

# ANOTACIONES SOBRE COEFICIENTES DE RIEGO Y SU APLICACION A LA REPUBLICA MEXICANA

POR EL ING. JUAN B. FIERRO

DE LA DIRECCION DE AGROLOGIA DE LA COMISION NACIONAL DE IRRIGACION

CONFERENCIA SUSTENTADA EN LOS CURSOS DE  
CAPACITACION DEL DEPARTAMENTO AGRARIO.

Conforme a los conocimientos técnicos y prácticos que hasta la fecha se tienen en el mundo, no es posible formular un estudio definitivo y concluyente sobre el tema **COEFICIENTES DE RIEGO** y si esto no es posible hacerlo en forma abstracta o general, mucho más difícil es hablar de él relacionado a las condiciones de la República Mexicana; pues a este respecto no se tienen ni siquiera determinaciones prácticas en nuestras zonas de riego en desarrollo o formación; por lo tanto, creo justificada la denominación que doy al presente trabajo.

## IRRIGACION Y SUS FORMAS

Se entiende por irrigación la aplicación artificial del agua a los suelos para satisfacer las necesidades de las plantas en este elemento.

La irrigación se denomina **permanente** si el agua se aplica a las plantas o a los cultivos para todo su desarrollo o ciclo vegetativo.

**Irrigación de aniego.**—Si los cultivos **aprovechan el agua que el suelo almacena** después de que se le aplica en cantidades fuertes, en una o hasta dos ocasiones.

**Irrigación de auxilio.**—Si los riegos sólo suplen la deficiencia de la lluvia en cualquier etapa del desarrollo del cultivo.

**Irrigación mixta.**—Si el cultivo se inicia con riego de aniego y, posteriormente se dan riegos corrientes suplementarios (casos de algunas áreas de la Región Lagunera).

Cualquier planta o cultivo requiere que el suelo tenga cierta cantidad de agua para su desarrollo. Esta cantidad varía considerablemente desde un mínimo absoluto, que sólo permite la vida de la planta, hasta un máximo absoluto que humedezca el suelo a tal grado que las plantas mueran por asfixia.

De aquí, entonces, el término coeficiente de riego, que significa una cantidad dada de agua agregada al suelo, expresada en lámina, volumen o gasto continuo por hectárea, suficiente o adecuada para lograr la maduración de un cultivo bajo las condiciones locales en que se encuentre.

Por lo tanto, el coeficiente será variable para cada cultivo y para cada distrito o zona de riego; esta variación será el resultado de diversos factores que determinan la necesidad del agua para las plantas o el buen manejo de la misma.

En seguida me referiré a algunas condiciones locales determinantes de la variabilidad del coeficiente de riego.

La forma o tipo de irrigación que se haga necesaria o se implante en diferentes áreas de cultivo, serán motivo grande de variación del coeficiente de riego.

La división de cultivos por la temperatura local será causa de variación del coeficiente de riego en un Distrito; pues los cultivos propios de la estación caliente pueden consumir hasta el doble o triple de las demandas propias del invierno; y es aquí donde debe intervenir el ingeniero para determinar la forma en

que debe usarse el agua, a fin de obtener los mejores resultados económicos. En ese caso la solución tendrá que basarse en la distribución de las superficies de riego de acuerdo con los volúmenes existentes y la economía de la región. A este respecto podemos citar el caso del Distrito de Arroyo Zarco, Edo. de México, en donde el uso del agua de riego para los cultivos de maíz y trigo es antieconómico, fundamentalmente por el corto período libre de heladas; y si esa agua se destinara a la explotación de praderas y producción de forrajes, la superficie beneficiada se aumentaría considerablemente y los resultados económicos serían mucho mayores; pues la zona es más propia para el desarrollo de la ganadería que de la agricultura.

Además de los factores anteriores, que considero generales, en un Distrito de Riego dado, el coeficiente de riego varía de acuerdo con los siguientes factores, agrupados según su importancia:

1. La pericia del agricultor, que se revela no sólo en la aplicación del agua durante cada riego, sino también en el proceso que siga en todas las operaciones propias del cultivo.

2. Las especies y cultivos de que se trate.

3. El carácter del suelo; en el cual debe considerarse no sólo sus constituyentes geológicos, sino el desarrollo físico del perfil del suelo, revelado en su textura, su estructura, y demás factores que puedan afectar su permeabilidad y poder retentivo para el agua.

4. La lluvia, la temperatura, los vientos y otras características del clima durante el período vegetativo del cultivo.

En cuanto a la pericia del agricultor, deberá tenerse presente que un agricultor que disfruta de una cantidad ilimitada de agua, usará siempre, por lo menos, el doble de la cantidad que realmente necesita para producir sus cosechas.

En la República Mexicana puede asegurarse que el factor agricultor es el más importante en la variación del coeficiente de riego en un Distrito, ya que la reforma

agraria realizada aumentó considerablemente el número de usuarios o responsables del manejo del agua y del suelo, y en un porcentaje muy alto este usuario se encuentra en la etapa de aprendizaje, en cuanto al manejo del agua y prácticas agrícolas.

Como principio general puede establecerse que existe una cantidad mínima de agua que madura una cosecha en condiciones óptimas. Esta cantidad varía de un año a otro, según las indicaciones hechas; pero cualquier aplicación de agua innecesaria es perjudicial, y el resultado final de los riegos excesivos es la pérdida permanente de la fertilidad del suelo y, en ocasiones, la del suelo mismo.

Un agricultor práctico y acostumbrado a regar, principalmente en regiones donde no puede obtener más tierra, levantará una buena cosecha con mucho menos agua que un agricultor no competente; pero para ello tendrá que trabajar mucho más. El cultivo propio del suelo durante el desarrollo de las cosechas, el empleo de abonos, las escardas, los arropes, la cubierta de las plantas, etc., disminuye la cantidad de agua necesaria.

Cultivos diversos requieren coeficientes diferentes, puesto que la superficie del follaje de la planta es variable con la familia o género a que pertenezca, y también lo es su relación de transpiración y el área de absorción de sus raíces, además de factores botánicos y biológicos, que modifican sus necesidades de agua.

**Carácter del suelo.** — Las economías que se pretenden hacer como consecuencia de la disminución del coeficiente de riego, se basan principalmente en el carácter del suelo, ya que es éste un factor que puede conocerse con la debida anticipación y sobre el cual puede existir un control humano adecuado.

Un suelo arenoso y suelto consume mucha más agua que una arcilla pesada; en estas texturas se han observado consumos triples para el trigo en la arena que en la arcilla, después de numerosas observaciones efectuadas en diferentes partes de Inglaterra.

**Número y agrupamiento de las partículas del suelo.**—El número y agrupamiento de las partículas del suelo y los espacios vacíos entre ellas juegan un papel muy importante en la Agricultura puesto que de ello depende la aereación del suelo, la relación de percolación y acción capilar y, finalmente, el abastecimiento del agua útil y el alimento de las plantas.

Un suelo puede estar formado por sólo partículas de 1 mm. de diámetro, en cuyo caso, un centímetro cúbico de suelo contendría 1,000 partículas y una superficie de: 3.1416 mm<sup>2</sup> por partícula, o 32 cm<sup>2</sup> de superficie total; sería el caso de una arena gruesa aproximadamente.

Si ahora suponemos que las partículas sean de 0.0001 mm. de diámetro, o partículas coloidales, entonces en un centímetro cúbico tendríamos aproximadamente 1,000.000.000.000,000 y una superficie total de 31.41 m<sup>2</sup>.

Los suelos están formados por partículas de todos los tamaños y en un suelo agrícola medio el área total de las partículas en un centímetro cúbico, es de 232 centímetros cuadrados.

Las partículas de un suelo medio son de todos tamaños y formas y se mezclan unas con otras en cualquier forma que se suponga. En las arcillas y migajones arcillosos que contienen coloides minerales, y en los migajones limosos que contienen coloides orgánicos, las partículas se unen en grupos y costras por la débil acción cementante de los coloides del suelo; que son las partículas más finas, de origen mineral u orgánico, que ofrecen una condición o estado gelatinoso cuando se humedecen.

Los espacios entre los grupos de mayor tamaño se llenan con grupos más pequeños y los que éstos dejan, a su vez se llenan por grupos más pequeños, y así sucesivamente.

**Porosidad.**—Entre las partículas del suelo se encuentran espacios de aire o poros irregulares en forma y tamaño, como las partículas mismas. Los poros individuales en los suelos de grano grueso son más grandes que en los de grano

fino; pero el espacio total de los poros o porosidad por unidad de volumen es mayor en los últimos. Además, mientras más irregulares sean las formas de las partículas de suelo, la porosidad es mayor. La cantidad de materia orgánica en el suelo afecta su porosidad, a mayor cantidad de ésta la porosidad es más grande; y esto se explica porque la acción de las bacterias del suelo sobre la materia orgánica da lugar a la formación de coloides, los cuales, por su poder cementante, producen una granulación en las partículas del suelo.

La porosidad de los suelos agrícolas varía de un 30%, en las arenas, a 55%, o más, para las arcillas. Los suelos de porosidad media se adaptan mejor a la mayoría de los cultivos. Los que tienen poros muy grandes ofrecen una percolación, aereación y evaporación rápidas; y son más fácilmente arrastrados por el viento. Mientras que con espacios o poros pequeños, como las arcillas, la percolación y aereación es pobre.

## DIVERSAS FORMAS DE EXPRESAR EL COEFICIENTE DE RIEGO

La cantidad de agua que representa el coeficiente de riego puede expresarse en forma semejante a la lluvia, o un espesor de agua sobre la superficie cubierta por un cultivo.

Considerando un área de A metros cuadrados ocupada por una cosecha y un volumen de V metros cúbicos, como la cantidad total de agua aplicada para lograr su maduración, la cantidad de agua empleada puede representarse por la expresión  $I = \frac{V}{A}$ ; representando I la "lámina" de agua empleada.

La definición precisa del período durante el cual se aplica el volumen V es variable, con circunstancias locales: temperatura, precipitación, suelos, etc. Como una regla, el volumen V incluye toda el agua de riego que se usa durante el período que comprende desde la primera preparación del suelo para su cultivo, hasta la recolección de la cosecha. El

agua usada para preparar la tierra, barbechos y surqueos antes de la siembra, queda incluida en el volumen V.

Según el tiempo que se considere para la aplicación del volumen V, se tendrán coeficientes parciales y totales. Así podrá hablarse de coeficiente de riego de preparación y coeficiente de riego para el primero, segundo, tercer, etc., riego; y un coeficiente total que abarca el ciclo vegetativo del cultivo y la preparación del terreno, si se hace necesario un riego antes de la siembra o plantación.

**Expresado como gasto continuo y volumen.**—Si una corriente de 28 lts./sg. durante el período de octubre a abril satisface la demanda de 75 ha. de un cultivo dado, el coeficiente de riego sería de  $28/75 = 0.368$  lts./sg./ha. (litros por segundo por hectárea). Si del ejemplo anterior queremos expresar el coeficiente de riego en forma de lámina de agua, entonces se requiere conocer el período de octubre a abril en segundos, en que el gasto continuo se hace necesario a fin de obtener un volumen V, que se divide por el área de cultivo satisfecha.

**Ejemplo.**—Si en gasto continuo el coeficiente de riego para el maíz es de 0.4 lts./sg./ha., y el ciclo del cultivo abarca del 15 de febrero al 30 de junio, 135 días; y como cada día tiene 86,400 segundos, se tendría un volumen aplicado de:  $135 \times 86,400 \times 0.4 = 4.665,600$  litros por hectárea, por lo que la expresión V/A dará:

$$\frac{4\,665.600\ M^2}{10\,000\ M^2} = 0.47\ \text{cms.}$$

de lámina por hectárea. Insistimos en que este coeficiente puede ser que llene sólo condiciones locales de suelo, temperatura, precipitación y variedad de maíz cultivado.

El coeficiente de riego puede no referirse a un solo cultivo, sino representar un valor medio para una superficie dada, dejando satisfechas las necesidades de los cultivos que se hacen en la misma. Así, por ejemplo, podríamos decir que en el Distrito de Riego del Bajo Río Bravo

se regó durante los meses de marzo, abril y mayo, una superficie de 15,000 ha. ocupadas con algodón y maíz; y que, de acuerdo con las descargas de los canales de riego, se utilizaron los siguientes volúmenes totales: marzo, 22,500,000; abril, 18,000,000; mayo, 15,000,000 de metros cúbicos, o sean 55,500,000, lo que viene a dar un coeficiente medio de:

$$\frac{55\,500\,000}{15\,000} = 0.37\ \text{m./Ha.}$$

Si consideramos que el período de riego fué de 90 días o  $90 \times 86,400 = 7,776,000$  sgs., el gasto continuo fué de

$$\frac{55\,500\,000}{7\,776\,000} = 7.15\ \text{M}^3/\text{sg.}$$

para el Sistema de Riego; y el coeficiente, puesto que se regaron 15,000 hectáreas, fué de

$$\frac{7.15\ \text{M}^3/\text{seg.}}{15\,000\ \text{Has.}} = 0.000477 = 0.48$$

litros por segundo por hectárea, y en volumen, puesto que la lámina fué de 0.37 m., serían  $3,700\ \text{m}^3/\text{ha.}$

Según que la medida o aforo del agua se haga a la entrada del área cultivada o a la salida del vaso de almacenamiento, corriente derivada, etc., tendremos un coeficiente neto o un coeficiente bruto, que son las dos formas principales que se emplean; claro que dicho coeficiente puede obtenerse para cualquier otra parte del Sistema de Riego, y en todo caso se haría necesario especificar las condiciones en que éste se estima o considera. Estas diferentes estimaciones son de interés para el ingeniero que construye los canales principales, secundarios, obras de toma, etc., puesto que le permiten estimar, por tramos, la capacidad necesaria de las obras del Sistema de Riego y calcular las secciones, pendientes adecuadas, etcétera.

## DIFERENTES FORMAS EN QUE SE ENCUENTRA EL AGUA EN LOS SUELOS.

Al mencionar los factores que afectan el coeficiente de riego hablamos del "carácter del suelo" e hicimos ver que es controlable la relación de él al poder retentivo para el agua; o bien, que una vez conocido el carácter particular de un suelo y su comportamiento al agua, es

posible controlar ésta, de acuerdo con las necesidades de las plantas, a fin de obtener una economía muy considerable en los volúmenes usados, y grados óptimos de humedad en el suelo con relación a las cosechas.

Es el factor suelo el que más se ha estudiado para obtener los coeficientes de riego más reducidos y eficientes; a continuación me referiré a algunos de los datos que se consideran básicos para estimar el coeficiente de riego a través de la planta y el suelo, sin considerar el factor humano, por el cual puede fallar, principalmente, el cálculo del coeficiente de riego que se determine.

**Humedad higroscópica.**—La humedad higroscópica, o agua higroscópica es la que se condensa alrededor de las partículas del suelo cuando ha sido secado a 100° C. y se expone al aire.

La cantidad de humedad expresada en por ciento de peso de tierra seca que un suelo absorbe de una atmósfera saturada y a una temperatura dada, se llama coeficiente higroscópico.

Este coeficiente varía de 2%, en las arenas finas, a 12-15%, en las arcillas ricas en materia orgánica. Para arenas y migajón limoso es de 10%, aproximadamente. Esta humedad se presenta en forma de película de agua que adquiere un espesor sumamente pequeño, y así, en suelos de gravedad específica media, un coeficiente de 2% será una película de 0.0000508 mm., y con coeficiente de 10% será de 0.000254 mm.

La película que forma la humedad higroscópica se mantiene unida a las partículas del suelo bajo una fuerza adhesiva equivalente a 20,000 atmósferas, con lo cual se hace inaprovechable por las plantas; ni siquiera se mueve de una partícula a otra.

**Agua capilar.**—Si a un suelo que tenga saturada su capacidad higroscópica, le agregamos una pequeña cantidad de agua, el espesor de la película de agua que rodea cada partícula de suelo crece, y si las partículas se ponen en contacto la película se hace continua entre las partículas, o bien, se tiene entonces una

película alrededor de cada partícula y una cintura entre ellas. El agua puede ya moverse de una partícula a otra, aunque en forma muy lenta. El exceso de agua agregado puede ser usado por las raíces de las plantas; pero su cantidad es insuficiente para satisfacer sus necesidades.

La humedad higroscópica de un suelo debe aumentarse aproximadamente en un 50%, para estar seguro que existe la humedad suficiente y afirmar que la planta no se marchita ni se seca.

**Coeficiente de marchitamiento.**—Si la humedad capilar es bastante, las plantas pueden obtener el agua sin dificultad y con una rapidez suficiente para satisfacer la transpiración. Después de un riego o una lluvia, la humedad del suelo se va reduciendo gradualmente y la entrada del agua a la planta se va haciendo más y más lenta. Durante cierto tiempo la planta se puede adaptar a un abastecimiento reducido; pero finalmente éste puede llegar a ser tan bajo que, según la naturaleza de la planta, pueden ocurrir cualesquiera de los dos casos siguientes: o bien, la planta queda en un estado latente, o bien se marchita. Si el marchitamiento se hace permanente la planta muere. El por ciento de agua presente en el suelo cuando se presenta el marchitamiento temporal, o a ciertas horas del día, se llama coeficiente de marchitamiento, y es el valor que se considera al calcular el agua que debe agregarse al suelo para elevar su contenido de humedad a su capacidad máxima de retención. Es conveniente aclarar que aun después de que el marchitamiento permanente ha ocurrido, el agua sigue moviéndose dentro de la planta, pero demasiado lentamente para asegurar su subsistencia.

El por ciento de marchitamiento se considera igual para todas las plantas en una textura dada de suelo; o bien, se supone que varía con la textura del suelo y no con la especie de las plantas, ni con su estado de desarrollo, pues se supone igual para una planta tierna que para la planta en estado adulto.

El contenido de agua en un suelo entre el coeficiente higroscópico y el de marchitamiento, se denomina a veces agua capilar interior, para distinguirla del agua capilar exterior.

El agua capilar interior es detenida por el material coloidal del suelo. La fuerza de atracción entre las partículas del suelo y el agua en el punto de marchitamiento, es igual a la fuerza de succión de las raíces, aproximadamente, de unas 20 atmósferas.

Si a un suelo en el punto de marchitamiento se le agrega agua, aumenta el espesor de la película que rodea las partículas de suelo y una parte de los espacios vacíos entre éstas se llena de agua. Esta es la llamada agua capilar exterior, de la cual depende la vida de las plantas y que controlan sus raíces por tensión superficial. El movimiento capilar tiene lugar en cualquier dirección, aunque sea más rápido hacia abajo que hacia arriba.

La atracción capilar depende de la curvatura que ofrezca la película de agua; si la curvatura es más grande o más corto el radio de curvatura, la atracción es mayor. Si la curvatura de las películas de agua en todas las partículas es igual, el agua se mantendrá en equilibrio o sin movimiento. Mientras mayores sean las diferencias entre las curvaturas de las películas de las partículas adyacentes, es más rápido el movimiento capilar. Mientras menor sea la cantidad de agua capilar en el suelo, las películas son más delgadas, las curvaturas más grandes y más fuerte la atracción capilar.

A medida que se va agregando más y más agua, arriba del coeficiente de marchitamiento, las películas son más gruesas, menores sus curvaturas y menor su atracción capilar.

Cuando se llega al punto en que la atracción capilar es igualada por la atracción de la gravedad, o bien al estado de capacidad capilar máxima, se está también en la capacidad máxima de retención. La humedad del suelo en este punto se expresa como porcentaje de peso del suelo seco. Si se agrega más agua se deslizará sobre las películas de agua y escu-

rrirá por las líneas de menor resistencia por la acción de la gravedad.

**Capacidad de campo.**—En lo anterior se ha supuesto que el agua se adhiere a las partículas de suelo en forma simultánea, pero este no es el proceso natural.

El agua de lluvia o de riego que se sumerge en el suelo no pasa de una capa de suelo a la inferior, hasta que todas las partículas de suelo de la capa superior quedan abastecidas con la cantidad máxima de retención.

El agua capilar o pelicular, es la que las plantas usan para su vida y desarrollo y aunque la cantidad de agua necesaria varía considerablemente para diferentes plantas, parece que una planta prospera en igualdad de condiciones si la humedad se encuentra abajo de la capacidad de campo o algo arriba del coeficiente de marchitamiento; **en ello puede basarse la economía de agua para evitar todo escurrimiento de agua de gravedad, en algunos casos en que ésta sea sumamente perjudicial.**

**Agua de gravedad.**—El agua del suelo arriba del punto de la capacidad capilar máxima o del punto de saturación, se llama agua de gravedad o agua libre. Esta es el agua perjudicial a las plantas y la que se saca del suelo por el drenaje. El porcentaje del agua de gravedad varía con la profundidad; el suelo superficial saturado contiene mucha más agua que el subsuelo.

**Agua equivalente.**—Es un índice artificial de la capacidad de retención de un suelo. Se expresa como un porcentaje en peso de suelo seco, y representa la cantidad de agua que el suelo retendrá cuando se le someta a una fuerza 1,000 veces superior a la gravedad. Es aproximadamente igual a la capacidad de campo. Se determina en una centrifuga especial, en la cual se colocan muestras de suelo saturado que se someten a 3,600 revoluciones por minuto, lo cual se estima equivalente a una fuerza 1,000 veces superior a la gravedad.

Las tablas siguientes expresan valores medios indispensables para el cálculo del agua de riego en diferentes texturas.

TABLA NUMERO 1

TIPOS DE SUELO	Peso de suelo agrícola seco Ks./M <sup>3</sup>	Agua equivalente	Porosidad %	Pulgadas de agua en 1 pie de suelo saturado	CAPACIDAD DE CAMPO		
					% Vol.	% Peso	Pulgadas por pie de prof.
Arena.....	1680	6	30.5	3.7	8.23	4.9	1.0
Mig. arenoso.....	1600	10	34.0	4.1	17.00	10.6	2.0
Mig. arenoso.....	1520	15	37.5	4.5	24.13	15.9	2.9
Mig. limo-arenoso.....	1440	20	41.0	4.9	30.60	21.2	3.7
Mig. limoso.....	1360	25	44.5	5.4	36.42	26.8	4.4
Mig. limoso.....	1280	30	48.0	5.8	41.60	32.7	5.0
Mig. arcilloso.....	1200	35	51.5	6.2	46.13	38.5	5.5
Arcilla.....	1120	40	55.0	6.6	50.00	44.6	6.0

Según observaciones de Briggs, Louhrige y Hilgard se formó el siguiente cuadro de los diferentes coeficientes de humedad para determinados suelos, expresados en % de peso de suelo seco.

TABLA NUMERO 2

TIPOS DE SUELO	Coefficiente higroscópico	Coefficiente marchitamiento	Capacidad capilar	Capacidad utilizable	Capacidad total
Arena gruesa.....	1.0	1.0	13	11.5	33
Arena fina.....	2.1	3.3	14	10.7	34
Mig. arenoso.....	4.7	7.0	15	8.0	35
Mig. arenoso fino.....	6.9	10.8	16	5.2	37
Mig. limoso.....	9.1	13.4	18	4.6	38
Mig. arcilloso.....	11.8	15.0	19	4.0	40
Arcilla.....	13.2	16.5	20	3.5	42

**Cálculo general del espacio vacío y saturación.**—Se considera que el peso específico real del material del suelo es de 2.65, o bien, que un metro cúbico de tierra comprimida hasta anular sus espacios vacíos, pesa 2,650 Kg. En realidad, el metro cúbico de tierra agrícola pesa de 1,120 a 1,680 Kg. Tomando entonces como peso específico absoluto el de 2,650 Kg./m<sup>3</sup>, es fácil calcular el espacio vacío de cada una de las texturas anotadas en la Tabla 1; pues la relación de la diferencia del peso específico real al aparente, multiplicada por 100 da el espacio vacío, y así, por ejemplo, de la Tabla mencionada, en la cual la arena tiene un peso de 1,680 Kg./<sup>3</sup>, su espacio vacío será de:

$$\frac{2\ 650 - 1\ 680}{2\ 650} = \frac{970}{2\ 650} = 36.6\%$$

y si esos espacios vacíos se llenaran de agua o, lo que es lo mismo, si tratásemos de saturar ese suelo, se necesitaría el 36.6% del peso de 1,680 o sean ..... 1,680 × 0.366 = 614.9 Kg. o litros de agua, con lo cual no habrá cambio de volumen en la unidad considerada.

Por este procedimiento se podrá conocer la cantidad de agua necesaria para saturar un suelo a una profundidad dada, conocida la textura de la masa del suelo por saturar. El método es sólo aproximado, porque los suelos tienden al cambio de volumen en grados diferentes, de acuerdo con su textura y grados de humedad; además de los cambios que ocurren en el subsuelo debido a la presión.

## CALCULO DEL AGUA QUE DEBE AGREGARSE A UN SUELO, EN RELACION CON EL DESARROLLO DE LAS PLANTAS O LOS CULTIVOS.

Un suelo irrigado puede compararse a un recipiente y como tal, tiene límites de capacidad definidos.

El agua que interesa al agricultor es la de la capa superficial, con profundidad de 1.20 a 3.00 m., según la clase de cultivo; esa capa sirve como un recipiente que va almacenando el agua de los riegos.

En un suelo saturado, las raíces se verían en dificultad para su funcionamiento, pudiendo llegar a morir las que queden en el nivel de sobresaturación. Las raíces, por defensa propia, no penetran en un suelo sobresaturado.

Se definió como agua aprovechable la que excede al punto de marchitamiento, que también podía llamarse agua en reserva aprovechable o disponible. El límite superior de almacenamiento de un suelo o capacidad máxima de retención queda bastante abajo del punto de saturación.

El método de cálculo que vamos a describir representa una gran economía de agua porque supone que el grado óptimo de humedad en los suelos, debe estar relacionado con el desarrollo de las raíces, desde el punto de vista de la profundidad de éstas; o bien, que la profundidad de suelo humedecido al grado adecuado, debe ser igual a la zona de alimentación de las raíces de la planta o cultivo, durante el riego.

Por lo anterior se verá que el cálculo para cada riego tiene que ser aislado; y que la aplicación del método en un ciclo determinado y para las condiciones locales del área dará el coeficiente medio anual para el cultivo. Como en el caso general, dicho coeficiente podrá expresarse en cualesquiera de las formas indicadas.

La necesidad de la aplicación de un riego deberá marcarla el cultivo mismo, al mostrar signos de marchitamiento

temporal, y se debe tener presente que no es recomendable ni buena práctica, permitir que la planta consuma hasta la última gota de agua aprovechable.

Para la aplicación del método debe conocerse el perfil del suelo en el campo, o bien, tener lo que se llama el conocimiento del "tipo de suelo" de que se trata; en un Distrito de Riego en operación, lo probable es que exista el plano agrológico del mismo, que resulta muy valioso en este caso; de lo contrario, deberá estudiarse el perfil del suelo en el área limitada del cultivo.

Para ilustrar el método usamos un ejemplo:

Cultivo de trigo en un suelo cuyo perfil hasta la profundidad de 2 m. lo constituyen un migajón arcilloso con profundidad de 0 á 40 cms.; arcilla de 40 a 100 cms.; y migajón limoso en la profundidad 100 a 200 cms.: tomamos datos de la Tabla Núm. 1.

Supongamos que se hace necesario el riego de preparación para la siembra y que el terreno se encuentra completamente seco; para facilitar el barbecho se requiere humedecer el suelo por lo menos a una profundidad de 20 cms. con lo cual se asegurará también la germinación y primer desarrollo del trigo.

Como el suelo se encuentra seco necesitamos agregar la cantidad de agua que nos indica su capacidad máxima de retención. Como ésta está expresada en por ciento de peso de suelo seco, veamos primero cuánto pesa la unidad de superficie de este suelo hasta la profundidad de 20 cms.

La unidad de superficie por comodidad en las operaciones podemos suponerla de un metro cuadrado.

La Tabla Núm. 1 señala, para un caso general de la textura migajón arcilloso, un peso de campo de 1,200 Kg. por m<sup>3</sup>, o un peso específico aparente de 1.2, por lo que el peso de 1 m<sup>2</sup> de ese suelo a la profundidad de 20 cms. será:

$$1.2 \times 0.20 = 0.24 \text{ Tons.}$$

Para la capacidad máxima de retención, también llamada agua equivalente, la

misma Tabla presenta el valor 35%, por lo tanto, el agua equivalente tendrá un peso de:  $\frac{0.24 \times 35}{100} = .084 \text{ Tons.} = 84 \text{ lts.}$

o decímetros cúbicos. Como la superficie unitaria es de  $1 \text{ m}^2$  o 100 decímetros cuadrados, en lámina este riego representaría 0.84 decímetros, 8.4 cms. En este caso la fórmula se representaría como sigue: Densidad  $\times$  profundidad en m.  $\times$  agua equivalente/100 = agua necesaria en  $\text{m}^3$  si la superficie unitaria es un  $\text{m}^2$ .

Supongamos que el segundo riego, o riego de asiento, deba humedecer 40 centímetros de profundidad, previendo el desarrollo de las raíces en el período posterior al riego en que el suelo ofrezca la humedad en estado disponible. En este segundo riego el suelo tendrá como mínimo la humedad correspondiente al coeficiente de marchitamiento, y en este caso sólo será necesario agregar el agua disponible.

$$1.2 \times 0.40 = 0.48 \text{ Tons.}$$

La Tabla Núm. 2 da para esta textura el valor de 15.0% para el agua de marchitamiento, por lo que el agua disponible será de  $35 - 15 = 20\%$ , que representado en peso es de:

$$\frac{0.48 \times 20}{100} = 0.096 \text{ m}^3 = 96 \text{ lts.}$$

y lámina de 9.6 cms.

En este caso la fórmula general será: Densidad  $\times$  Prof. en m.  $\times$  agua disponible/100 = agua necesaria en  $\text{m}^3$ . Este es el caso general para un suelo que tiene cultivos establecidos.

Ahora, supongamos que el cultivo al cabo de cierto tiempo manifiesta la necesidad de un tercer riego y se observa que sus raíces alcanzan la profundidad de 80 cms., por lo cual estimamos conveniente humedecer esa profundidad hasta llegar a la capacidad máxima de retención.

Habiendo cambio de textura en esa profundidad necesitamos hacer el cálculo separadamente. Es seguro que los pri-

meros 40 cms. de profundidad que han recibido dos riegos, tengan una humedad arriba del coeficiente de marchitamiento permanente, o bien, podía tener en el momento que el riego se juzga necesario un porcentaje de humedad total de 20%. Como la capacidad máxima de retención es de 35% para esa profundidad, el agua por agregar o agua útil, se reduce a  $35 - 20 = 15\%$ , y aplicando la fórmula general, el agua para esa profundidad será:

$$\frac{1.2 \times 0.40 \times 15}{100} = 0.072 \text{ m}^3 = 7.2 \text{ cms.}$$

Los siguientes 40 cms. en la textura arcilla, tratándose de un suelo en cultivo, deben tener cierto grado de humedad; seguramente superior al de marchitamiento, que, supongamos, sea de 20%. De acuerdo con la Tabla Núm. 1 el agua disponible en esta textura será de:  $40 - 20 = 20\%$ , y aplicando la fórmula general esta capa de suelo requerirá:

$$\frac{1.12 \times 0.40 \times 20}{100} = 0.089 \text{ m}^3 = 8.9 \text{ cms.}$$

por lo cual la lámina total a esa profundidad sería de 16.1 cms. en ese riego. En forma semejante se prosigue el cálculo del agua necesaria durante el desarrollo del cultivo.

Este valor de 16.1 cms. resultó muy exagerado; pero en realidad, en un suelo bajo irrigación prolongada las capas profundas no pierden su humedad a un grado tan considerable como lo hemos supuesto, y, por lo tanto, sólo habría que agregar agua en porcentajes muy inferiores, para ir compensando solamente las pérdidas sufridas por la humedad aprovechable o disponible del suelo. En otras ocasiones, aun cuando las raíces alcancen la profundidad de 1.00 m. o más, los muestreos para determinar los porcentajes de agua actual pueden indicarnos que sólo se hace necesario agregar agua hasta la profundidad de 50 cms., pongamos por caso; porque las pérdidas de humedad de los 50 a 100 cms. han sido insignificantes; pero teniendo en cuenta que la mayoría de las raíces de la

planta están en los primeros 50 cms. y a esta profundidad falta el agua, la planta acusó marchitamiento.

Las aplicaciones de este método verificadas en México, aunque en pequeña escala, en caña de azúcar, han dado resultados sorprendentes, como ser suficientes láminas de 3 a 5 cms. para un riego eficiente de caña de desarrollo mediano.

Para la aplicación de este método deberán tomarse en el campo, además de los datos relativos a la densidad, humedad equivalente y coeficiente de marchitamiento, muestras periódicas de suelo a diferentes profundidades, para ir determinando la humedad actual que al mismo tiempo que indican la necesidad del riego, señalan la cuantía de éste.

El método no es todavía del dominio general en ninguna parte del mundo, o sea que no tiene hasta la fecha aplicación extensiva y permanece en estado experimental.

Aunque no se han alcanzado en gran escala los resultados que la teoría señala, debe considerarse como un ideal hacia el cual debe tenderse en la irrigación de los suelos.

En los Distritos de Riego en operación, y con el auxilio del Laboratorio de Suelos de la Dirección de Agrología, el método anterior ha sido usado sólo con el fin de prever las necesidades del agua en las zonas donde por primera vez se riega y para hacer comparaciones que han permitido, por lo menos, juzgar la eficiencia de los riegos que se ejecutan.

Para terminar el presente trabajo, me permito recomendar a todas las personas que en cualquier forma estén relacionadas con la aplicación del agua a los suelos, tengan presente que en nuestro medio no hemos ni siquiera iniciado una labor educativa en cuanto al manejo del agua por los agricultores. Esta tarea sólo podrá hacerse en el campo mismo, bajo la dirección de personal responsable, que restrinja gradualmente el agua de que el usuario dispone y lo ayude en todo lo que corresponda, a fin de que se vaya convenciendo de las ventajas de no abusar del agua de riego.

Creo que el método que se ha descrito podría ser aprovechado en los Distritos de Riego, para hacer el cálculo del agua de riego necesaria, aprovechándose de todos los datos que los Informes Agrológicos contienen; los volúmenes calculados podrán comprobarse prácticamente y aun no siendo correctos los cálculos hechos, podrán conocerse coeficientes de riego que, por primera vez, se acerquen a valores técnicamente determinados, a fin de no seguir en el absurdo de admitir los coeficientes que el desconocimiento del agricultor impone, bajo el pretexto de que no se puede regar con menos agua.

Sin lugar a equivocaciones, puede afirmarse que la superficie actualmente bajo riego en la República Mexicana, puede aumentarse en un 50% por el estudio técnico de los coeficientes de riego y su aplicación práctica en el campo, además de una labor educativa entre los usuarios.

