 5

EFICIENCIA DE APLICACION ESTIMADA SEGUN EL CAUDAL Y EL METODO DE RIEGO
A EMPLEAR

METODO DE RIEGO		CAUDAL EN LPS.												
		RECOMENDADO	4	5	6	7	8	9	10	20	30			
S	Largos con tapas	12	50	54	55	57	59	60	62	60	47			
U	Cortos sin salida	8	60	64	66	68	70	68	65	54	-			
R	Cantero	8	57	61	63	65	67	65	62	51	-			
C	Serpentin	10	52	54	56	59	61	62	62	52	-			
O	Con platones	12	52	56	58	60	62	64	70	64	50			
S	Gravitacional indefinido	Varía	43	46	48	50	51	53	55	62	65			

		RECOMENDADO	10	20	30	40	50	60	70	80	90	110	150	200
	Surcos clásicos	30	-	59	60	59	58	57	56	55	50	44	-	-
	Corrugaciones	30	-	59	60	59	58	57	56	55	50	44	-	-
M	Rectas con salida	60	53	54	55	58	58	57	56	55	54	53	48	43
E	Rectas sin salida	50	56	57	58	61	61	60	59	58	57	56	51	46
L	En contorno con salida	Varía	26	29	30	32	33	34	33	32	32	32	30	27
G	En contorno sin salida	50	56	57	58	61	61	60	59	58	57	56	50	45
A	Tazas y Palanganas	30	30	60	63	66	60	52	-	-	-	-	-	-
S	Cajones con salida	50	26	29	30	32	33	34	33	32	32	32	30	27
	Transbordamiento libre	30	-	33	34	33	33	32	31	31	28	25	-	-
	Gravitacional indefinido	Varía	55	62	65	67	66	65	64	62	61	60	55	49
	Aspersión	Varía	66	67	68	72	72	71	69	68	67	66	59	53
	Goteo	Varía	85	85	85	85	85	85	85	85	-	-	-	-

Fuente : Propia con base a información del ICID.

NOTA : Para la estimación de los valores de eficiencia se ha supuesto que el acondicionamiento de acequias y de estructuras de riego a nivel parcelar sea cónsono con el manejo del caudal respectivo.

CUADRO N° 6

EFICIENCIA DE APLICACION ESTIMADA SEGUN LA TOPOGRAFIA Y EL METODO DE RIEGO

METODO DE RIEGO		TOPOGRAFIA			
		NIVELADO Y PLANO	EMPAREJADO Y PLANO	ONDULADO Y PENDIENTE	REGULARIZACION RECOMENDADA
S U R C O S	Clásicos	58	45	35	nivelación
	Corrugaciones	55	42	30	nivelación
	Largos con tapas	63	58	54	emparejamiento
	Cortos sin salida	67	63	-	emparejamiento
	Canteros	64	60	-	emparejamiento
	Serpentines	63	58	-	emparejamiento
	Con Platos	63	57	50	emparejamiento
M E L G A S	Rectas con salida	63	47	-	nivelación
	Rectas sin salida	66	47	-	nivelación
	En contorno con salida	33	30	-	emparejamiento
	En contorno sin salida	61	55	-	emparejamiento
	Tazas y Palanganas	63	57	-	emparejamiento
	Cajones con salida	33	27	-	emparejamiento
Transbordamiento libre		40	32	24	poco o nada
Aspersión		71	68	65	poco o nada
Goteo		85	85	85	poco o nada
Indefinido		60	52	42	

Fuente : Propia, siguiendo criterios de Keller.

NOTA : Se da la práctica de regularización de superficie recomendada a los fines de seleccionar el valor mas indicado cuando se carezca de una decisión o política definida en lo referente a nivelación de tierras.

CUADRO N° 7

COEFICIENTES POR DISPONIBILIDAD DE AGUA Y FACTOR HUMANO (Cr) AAPLICAR EN EL CALCULO DE EFICIENCIA DE APLICACION.

EXPERIENCIA DEL REGADOR Y ASISTENCIA TECNICA	DISPONIBILIDAD DE AGUA	
	NORMAL	CARA Y/O ESCASA
Nuevo, con supervisión	0.90	0.95
Mediana experiencia sin supervisión	0.95	1.00
Mediana experiencia con supervisión	1.00	1.05
Experiente sin supervisión	1.00	1.05
Experiente con supervisión	1.05	1.10

Nota: La valorización de experiencia se supone en referencia a la práctica de riego, pero también incluye el nivel general de conocimientos del regante.

Los métodos de riego tratados incluyen no sólo las más clásicos, frecuentemente descritos en los libros de texto, sino que también se consideran algunos sistemas de riego tradicionales en el país, los cuales, aunque en el futuro disminuirán de importancia, continuarán teniendo vigencia económica bajo ciertas condiciones.

Para la asignación de valores de eficiencia de acuerdo a cada variable no se siguió un criterio fijo. En efecto, referente a los métodos clásicos en los que se dispone de los índices citados por los trabajos de Keller y del ICID, se consideraron originalmente las siguientes alternativas:

- . Media aritmética entre los valores de ambas fuentes.
- . Mayor peso a los valores de una de las fuentes.
- . Selección de los valores de una de las fuentes.

Posteriormente, se prefirió emplear en cada factor un procedimiento diferente para seleccionar los valores de eficiencia y sin ajustarlo en forma precisa a las alternativas arriba citadas. Cada cuadro señala al pie el criterio seguido.

Para las variables en las que no se consiguió información en la literatura se asignaron valores propios de acuerdo al criterio y experiencia del autor.

El riego por aspersión es un caso muy particular en el que influyen otros factores adicionalmente a los ya citados; por tal motivo, se ha incluido el cuadro N° 8 que relaciona dicha eficiencia con la velocidad del viento, la evapotranspiración máxima y el alcance del agua por el aspersor bajo el supuesto de que este opere dentro del rango recomendado de presión. De esta manera, se lleva a 8 el número máximo de variables a usar para la estimación de eficiencias en riego

CUADRO N° 8

EFICIENCIA DE APLICACION EN SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSION DE ACUERDO A VELOCIDAD DEL VIENTO, EVAPOTRANSPIRACION MAXIMA, Y ALCANCE DEL CHORRO

VELOCIDAD K P H	ϵ_{av} %	ETmax m m/h.	ϵ_{aET} %	ALCANCE m.	ϵ_{aa}
0	71	3	70	0 - 6	70
3	70	4	69	6 - 12	69
6	69	5	68	12 - 24	68
9	68	6	67	24 - 48	67
12	67	7	66	> 48	66
15	66	8	65		
18	65	9	64		
21	64				
24	63				

Fuente : Relaciones de la eficiencia con velocidad del viento y evapotranspiración estimadas a partir del Manual de Ames (1962). Las relaciones con alcance - de los aspersores se hicieron con base a estimaciones propias.

por aspersión, en lugar de las cinco citadas en la fórmula N° (4).

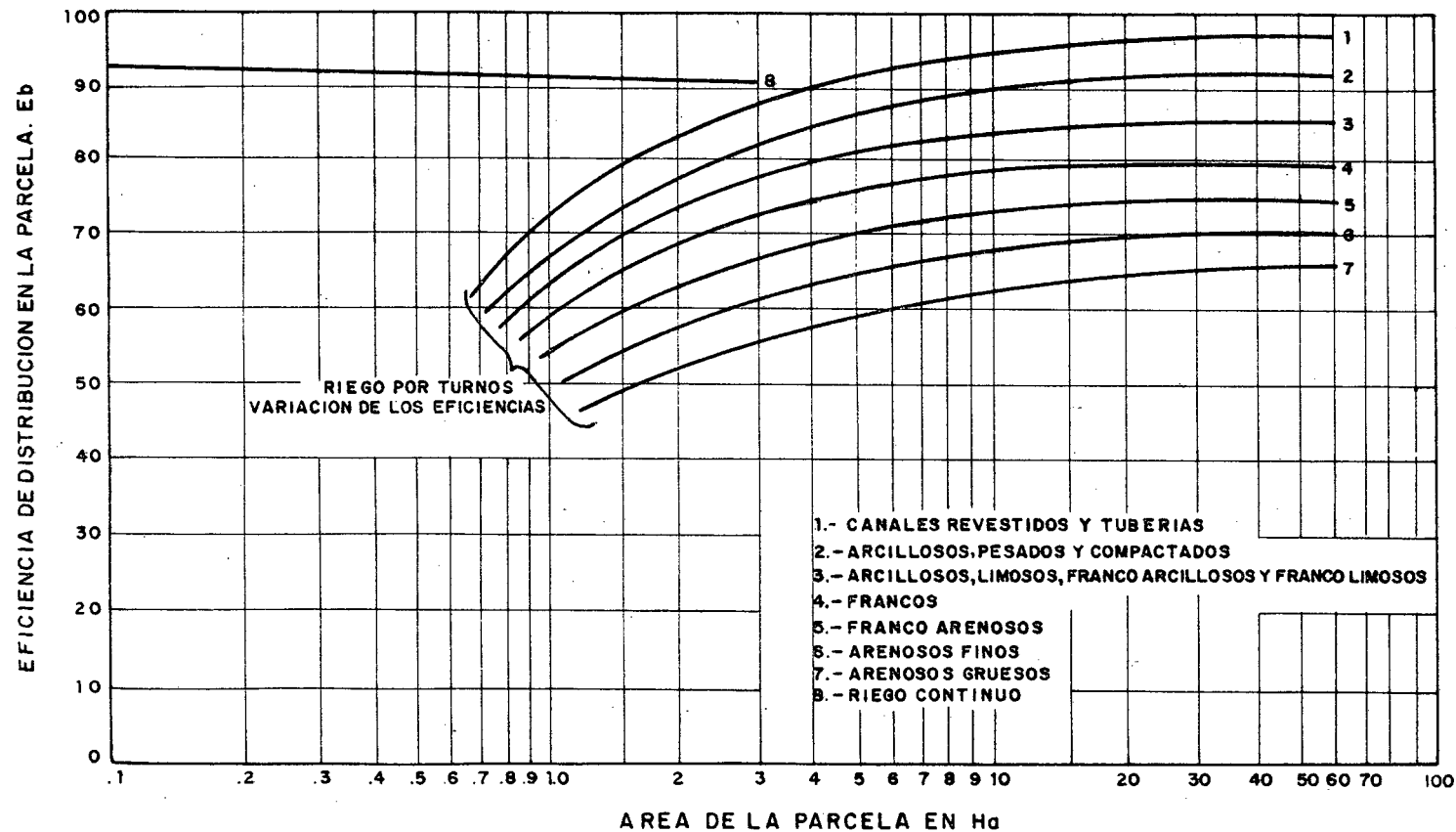
Es justo reconocer que la metodología propuesta presenta dos puntos débiles; por una parte, los factores están analizados individualmente de modo que no se toma en cuenta cuando dos ó más de ellos tienen un efecto multiplicador, es decir, de mayor incidencia que el reflejado por sus promedios aritméticos; esta dificultad no fué posible resolverla por carecer de datos suficientes para efectuar un análisis estadístico o un programa de computación. Por otra parte, es indudable que algunos factores tienen más peso que otros y esto no se refleja en sus justos términos a través de simples promedios; sin embargo, ello se toma parcialmente en cuenta con el mayor o menor rango de variación de los valores de eficiencia asignados a cada factor.

4.3 Eficiencia de Distribución en la Parcela.

La escasa información existente en la literatura sobre el particular indujo a usar exclusivamente los valores reportados por el ICID. Estos son, por una parte, las relaciones de la eficiencia de distribución con la textura del suelo, el área de la parcela y el tipo de entrega (gráfico N° 1), y por la otra, la variación de dicha eficiencia en función del tiempo mensual de suministro, (gráfico N° 2). El gráfico N° 1 es una modificación del original presentado por Bos y Nugteren, la cual consiste en hacer curvas individuales según el tipo de suelo, a pesar de que dichos autores no encontraron que la textura del suelo de las acequias internas afectará en forma sistemática la eficiencia.

Cuando exista información para emplear ambos gráficos, la eficiencia

VALORES DE E_d SEGUN LA DIMENSION DE LA PARCELA Y EL TIPO DE SUELO

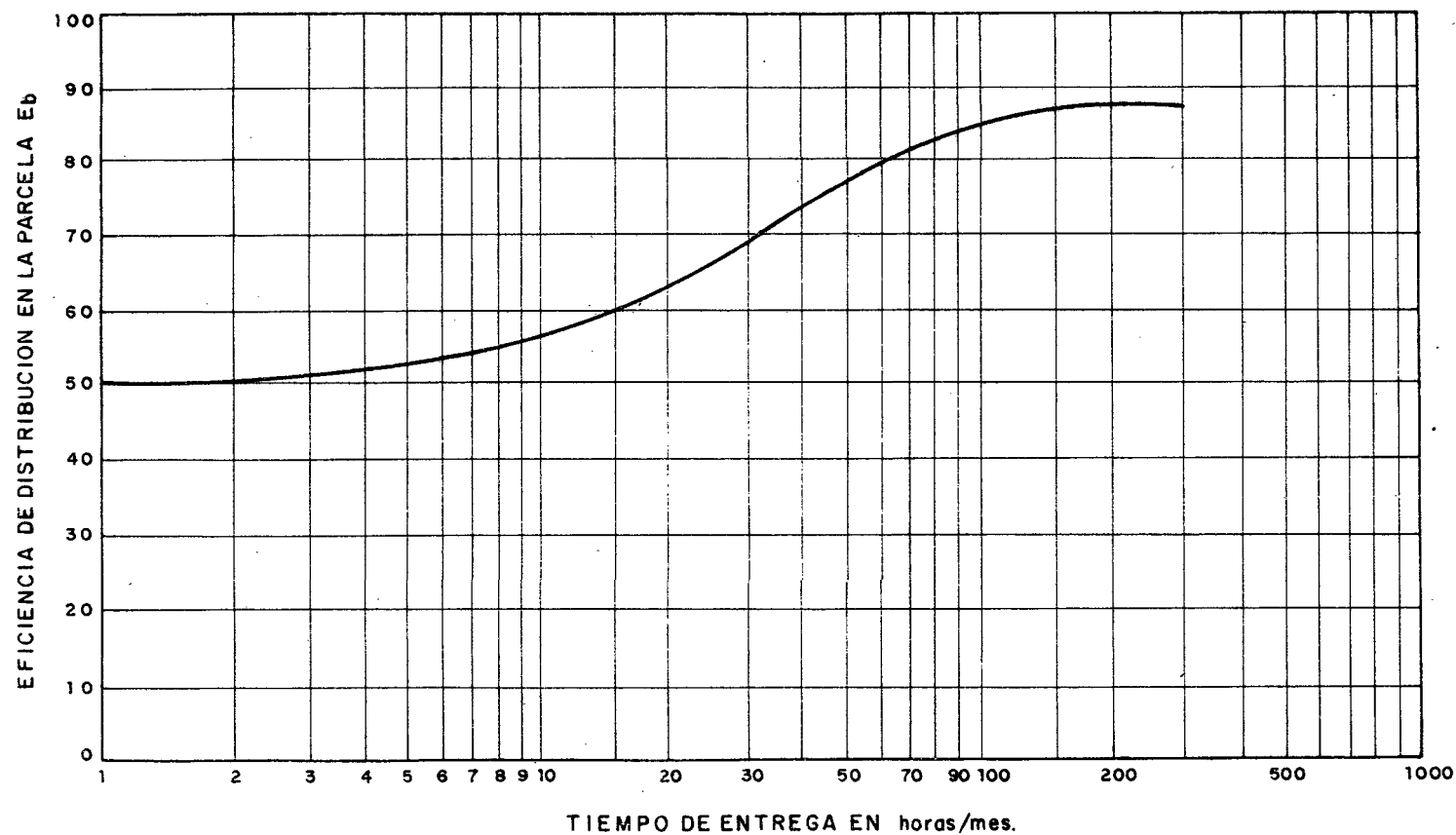


FUENTE:

ICID, con modificaciones propias

GRAFICO N° 1

**INFLUENCIA DE LOS TIEMPOS MEDIOS DE SUMINISTRO EN TOMA DE PARCELA
SOBRE LA EFICIENCIA EN ACEQUIAS INTERIORES DE LA FINCA (RIEGO DE SUPERFICIE)**



FUENTE:
I.C.I.D.

GRAFICO N° 2

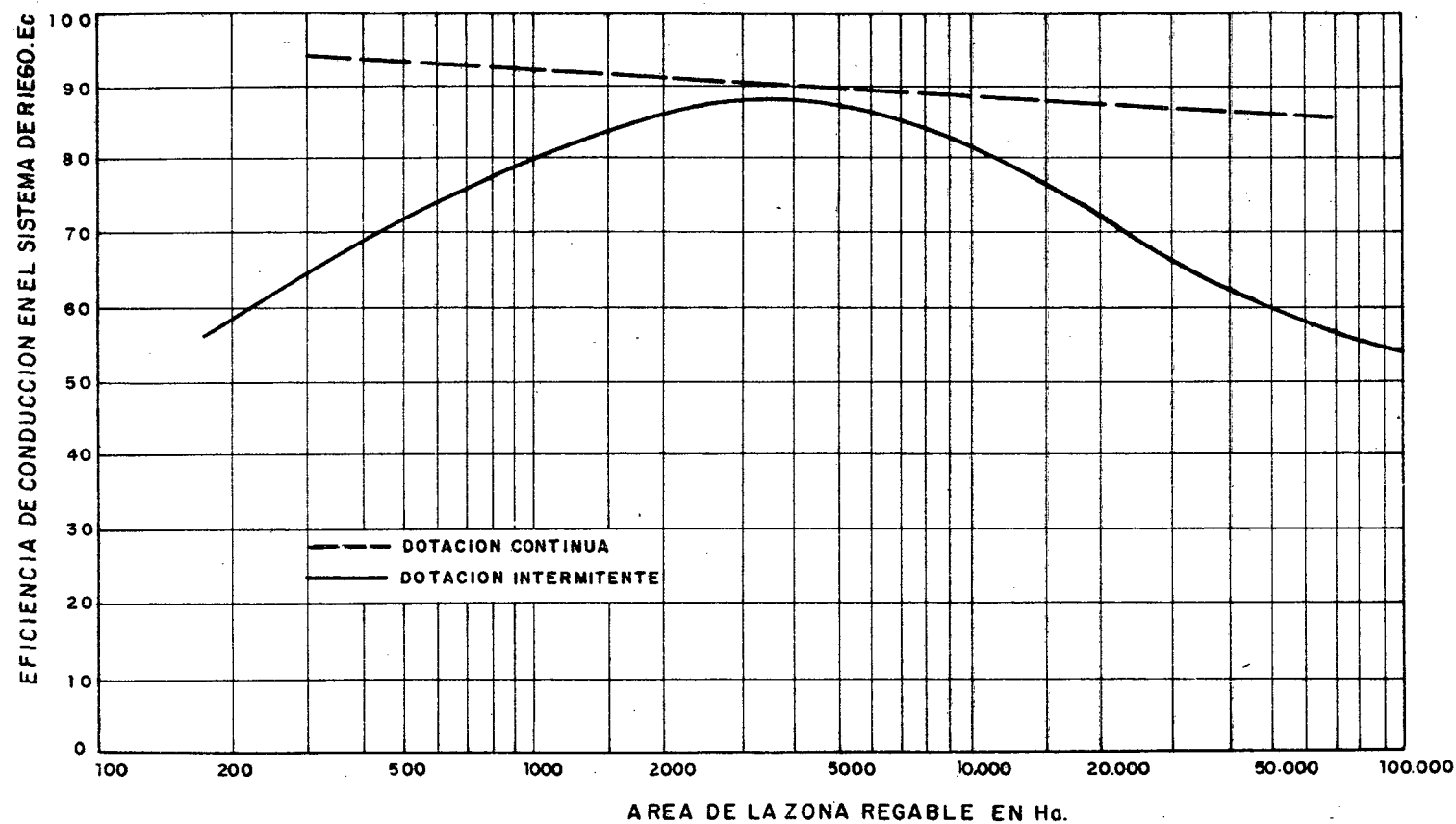
de distribución vendrá dada por la media aritmética. En caso contrario se utilizará la que resulte de uno solo de ellos.

4.4 Eficiencia de Conducción.

Ya se mencionó que una medida detallada sobre este particular podría obtenerse a través de cálculos individuales de las pérdidas de evaporación, percolación, fugas y operación. Sin embargo, por su mayor simplicidad se ha resuelto utilizar el material disponible sobre el particular en el trabajo del ICID. El gráfico N° 3 da las relaciones entre la eficiencia de conducción y la superficie regable del sistema tanto por dotación intermitente como continua, y el gráfico N° 4 relaciona aquella con el tamaño de las unidades de rotación o de las parcelas a las que se suministra el agua en forma intermitente. Cuando el suministro es por turnos, al igual que el caso anterior, la eficiencia de conducción podrá estimarse como la media de los valores obtenidos por ambos gráficos; en caso de entregas continuas la eficiencia será la directamente obtenida en el gráfico N° 3.

En términos generales las líneas de dichos gráficos deben considerarse como envolventes y, a juicio del calculista podrán asignarse valores inferiores a los que allí corresponden.

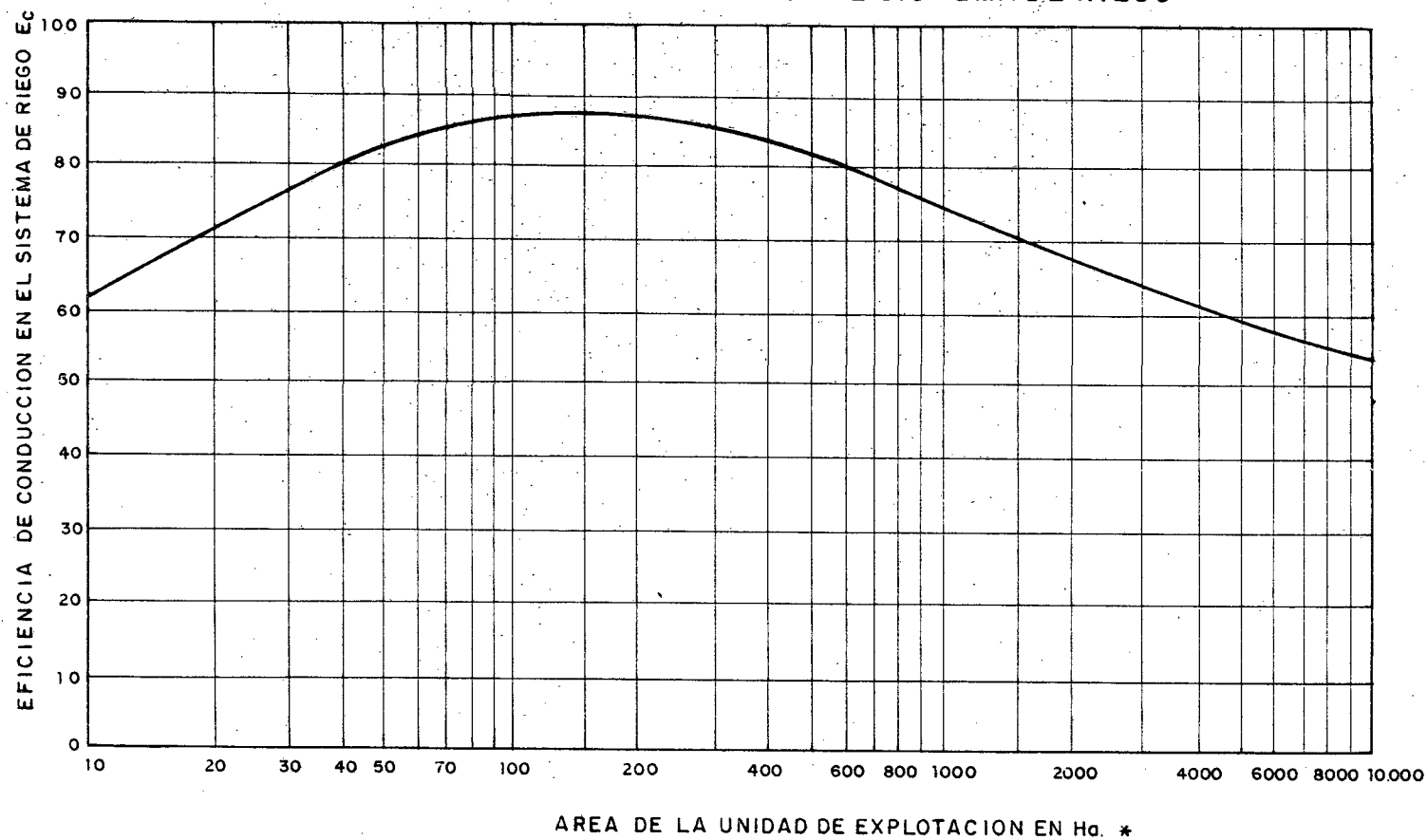
VALORES DE EFICIENCIA DE CONDUCCION EN EL SISTEMA DE RIEGO,
(E_c) SEGUN EL AREA DE LA ZONA REGABLE Y EL SISTEMA DE ENTREGA DE AGUA



FUENTE:
ICID.

GRAFICO N° 3

RELACION ENTRE EL AREA DE LA UNIDAD DE EXPLOTACION Y LA EFICIENCIA DE CONDUCCION DEL SISTEMA DE RIEGO



* Se refiere al area media que domina cada toma

FUENTE:
I.C.I.D. con modificaciones propias

GRAFICO N° 4

5. EJEMPLO DE CALCULO.

Se ha considerado conveniente mostrar un ejemplo de operación de las referidas tablas a los efectos de cálculo de la eficiencia global de riego. En vista de que una información básica escasa dificulta dicho cálculo, el ejemplo que se muestra presenta tales características.

5.1 Información Disponible.

Supongase un área que futuramente se desea poner bajo riego y donde la información disponible se limita a la siguiente:

a. Cultivos y superficies en Ha.

Tomate	150 Ha.
Cucurbitáceas	150 Ha.
Caña	<u>700 Ha.</u>
Area total	1.000 Ha.

b. Topografía: pendiente suave, inferior al 1%.

c. Textura predominante de la zona: Franco Arcillosa.

d. Disponibilidad de agua: Normal.

5.2 Eficiencia de Aplicación.

Dada la escasa información existente se hace necesario estimar un número considerable de variables, ello será posible especialmente en función de los cultivos a sembrar. Así por ejemplo,

para el tomate se puede deducir lo siguiente:

- a. Eficiencia de Aplicación según método de riego:

Según la tabla N° 1 el método a seleccionar será surcos largos con tapas ó surcos cortos sin salida. Supongase que sea el primero de los nombrados, cuyos resultados, en todo caso, no diferirán sensiblemente de la otra alternativa.

De acuerdo a la tabla N° 2,

$$Ea_m = 60\%$$

- b. Eficiencia de Aplicación según lámina neta:

Puede estimarse, que los suelos franco arcillosos tienen como media de agua útil, 17 cm/m.; al suponer para esa textura un porcentaje de aprovechamiento de 50% y profundidad efectiva de raíces igual a 70 cm., se tiene:

$$L.N. = A.U. \times \frac{\% \text{ Agot.}}{100} \times Pr$$

$$L.N. = 17 \text{ cm/m} \times \frac{50}{100} \times 70 \text{ cm} = 5,95 \text{ cm} = 6 \text{ cm.}$$

Según el cuadro N° 3,

$$Ea_l = 56\%$$

- c. Eficiencia de Aplicación por tipo de suelo:

Dada una textura franco arcillosa, según el cuadro N° 4

se tiene:

$$Ea_s = 60\%$$

- d. Eficiencia de Aplicación según caudal:

Si se estima, que el caudal a aplicar será el más recomendado para el método de riego (Q = 12 lps.), según el cuadro N° 5,

se obtiene:

$$Ea_q = 55\%$$

e. Eficiencia de Aplicación según topografía.

Para el caso bajo análisis se sabe que la pendiente de la zona es reducida pero se desconoce si el terreno será nivelado o no. Tal información tendría que ser supuesta para futuros sistemas de riego. Tradicionalmente los construídos hasta ahora en el país han incluido la regularización de superficie como labor rutinaria dentro de las obras de infraestructura parcelar; sin embargo, sus sensibles aumentos de costo tienden a justificarla en casos especiales tales como cuando el microrelieve es muy irregular, el agua cara y escasa y, principalmente, cuando el método de riego requiere dicha práctica. En vista de que esto no ocurre en el caso bajo consideración, puede suponerse que el suelo será simplemente emparejado. Por tal motivo, según el cuadro N° 6:

$$Ea_t = 58\%$$

f. Coeficiente por disponibilidad de agua y recursos humanos.

Dentro de la información básica se tiene que el agua está disponible en cantidades normales, además puede suponerse que se dará asistencia técnica. Por otra parte, en términos generales la experiencia de riego de los agricultores en casi cualquier zona del país es prácticamente nula, en cuyo caso,

de acuerdo al cuadro N° 7, el factor de ajuste a la eficiencia sería 0.9; sin embargo, es posible estimar que cuando se desarrolle plenamente el sistema de riego, es decir, cuando la demanda de agua sea máxima, los productores habrán alcanzado una mediana experiencia de riego y por lo tanto, el coeficiente de corrección será igual a la unidad.

De esta manera, de acuerdo a la fórmula N° (5) la eficiencia de aplicación será:

$$Ea = 1 \frac{60 + 56 + 60 + 55 + 58}{5} = 57.8\%$$

Al seguir un procedimiento de análisis para la caña y las cucurbitáceas se obtiene los valores que se reportan en el siguiente cuadro N° 9.

Cultivo	Método de riego	Eficiencia de aplicación según					Ea
		m.	l	s	q	t	
Tomate	S. con tapas	60	56	60	55	58	57.8
Cucurbitáceas	S. con tapas	60	56	60	55	58	57.8
Caña	S. clásicos	57	49	64	59	45	54.8
Media							55.8

Al tomar en cuenta que la caña cubrirá el 70% del área la media ponderada resulta 55.8%, la cual, para fines prácticos puede estimarse igual a 56%.

5.3 Eficiencias de Conducción y de Distribución.

a. Estimación de las variables.

Para la eficiencia de conducción se requiere disponer ó estimar la siguiente información básica:

Textura

Area del Sistema de Riego

Area de la parcela (y/o de la unidad de rotación)

Tipos de entrega

Tiempo de entrega durante el ciclo

Entre tales variables las únicas con información disponible son la textura del suelo, franco arcillosa, y el área de los cultivos, que da un total de 1000 Ha.

Para estimar los otros factores pueden hacerse las siguientes consideraciones:

i. Area de Parcela:

Indudablemente, en caso de sistemas no contruídos ni proyectados la superficie de la parcela resulta una de las variables más arriesgadas de estimar. Sin embargo, los cultivos a producir permiten dar ciertas luces sobre el particular; en efecto las explotaciones de caña frecuentemente son superiores a 40 Ha., y en muchos casos hasta de 200. En cuanto al tomate y a las cucurbitáceas, como hortalizas que son, sus unidades resultan predomi-

nantemente pequeñas aunque puedan alcanzar superficies hasta de 30 Ha.

Al tomar en cuenta la tendencia actual de que las unidades de producción sean grandes a fin de trabajarlas en cooperativa, podría estimarse para este caso particular que cada una de ellas contendrá los tres cultivos en porcentajes similares a los establecidos para todo el sistema de riego. Así pues, las unidades podrían quedar conformadas por 45 Ha. de caña, 10 de tomate y 10 de cucurbitáceas, en cuyo caso cada una tendría un área total cultivable de 65 Ha. Puede igualmente estimarse que la entrega se hará para los tres cultivos a través de una sola toma por parcela.

ii. Tipo de Entrega:

En vista de que los cultivos en consideración no requieren suministro continuo y dado que normalmente en el país el sistema de entrega es por turnos, se considera tal tipo de dotación como la más probable.

Para las siembras seleccionadas en este ejemplo pueden estimarse dos tiempos de entrega diferentes; en caña de azúcar se usan generalmente 12 horas y en tomate y en cucurbitáceas es más frecuente regar

en sólo durante la jornada de 8 horas; al considerar un tiempo de suministro medio de 10 horas, a razón de 6 días por semana se obtiene un tiempo de entrega medio mensual de alrededor de 260 horas.

b. Cálculo de las Eficiencias.

i. Eficiencia de Distribución en la parcela:

Dadas una superficie de parcelas de 65 Ha. y un suelo franco arcilloso, según el gráfico N° 1 la eficiencia de distribución en la parcela será igual a 86%. De acuerdo al tiempo de entrega de 260 horas y según el gráfico N° 2 $E_b = 88\%$. La media será por lo tanto,

$$E_b = 87\%$$

ii. Eficiencia de Conducción en el sistema:

Para un sistema de 1000 Ha., de acuerdo al gráfico N° 3, la eficiencia de conducción da igual a 80%. Para unidades de rotación de 65 Ha. el gráfico N° 4, muestra que la eficiencia de conducción esperada es de 83%.

Consecuentemente la media resultante es: $E_c = 81\%$.

5.4 Eficiencia Global de Riego:

Al multiplicar entre sí, de acuerdo a la fórmula (3), las eficiencias

de aplicación, distribución y conducción se obtiene una eficiencia global de riego igual a:

$$E_g = .56 \times .87 \times .81 = .395 = 39.5\%$$

REFERENCIAS

1. Avellán, Francisco. Metodología para el Cálculo de Evaporación en Venezuela. Dirección de Planificación de los Recursos Hidráulicos, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. (No Publicado)
2. Bos, M. G. y Nugteren, J. Las Eficiencias de Riego. Publicación N° 19 , International Institute for Land Reclamation, Wageningen/ ICID. 1974. Versión española y resumida por J.A. Ortíz Urrutía. Madrid, Noviembre 1974.
3. Cannell, Glen H. Irrigation Efficiency as it Influences Water Requeriments of Crops. In: Water Requeriment of Crops. ASAE Sp. Publicación 1621. 1962.
4. COPLANARH. La Agricultura Deseable. Una Prospección del Año 2000. Caracas Diciembre 1970.
5. COPLANARH. Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos. Ministerio de Obras Públicas. Tomo. 1. Caracas, Noviembre 1972.
6. Israelsen, O.W. Irrigation Principles and Practices. Ed. John Wiley and Sons Inc. New York. 1955.
7. Jensen, Mervin, Swarner Lawrence R. y Phelan John T. Improving Irrigation Efficiencies. En: Irrigation of Agricultural Lands. Ed. R. Hagan. Madison Wiscosin A.S.A. 1967.
8. Keller, J. Mc. Culloch A.W. et al. Ames Irrigation Handbook. 2º Ed. W.R. Ames Co., Milpitas, California. 1962.
9. Keller, J. Effects of Irrigation Method on Water Conservation. J. of Irr.

- and Drain. Div. ASCE. 1965. 91: 61-72. Versión española: Influencia del Método de Riego en la Conservación del Agua. Documento N° 38. CIDIAT. Mérida 1968.
10. Méjico. Definiciones Relativas a Diversos Conceptos sobre la Eficiencia de Uso de Agua. Memo. Tec. N° 333. 1974.
 11. Palacios Velez, Enrique. Evaluación de las Pérdidas por Filtración en Canales de Tierra. Secretaría de los Recursos Hidráulicos en Mexico. Mem. Tec. N° 298. 1971.
 12. Palacios Velez, Enrique. Manual de Operación de los Distritos de Riego de Mexico. Univ. de Chapingo, Escuela Nacional de Agricultura. Mexico 1971.
 13. Palacios Velez, Enrique. Técnicas para la Evaluación y Mejoramiento de la Operación de los Distritos de Riego. Tesis de M.S. Univ. de Chapingo. Escuela de Posgraduados. Mexico, 1972.
 14. Phelan, John. Research Progress and Future Needs in Farm Use of Irrigation Water. En: Research on Water N° 4. Ed. Soil Sc. S. of America. Traducido por: Romero Chaves, J. y De La Loma, José L. Progreso de la Investigación sobre las Necesidades Futuras de Agua de Riego con Fines Agrícolas. S.R.H. Mexico, 1965.
 15. Poíree, M. y Ollier, Ch. Irrigation, Les Resaux d'Irrigation. Theorie Thechnique et Economie des Arrosages. Ed. Eyrolles, Paris. 1968.
 16. Williams, D.A. Water Requerimet and Irrigation Frequency (Mimeo) Regional Water Conservation. Portland, Oregon. 1947.

17. Worstell, Robert V. Estimating Seepage Losses from Canal Systems J. of Irri. and Drain. Div. ASCE Vol.102. N° 1R1 Marzo 1976.

ANEXOS.

CUADRO A-1

EFICIENCIAS MEDIAS DE RIEGO EN EXPLOTACION, PARA METODOS
DE RIEGO DE SUPERFICIE.

CONDICIONES LOCALES	MELGAS %	Surcos ó corruga- ciones %	Inundación con acequias niveladas de control %	P. O Z A S %
1. Suelos Arenosos				
a) Buena a óptima nivelación	60	40-50	45	70
b) Nivelación insuficiente	40-50	35	30	-
c) Ondulado o pendiente	-	20-30	20	-
2. Profundos de Textura Media				
a) Buena a óptima nivelación	70-75	65	55	70
b) Nivelación insuficiente	50-60	55	45	-
c) Ondulado o pendiente	-	35	35	-
3. Someros, de Textura Media				
a) Buena a óptima nivelación	65	50	45	60
b) Nivelación insuficiente	40-50	35	35	-
c) Ondulado o pendiente	-	30	30	-
4. Suelos Pesados				
a) Buena a óptima nivelación	60	65	50	60
b) Nivelación insuficiente	40-50	55	45	-
c) Ondulado o pendiente	-	35-45	30	-

Fuente: Keller.

CUADRO N° A 2

EFICIENCIAS MEDIAS DE RIEGO EN EXPLOTACION, PARA SISTEMAS DE RIEGO
POR ASPERSION ADECUADAMENTE PROYECTADOS.

Profundidad de Agua por Riego (pulgadas)	Velocidad media del viento millas/hora.	Porcentaje de Eficiencias de Riego de Explotación, en función de los Coeficientes de "Consumo Punta".		
		0.20 pulg./día o menos	0.20 - 0.30 pulg./día	0.3 pulg./día ó más.
1	0-4	69	65	62
2		70	68	65
4		75	70	68
6		80	75	70
1	4-10	65	62	60
2		68	65	62
4		70	68	65
6		75	70	68
1	10-15	62	60	58
2		65	62	60
4		68	65	62
6		70	68	65

Fuente: Keller.

CUADRO N° A - 3

FACTORES EMPIRICOS A EMPLEAR EN LA ECUACION DE KOSTYAKOV,
PARA ESTIMAR PERDIDAS POR PERCOLACION EN CANALES.

Tipo de Suelo	A	B
Muy permeable	3.4	0.5
Medio	1.9	0.4
Poco permeable	0.7	0.3

CUADRO N° A - 4

PERDIDAS POR PERCOLACION PROFUNDA DE ACUERDO AL PERIMETRO
MOJADO DEL CANAL Y TEXTURA DEL SUELO.

SUELO	PERDIDAS EN:	
	$m^3 / m^2 / dia$	% de Q conducido/Km
Arcilloso	.09	.07
Franco Arcilloso	.18	.14
Arcilloso Arenoso	.20 - .40	.15 - .31
Arenoso	.50	.38
Grava - arena	.75	.58
Grava	1.00 - 1.80	.77 - 1.39

Fuente: Poiree et Ollier.

CUADRO N° A - 5

PERDIDAS MEDIAS POR PERCOLACION PROFUNDA EN CANALES DE
DIFERENTES TIPOS DE MATERIAL DE PISO.

MATERIAL	PERDIDAS m/día
Grava	0.5 - 0.2
Arena	0.45 - 0.60
Franco	0.31
Limo	0.27
Franco Arcilloso	0.15 - 0.20
Arcillas	0.10
Gravas c/sellador Químico	0.55
Gravas c/membranas de Asfalto	0.45
Promedios de no revestidos	0.30
Sellados por sedimentos	0.25
Tierra compactada	0.17
Suelo - Cemento	0.08
Concreto	0.07

Fuente: Versión propia, modificada de datos reportados por Worstell.

CUADRO N° A 6

VALORES MEDIOS Y RANGO DE VARIACION DE AGUA UTIL PARA
DIFERENTES TIPOS DE SUELOS.

TIPO DE SUELO	AGUA UTIL EN cm/m	
	Rango	Promedio
Arenas muy gruesas	3.3 - 6.3	4.0
— Arenas de textura gruesa, arenas finas y suelos areno francosos	6.0 -8.5	7.0
— Suelos franco arenosos medianamente gruesos y suelos franco arenosos finos	8.5 -12.5	10.5
— Suelos franco arenosos muy finos, suelos francos, suelos franco arcillo arenosos y suelos franco limosos	12.5-19.0	16.0
— Suelos franco arcillosos medianamente finos y suelos franco arcillo limosos	14.5-21.0	17.5
— Arcillas arenosas finas, arcillas limosas y arcillas	13.5-21.0	17.0

VARIACIONES DE EFICIENCIAS DE RIEGO EN PARCELA
CON RELACION A LA PROFUNDIDAD DE AGUA
ALMACENADA EN EL SUELO Y UTILIZABLE POR EL CULTIVO

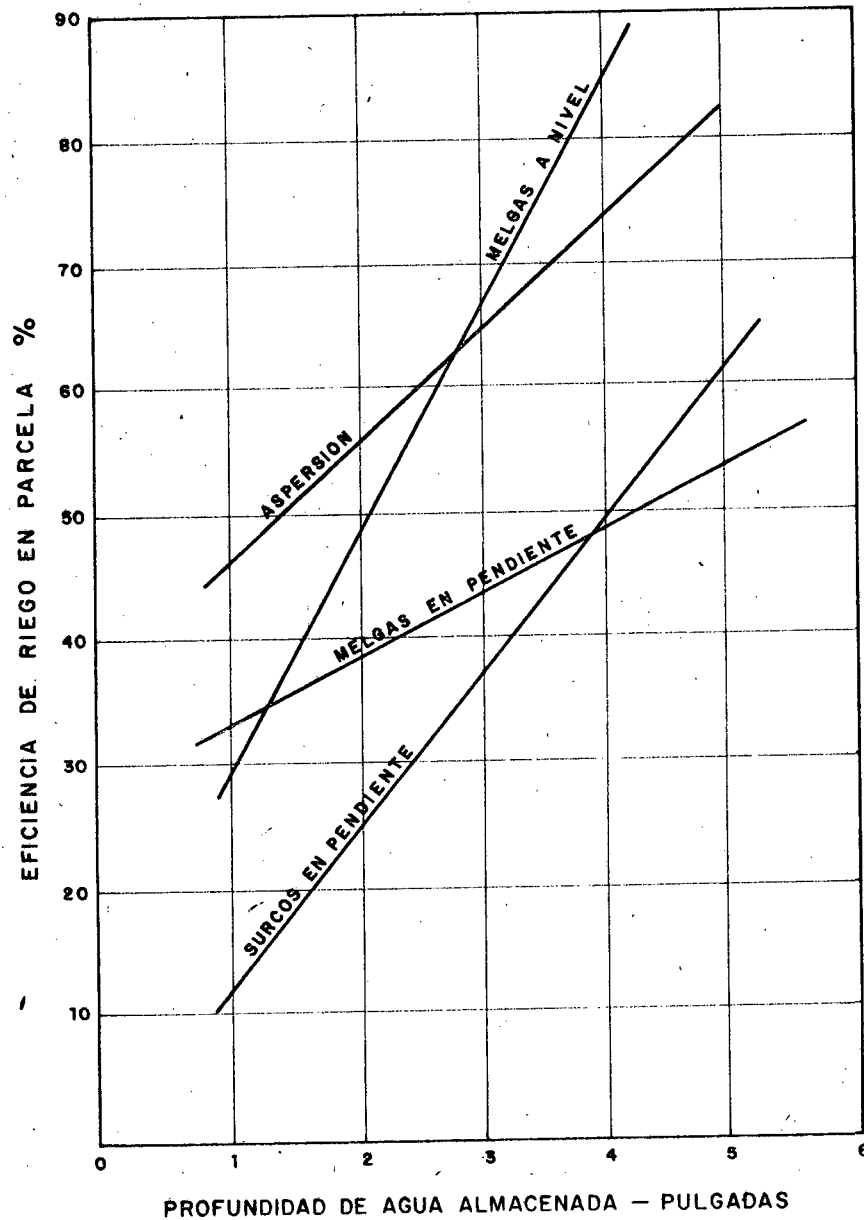


GRAFICO A-1

FUENTE :
Keller.

CAUDAL INFILTRADO EN LPS./Km. DE DIFERENTES PERIMETROS MOJADOS Y TASAS DE INFILTRACION

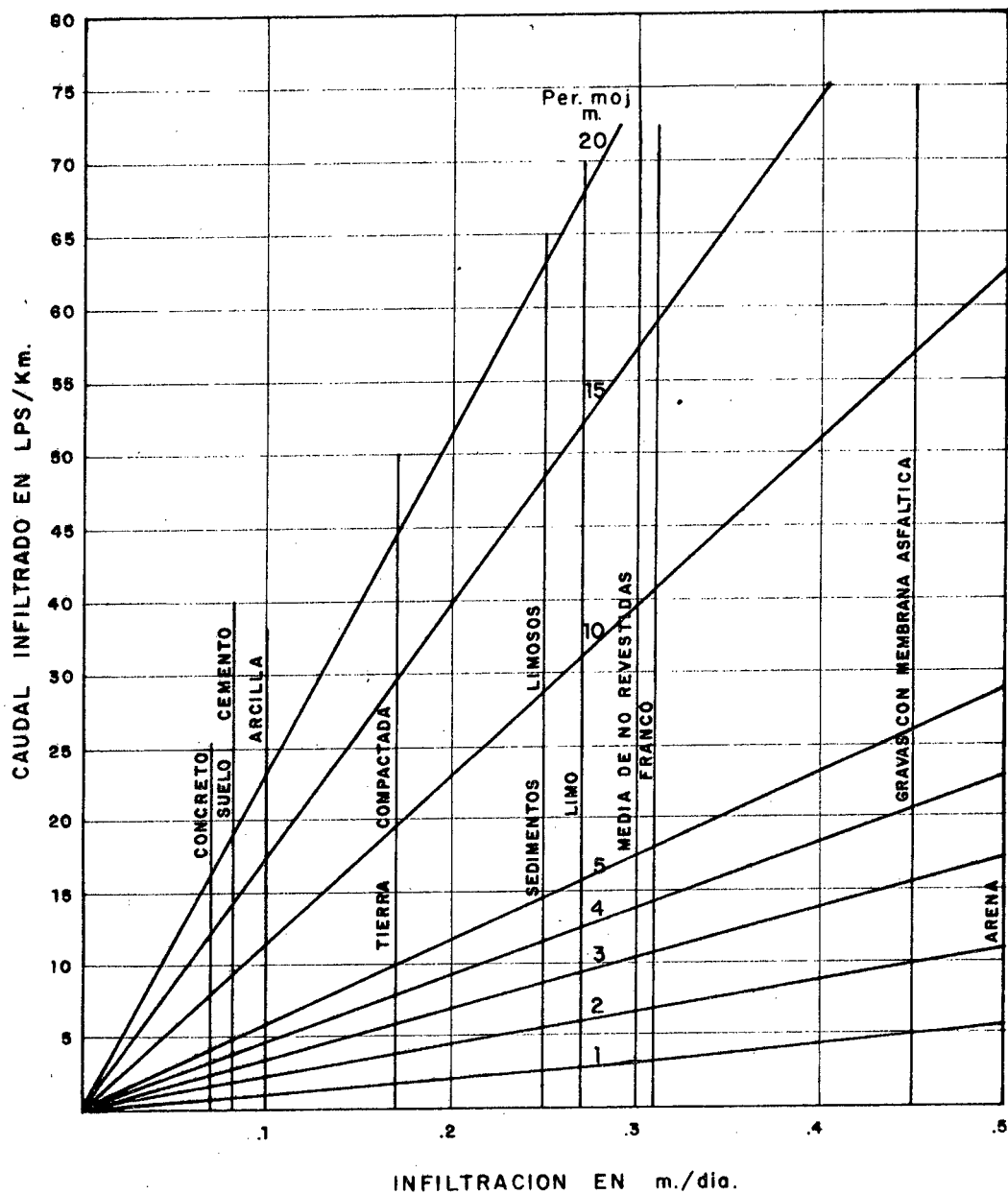


GRAFICO A-2

FUENTE:
Propia Adaptada de Worstell

IMPRESO EN EL DEPARTAMENTO
DE
REPRODUCCION GRAFICA
DE LA
DIRECCION GENERAL SECTORIAL
DE
PLANIFICACION Y ORDENACION

MINISTERIO DEL AMBIENTE
Y LOS
RECURSOS NATURALES RENOVABLES
CARACAS - VENEZUELA

