

RELACION AREA SIEMBRA ESCURRIMIENTO PARA CULTIVOS TEMPORALES ANUALES Y PERENNES EN EL ALTIPLANO POTOSINO

José VILLANUEVA DIAZ *

RESUMEN

El presente estudio propone un modelo matemático, para el aprovechamiento de lluvia *in situ*, en la producción de cultivos en zonas áridas y semiáridas. En el modelo intervienen variables físicas de suelo, profundidad radical, requerimientos hídricos del cultivo y probabilidad de ocurrencia de lluvia anual. La integración de éstos factores deriva en una relación área siembra escurrimiento, con la cual se satisfacen teóricamente los déficits hídricos del cultivo.

Debido a que el análisis de clima se realiza con base en probabilidades, un cultivo puede verse sujeto a déficit hídrico, por ello se sugiere que al validar ésta tecnología se trabaje con especies tolerantes a la sequía, así como cuantificar precipitación, escurrimientos, evaporación y crecimiento de la raíz en función del tiempo y de la humedad disponible.

SUMMARY

This study proposes a mathematical model for the rainfall use *in situ*, in the production of crops in arid and semi-arid lands. This model includes physical characteristics of soil, radicle depth, cultivation hydric requirements of the crop and anual rainfall probability of ocurrence. The integration of these facts derives on the sowing relationship drainage areas, for the satisfactory of the theoretical hydric shortages of cultivation crop.

* Ing. Agr. M.C. Investigador adjunto del Proyecto de Investigación Uso Múltiple de los Recursos Forestales, CIFAP. San Luis Potosí, S.L.P.

As the analysis of climate is carried out in base of probabilities the cultivation can be subjected to a hydric shortage, It is suggested in the validation of this technology to work with species tolerant to draught, as well as to quantificate rainfall, drainage, evaporation and growth of root in base of time and availability of humidity.

INTRODUCCION

Más del 50% de la superficie de México se encuentra ocupada por zonas áridas y semiáridas. En éstos lugares la agricultura practicada es básicamente de temporal, la cuál es aleatoria, debido a las condiciones climatológicas de éstas zonas, caracterizadas por presentar precipitaciones erráticas y muchas veces torrenciales, lo que origina déficits hídricos en los cultivos, mismos que no completan su ciclo vegetativo.

Ante ésta incertidumbre los habitantes del semidesierto, emigran a regiones con mejores perspectivas de vida. Desgraciadamente, aunque la importancia de las zonas áridas y semiáridas es grande, esporádicamente se han realizado estudios valiosos.

Una alternativa para el mejoramiento de éstas zonas es utilizar los recursos hídricos, mediante el uso de los escurrimientos superficiales para lograr así el establecimiento y producción de especies agrícolas, forestales y frutícolas, además de mejorar la economía nacional y de la población que las habita. Con base en lo anterior el estudio propuso los siguientes objetivos.

1. Determinar un modelo matemático para delimitar la relación teórica entre área de siembra y área de escurrimiento, en el establecimiento de cultivos agrícolas, forestales y frutícolas.
2. Desarrollar una metodología para la obtención de las variables involucradas en el modelo.
3. Mediante el modelo propuesto, obtener las relaciones teóricas área siembra escurrimiento para los cultivos tradicionales como maíz, frijol y algunos otros que por su interés frutícola o forestal resultan primordiales para el desarrollo de regiones como el Altiplano Potosino.

ANTECEDENTES

Las zonas áridas y semiáridas. Mucho se ha discutido sobre la delimitación de las zonas áridas del mundo; dicha subdivisión ha sido basada en criterios personales mismos que

difieren de acuerdo con cada autor. Sin embargo, las causas determinantes de la aridez, obedecen fundamentalmente al relieve continental y a la circulación general de la atmósfera como lo asentó Contreras en 1955.

La Comisión Técnico Consultiva para la Determinación regional de Coeficientes de Agostadero (COTECOCA), considera, para las características climáticas de México, como zonas áridas, aquellos lugares con precipitación inferior a 350 mm anuales, temperatura media anual entre 15 y 25 C y de 8 a 12 meses de sequía. La superficie de México con estas características es de 56,700,000 ha.

La misma Comisión define que las zonas semiáridas tienen una precipitación inferior a 600 mm, una temperatura media de 18 a 25 C y de 6 a 8 meses de sequía. La superficie de México con éstas condiciones es de 23,340,000 ha.

Definición de técnicas de captación de agua.

Myers en 1964 mencionó que cosecha de agua es la captación de los escurrimientos provocados al caer la lluvia sobre una superficie previamente tratada para disminuir su capacidad de infiltración de los acuíferos artificiales del terreno.

Un sistema de captación de agua de lluvia se conforma básicamente de dos partes: a) área de escurrimiento, tiene como función coleccionar el agua de lluvia y llevarla hasta el lugar, b) área de almacenamiento.

Al aplicar esta técnica *in situ* a la agricultura, se originan las denominadas microcuencas de captación de agua de lluvia, cuyo tamaño depende de cuatro factores: magnitud de lluvia, retención de humedad del suelo, coeficiente de escurrimiento y necesidades de agua del cultivo como lo mencionó Anaya *et al.* en 1976.

Captación de agua de lluvia, una alternativa de producción en zonas áridas y semiáridas. Fangmeir citado por Tovar en 1977, mencionó que la producción de cosechas en zonas áridas y semiáridas mediante el uso de microcuencas de captación de agua de lluvia, abre nuevas perspectivas para utilizar mejor las regiones donde la precipitación pluvial es limitada, por lo que se debe considerar que la lluvia ocurre durante un período favorable al crecimiento de las plantas, y el volumen de agua escurrido es suficiente para satisfacer las necesidades mínimas de las plantas.

La efectividad de las prácticas en la conservación de humedad mediante el control de escurrimientos y cosecha de agua, para evitar daños por sequía, requiere no sólo de aumentar el almacenamiento de agua en el suelo, sino también condiciones de suelo favorables a un sistema de raíces profundo, amplio y denso que permita remover

cantidades considerables de humedad, para abastecer las demandas de agua del cultivo, durante los períodos prolongados sin humedad en el suelo.

Experimentos sobre cosecha de agua de lluvia

Tratamientos mecánicos: la estructura artificial más simple para cosechar agua de lluvia, consiste en limpiar y sellar la superficie del suelo. Estudios experimentales como los de Hillel *et al.* en 1965, Jiménez en 1976, y Myers en 1967, han demostrado que el limpiar y compactar el suelo ayudan a incrementar el escurrimiento hasta en un 60%.

También se ha encontrado que la disminución de los escurrimientos es ajena al almacenaje de intercepción pero está influida por el incremento de los rangos de infiltración.

Métodos de dispersión coloidal.- Las sales de sodio aplicadas al suelo incrementan el escurrimiento superficial. Estas sales causan que los coloides, constituyentes del suelo, se dispersen y sellen parcialmente los poros existentes entre ellos, reduciendo la tasa de infiltración. Las sales más comunes usadas son: el cloruro de sodio (NaCl) y el carbonato de sodio (Na₂CO₃). Hillel *et al.* en 1965 en Israel obtuvieron más del 70% de escurrimiento de tratamientos de 48 kg/ha con Na₂CO₃.

Cluff y Dutt en 1966 trataron un suelo arenoso de 4 ha, cubiertos con vegetación con 180 kg de cloruro de sodio esparcido en forma de polvo, obteniendo 10 % de escurrimiento de una precipitación de 73 mm.

Compuestos hidrofóbicos.- Davidson *et al.* citados por Smith en 1978, fueron de los primeros en investigar los tratamientos del suelo con compuestos químicos hidrofóbicos. Estos producen elevada cantidad de escurrimiento pluvial y tienen bastantes posibilidades en la construcción de áreas de captación a bajo costo.

Existen otros métodos para incrementar el escurrimiento, aunque la mayoría de ellos, se enfocan a lograr captación de agua con fines de consumo humano o pecuario. Estos métodos son: películas delgadas de plástico y metal, y materiales cementantes superficiales reportados por Lauritzen en 1961, Myers en 1961 y 1967.

Modelos propuestos para el establecimiento de cultivos mediante la cosecha de agua de lluvia. En las zonas áridas que reciben "*in situ*" precipitación durante el verano, existen posibilidades para mejorar la utilización de las lluvias irregulares en la producción de cultivos con sistemas de concentración de agua, lo que permite almacenarla de escurrimiento en el suelo y satisfacer los usos consuntivos de los cultivos.

Para encontrar la relación óptima área de escurrimiento- siembra, dada un área entre bordos antierosivos, Smith en 1978 propuso el siguiente modelo. (Figura 1)

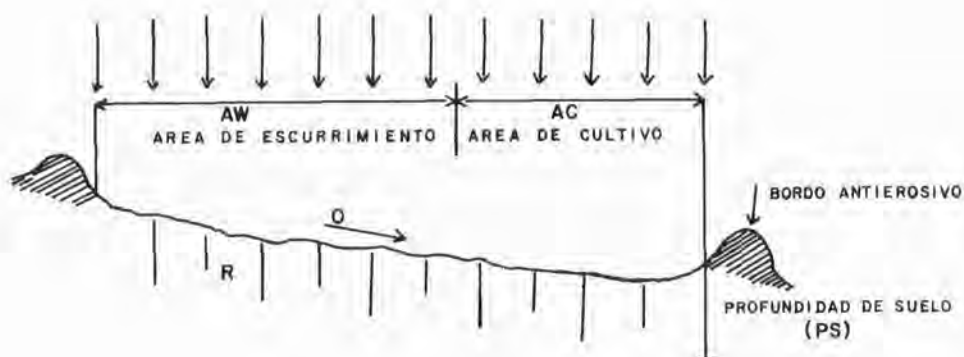


Figura 1. Diagrama del sistema de bordos al contorno.

Aw = Área de escurrimiento, Ac = Área de cultivo, pp = Precipitación (mm), R = Retención de humedad en el área de escurrimiento (mm), Q = Escurrimiento hacia el área de cultivo (mm), PS = Profundidad de suelo (mm), HS = Contenido de humedad del suelo, porcentaje con base en volumen, HS₁ = Contenido de humedad antes de la lluvia, HS₂ = contenido de humedad despues de la lluvia, HS₃ = Contenido de humedad entre lluvias, ET = Evapotranspiración diaria (mm), D = Lámina de agua aplicada al área de cultivo (mm), n = Número de días con suficiente humedad para el uso del cultivo proporcionado por una lluvia.

De la Figura 1 se deduce lo siguiente:

1. $Q = PP - R$
2. $D = PP + Q Aw/Ac$
3. Igualmente $D = (HS_2 - HS_1) PS$
4. $ET = (HS_2 - HS_3) PS$
5. $n = \frac{PS(HS_2 - HS_3)}{ET}$

Si $D = n ET$ y PP es la precipitación promedio, entonces de la ecuación 2 se tiene que:

6. $D = PP = Q Aw/Ac$

$$7. \frac{Aw}{Ac} = \frac{D-PP}{Q} = \frac{nET-PP}{Q}$$

$$8. Aw = \frac{nET-PP}{Q} Ac$$

Dándole a Ac un valor determinado para las prácticas culturales, un valor de diseño Aw puede obtenerse con los datos de PP , Q y ET . Para analizar el sistema diseñado por Smith, es necesario calcular un balance continuo de humedad para una serie de años, usando varios cultivos con diferentes fechas de siembra y hábitos de crecimiento radical.

Velasco Molina en 1983 propuso un modelo para medir la relación área escurrimiento siembra, para alimentar el modelo se necesitan los siguientes datos:

a) Isoyeta del área de interés. b) Distancia disponible entre bordos antierosivos. c) Coeficiente de escurrimiento del área destinada para éste propósito. d) Demanda evapotranspirativa del cultivo.

Con base en lo anterior el modelo es el siguiente:

$$9. L = \frac{CE \%P(PP)LT}{\%P(PP) (CE-1) + Ev}$$

Donde: CE : Coeficiente de escurrimiento (adimensional). $\%P$: Probabilidad de precipitación (decimal). PP : Precipitación promedio anual según la isoyeta del lugar (mm). LT : Longitud total entre bordos antierosivos (m). Ev : Uso consuntivo o evapotranspiración (m). L : Longitud del área de siembra o cultivo (m). A : Ancho del área de siembra (m).

Anaya y Macías en 1976 consideraron que conociendo la cantidad de agua necesaria para un cultivo y no ser cubierta ésta por una precipitación probable, se estima la deficiencia de agua del cultivo durante su ciclo vegetativo.

El volúmen faltante en el área de siembra (As) para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo (uc) está dada por:

$$10. \text{Déficit hídrico} = (uc-PP) As$$

La lámina de agua aportada por el área de contribución (Ac) para el área de siembra (As) estará dada por:

$$11. \text{ Lámina aportada} = \text{PPC}$$

y con base en el volúmen será:

$$12. \text{ Volúmen aportado} = \text{PPC Ae}$$

Donde: PP = Precipitación probable y C coeficiente de escurrimiento.

De lo anterior se deduce que el volúmen del déficit hídrico del cultivo en el área de siembra (As) debe ser igual a:

$$13. (\text{uc-PP}) \text{ As} = \text{PPC Ae}$$

Por lo tanto las dimensiones del área de escurrimiento están dadas por:

$$14. \text{ Ae} = \frac{(\text{uc-PP}) \text{ As}}{\text{PC}}$$

El tamaño de la microcuenca (Ac) puede ser determinado por la siguiente relación:

$$15. \text{ Ac} = \text{As} + \text{Ae}$$

Substituyendo 14 en 15 se tendrá lo siguiente:

$$16. \text{ Ac} = \text{As} + \frac{\text{I}}{\text{C}} \frac{(\text{uc-PP})}{\text{PP}} \text{ As}$$

La evaluación empírica de los sistemas de cosecha de agua de lluvia para decidir las dimensiones óptimas del sistema, es un procedimiento lento y costoso. Por eso se trabaja con modelos de simulación para investigar el sistema en un período corto y a un costo económico mínimo de acuerdo con Smith en 1978.

MATERIALES Y METODOS

Localización y características ecológicas del área de estudio.

El Altiplano Potosino se localiza entre los 21° 28' 03" y los 24° 33' 52" latitud norte; y entre 100° 08' 30" a los 102° 13' 58" longitud oeste. Colinda en la parte norte, con Nuevo León y Zacatecas, al sur con Querétaro y Guanajuato, al este con Nuevo León y

Tamaulipas y al oeste con Zacatecas y Jalisco. Su parte septentrional está atravesada por el Trópico de Cáncer. La superficie total de esta región es de aproximadamente 63,060 km², distribuidos en 28 Municipios. (Figura 2)

La altitud de la zona es variable, fluctuando desde 1,000 a 2,600 msnm. Las diferencias de altitud, topografía y otros factores, hacen que las condiciones del clima cambien en las diferentes partes del estado de San Luis Potosí. Aunque más del 70% de su territorio se caracteriza por ser árido, el grado de aridez varía de un lugar a otro, al igual que la temperatura, vientos y nubosidades, entre otros.

Un 70% de la precipitación total anual ocurre de mayo a septiembre. En la mayor parte de las localidades existen dos máximos marcados de precipitación, uno ocurre en junio o en julio y el otro en septiembre. Precipitaciones de 300 a 500 mm son comunes en gran parte del Altiplano; sin embargo, existen lugares como los municipios de Catorce, Venegas y Cedral, donde éstas son inferiores a 300 mm anuales.

La temperatura media anual fluctua entre 11 a 25 C, iniciándose las heladas en octubre y terminando a principios de abril. De acuerdo con la clasificación de Köppen en el Altiplano Potosino se encuentran los climas BShwg, BSkwg, BWhwg y BWkwg. (Figura 3)

Los suelos en general son ligeros migajones arenosos, de contenido bajo a medio de materia orgánica y frecuentemente con un horizonte de inundación de mayor o menor profundidad. En ellos predominan las calizas, la coloración del suelo varía entre gris y negro con un pH de 7 a 8.5 y alto contenido de carbonato de calcio. La cantidad de materia orgánica varía en función del clima al igual que el color del suelo, el cual comúnmente es gris claro en los sitios más áridos.

Existen diversos tipos de vegetación como es el caso del matorral desértico micrófilo, matorral desértico rosetófilo, matorral crasicaule y pastizal, principalmente.

Desarrollo del modelo propuesto

El desarrollo del siguiente modelo trata de mejorar la relación área de siembra escurrimiento, mediante la captación de agua de lluvia "*in situ*".

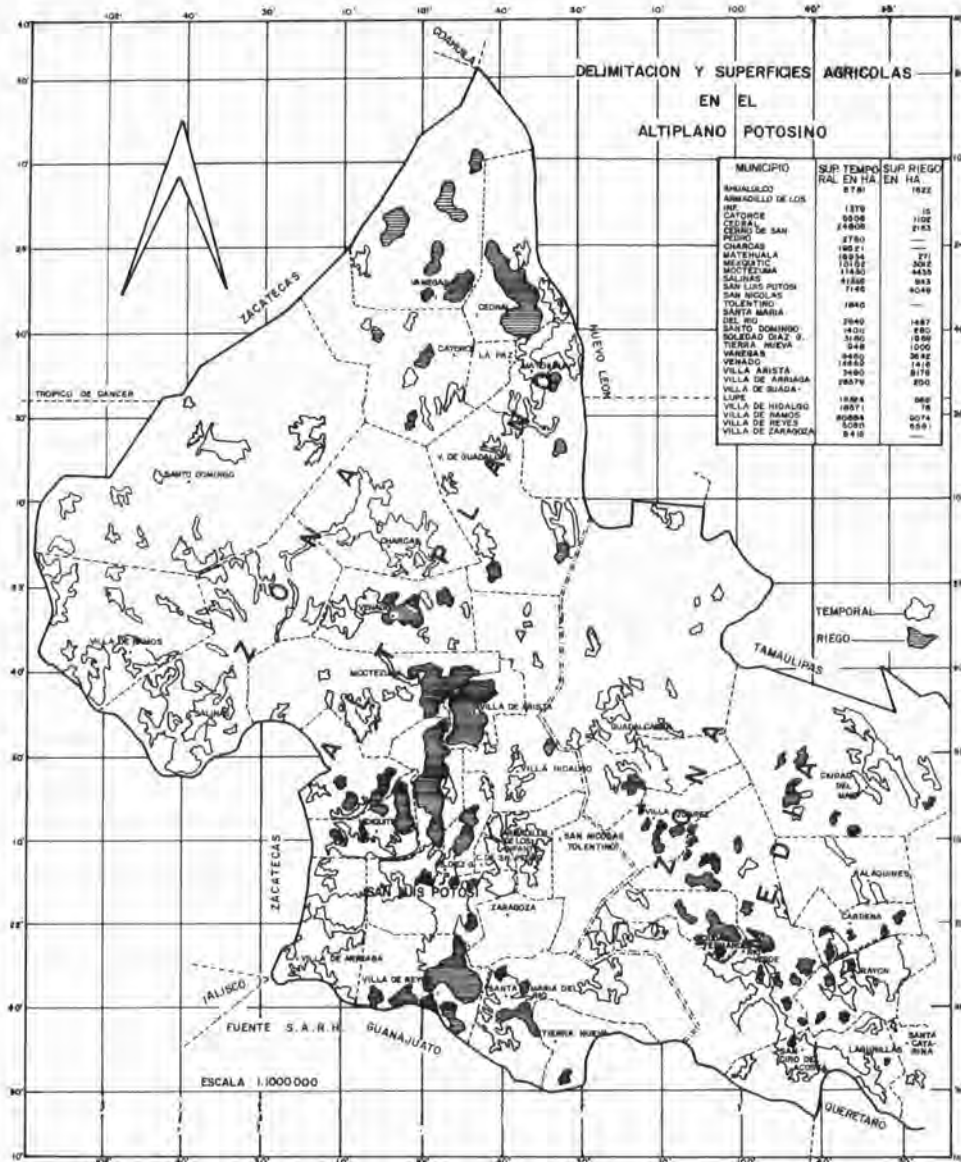


Figura 2. Delimitación y superficies agrícolas en el Altiplano potosino.

El desarrollo del modelo considera que dada una superficie entre bordos antierosivos, cierta porción va a dedicarse al escurrimiento y otra a la siembra. El agua de lluvia acumulada en el área de escurrimiento más la que cae directamente en el área de siembra, debe satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo, de acuerdo con cierta probabilidad de precipitación durante el ciclo vegetativo e involucrando así mismo ciertos parámetros físicos del suelo (Figura 4).

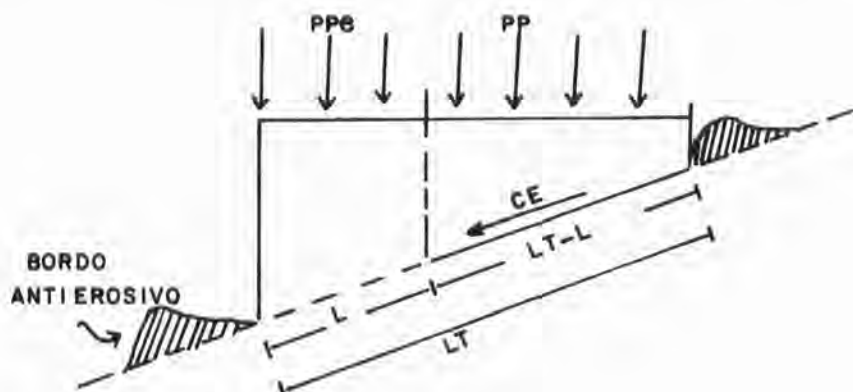


Figura 4. Representación esquemática del modelo propuesto para la captación de agua de lluvia "In situ".

Analizando la figura anterior se tiene lo siguiente:

$$CE (PP) (LT-L) A + PPeLA = LA (cc-pmp) Da Pr n$$

Volúmen de lluvia que cae en el área de escurrimiento, y que es aportado al área de siembra.

Volúmen de precipitación que cae en el área de cultivo.

Volúmen de agua requerido por el cultivo.

Simplificando términos:

$$18. \frac{A \text{ CE(PP)(LT-L) + PPeL}}{A} = \frac{LA (\text{cc-pmp}) \text{ Da Pr n}}{A}$$

$$19. \text{CE(PP)(LT-L) + PPeL} = L(\text{cc-pmp}) \text{ DaPr n}$$

20. Desarrollo de la ecuación anterior:

$$\text{CE(PP)LT} - \text{CE(PP)L} + \text{PPeL} = L (\text{cc-pmp}) \text{ DaPr n}$$

Pasando términos semejantes de un sólo lado de la ecuación anterior

$$-L (\text{cc-pmp}) \text{ DaPr n} - \text{CEPPL} + \text{PPeL} = -\text{CE(PP)LT}$$

Multiplicando por (-1) se tiene:

$$21. L (\text{cc-pmp}) \text{ DaPr n} + \text{CEPPL} - \text{PPeL} = \text{CE(PP)LT}$$

Factorizando

$$22. L (\text{cc-pmp}) \text{ DaPr n} + \text{CEPP} - \text{PPe} = \text{CE(PP)LT}$$

Despejando L

$$23. *L = \frac{\text{CE(PP)LT}}{(\text{cc-pmp}) \text{ DaPr n} + \text{CEPP} - \text{PPe}}$$

Donde:

A = Ancho del área de siembra (m).

L = Longitud del área de siembra (m).

CE = Coeficiente de escurrimiento (adimensional).

PP = Precipitación pluvial, según una probabilidad anual de ocurrencia y un cierto período de retorno (m).

Lt = Espaciamiento entre bordos antierosivos, según su intervalo vertical (m).

cc = Capacidad de campo (decimal).

pmp = Punto de marchitamiento permanente (decimal).

Da = Densidad aparente (gr/cm^3).

Pr = Profundidad de suelo o profundidad efectiva radical (m).

PPe = Precipitación efectiva (m).

n = Número de lluvias de magnitud (cc-pmp) Dapr necesarias para satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo.

*Deducción realizada por Villanueva Díaz J. y Sánchez Cohen I.

Obtención de los elementos que involucra el modelo

Coefficiente de escurrimiento (CE).- Se refiere al porcentaje de agua de lluvia que no es interceptado, infiltrado, ni evaporado y que escurre hasta el sitio de interés. Se expresa en términos fraccionarios.

El coeficiente de escurrimiento depende de varios factores como son:

- Precipitación.- Afecta el escurrimiento de acuerdo con la intensidad, duración y frecuencia de las lluvias.
- Suelos.- De las características físicas (textura, permeabilidad y grado de retención de humedad) depende en gran parte la magnitud de los escurrimientos.
- Acondicionamiento del área de escurrimiento.- Modifica el porcentaje de escurrimiento.
- Pendiente del área de escurrimiento.- El coeficiente de escurrimiento es directamente proporcional a la pendiente. Para fines prácticos, el coeficiente de escurrimiento puede obtenerse directamente del Cuadro 1.

CUADRO 1. COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO. *

Topografía Vegetación	Textura del suelo		
	Gruesa	Medía	Fina
Bosque			
Plano (0-5% pendiente)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (6-10% pendiente)	0.25	0.35	0.50
Escarpado (11-30% pendiente)	0.30	0.50	0.60
Pastizales			
Plano (0-5% pendiente)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (6-10% pendiente)	0.16	0.36	0.55
Escarpado (11-30% pendiente)	0.22	0.42	0.60
Terrenos cultivados			
Plano (0-5% pendiente)	0.30	0.50	0.60
Ondulado (6-10% pendiente)	0.40	0.60	0.70
Escarpado (11-30% pendiente)	0.52	0.72	0.82

*Manual de conservación de suelos, colegio de postgraduados de chapingo.

Para trabajos de mayor precisión, el coeficiente de escurrimiento debe ser determinado mediante lotes de escurrimiento para cada localidad donde se vaya a utilizar el método descrito.

Precipitación (pp).- La producción de cultivos agrícolas en áreas de temporal está determinada en gran parte por la cantidad y oportunidad de la lluvia. Para desarrollar en estas áreas una tecnología que incremente y establezca la producción, es necesario equilibrar tiempo y espacio de los elementos climáticos, así como su influencia en el desarrollo y rendimiento de los cultivos. Bajo estas condiciones, la cuantificación de la precipitación pluvial en términos de probabilidad no aritméticos, resulta importante, ya que en la mayoría de los casos la lluvia es clave para determinar la producción de una región. En el cálculo de probabilidad de lluvia pueden utilizarse diversos métodos dependiendo de los objetivos del trabajo.

Para el modelo propuesto, los datos de precipitación se analizaron siguiendo el método de "Distribución acumulativa". Sin embargo, lo anterior no incluye el uso de frecuencias, distribución normal (método gráfico) o bien la distribución Gama incompleta.

Para analizar el método de distribución acumulativa se recomienda:

- a) Ordenar las precipitaciones (semanal, quincenal, mensual, anual, etcétera) en forma decreciente.
- b) Asignar un orden empezando con el número uno, para el valor más grande y seguir en orden ascendente hasta llegar al valor más pequeño.
- c) Calcular la probabilidad de ocurrencia para cada observación, mediante la siguiente fórmula:

$$24. \quad P_b = \frac{M}{N+1} 100$$

Donde:

- P_b = Probabilidad de ocurrencia dado un cierto número de observaciones.
- M = Número de orden del evento.
- N = Número total de observaciones.

El período de retorno con el que la lluvia se presenta se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$25. F = \frac{N}{M}$$

Donde:

F = Frecuencia o período de retorno, N = Número total de observaciones.
M = Número de orden del evento.

Como ejemplo del método descrito, se presenta un análisis de los datos de la estación meteorológica ubicada en el Municipio de Villa Hidalgo, San Luis Potosí, Cuadros 2 y 3.

Del análisis anterior se obtiene que para una probabilidad de 50%, la precipitación esperada será de 305.12 mm con una frecuencia de retorno de 1.91 años, es decir, cada dos años.

Hay que considerar que entre mayor sea el número de datos disponibles, los resultados se apegarán más a la realidad.

Se procedió a delimitar el área de influencia para cada estación meteorológica de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, mediante el método de *Thiessen*, procediéndose de la siguiente manera:

Inicialmente se ubicaron todas las estaciones meteorológicas de la zona de estudio. Posteriormente, se trazaron líneas de unión entre estaciones formando triángulos, de cuyos catetos se sacaron mediatrices o perpendiculares bisectrices uniéndose entre sí, de tal manera que se formaron polígonos alrededor de cada estación. La superficie de cada polígono constituye el área de influencia de una estación meteorológica en particular (Figura 5).

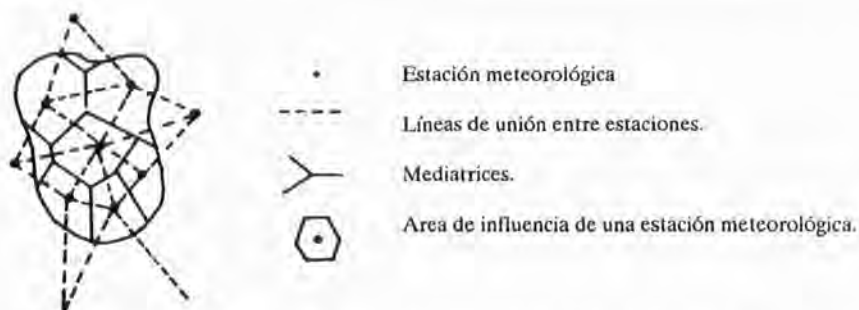


Figura 5.- Delimitación de áreas de influencia de estaciones meteorológicas (según Thiessen).

CUADRO 2. PRECIPITACION DE LA ESTACION METEOROLOGICA VILLA HIDALGO, SLP

Estación: Villa Hidalgo, SLP

Latitud: 22° 25' 57"

Longitud: 100° 40' 46"

Periodo de observación: 23 años.

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total mm
1962	9.8	11.6	20.2	43.2	12.1	45.2	18.4	17.7	73.6	4.7	16.5	11.0	539.3
1963	0.0	2.5	17.0	15.5	19.0	81.5	39.5	11.5	26.5	39.8	2.0	62.0	513.5
1964	29.5	7.0	8.0	3.5	53.0	2.0	47.5	44.5	65.5	9.5	18.5	17.0	511.3
1965	2.0	29.5	4.5	29.0	36.0	30.5	12.5	66.5	23.2	8.2	2.0	15.0	419.3
1966	39.0	20.2	31.6	13.5	37.4	18.0	59.0	85.9	41.0	23.2	0.0	0.0	381.6
1967	21.0	3.0	19.2	13.0	24.0	55.6	21.5	31.9	21.5	57.0	11.0	1.0	378.8
1968	3.0	2.5	72.0	42.0	10.0	134.0	63.0	57.0	85.0	15.0	8.5	21.5	360.17
1969	13.4	0.0	9.0	6.0	28.6	21.5	25.0	34.5	28.5	0.0	0.6	4.0	349.57
1970	0.0	28.0	0.0	0.0	21.6	49.8	61.0	84.5	68.5	3.5	0.0	16.4	333.3
1971	0.0	0.0	11.0	0.0	36.0	71.5	0.0	0.0	18.5	19.0	0.0	0.0	315.8
1972	0.0	0.0	2.2	2.3	23.3	9.5	35.0	30.5	24.0	27.0	0.0	2.0	305.5
1973	11.0	0.0	0.0	3.0	41.0	29.3	25.2	142.4	79.9	49.8	0.0	0.0	305.12
1974	0.0	0.0	2.2	0.0	5.0	16.0	30.5	34.3	107.1	8.5	15.0	6.9	284.3
1975	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.7	120.3	17.6	24.0	11.0	0.0	5.0	283.0
1976	0.0	0.0	0.0	6.0	52.0	41.0	110.1	0.0	25.2	8.0	30.0	12.0	279.7
1977	9.5	0.0	0.0	5.0	6.0	23.0	6.5	15.0	106.0	4.4	0.7	0.7	258.9
1978	0.0	0.3	11.0	12.0	53.0	19.0	130.0	86.0	110.0	49.0	14.0	17.0	243.7
1979	1.0	4.0	10.17	26.0	10.0	65.0	65.0	88.0	24.0	2.0	10.0	55.0	225.5
1980	35.0	9.0	0.0	28.0	1.0	0.0	28.0	46.62	56.5	48.0	24.0	29.0	201.6
1981	61.0	15.0	14.0	80.0	68.0	119.0	41.0	58.5	59.0	17.0	3.0	3.8	176.8
1982	0.0	1.0	0.0	42.0	110.0	13.0	48.0	50.5	36.0	89.0	13.0	16.8	171.1
1983	26.0	0.0	0.0	0.0	25.5	32.5	48.7	25.0	36.5	41.0	8.5	0.0	156.0
1984	64.0	9.5	2.0	1.0	20.0	25.5	84.5	45.0	51.81	24.3	8.5	13.45	155.8

CUADRO 3. PROBABILIDAD Y PERIODO DE RETORNO PARA LOS REGISTROS ANUALES DE PRECIPITACION DE LA ESTACION VILLA HIDALGO, SLP

No. de año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Frecuencia o periodo de retorno F = N/M	Probabilidad (%) F = $\frac{M}{N+1} \cdot 100$
1	64.0	29.5	72.0	80.0	110.0	134.0	130.0	142.4	110.0	89.0	30.0	62.0	23.00	4.16
2	61.0	28.0	31.6	43.2	68.0	119.0	120.3	88.0	107.1	57.0	24.0	55.0	11.50	8.33
3	39.0	20.2	20.2	42.0	53.0	81.5	110.1	86.0	106.0	49.8	18.5	29.0	7.66	12.50
4	35.0	15.0	19.2	42.0	53.0	71.5	84.5	85.9	85.0	49.0	16.5	21.5	5.75	16.66
5	30.0	11.6	17.0	29.0	52.0	65.0	65.0	84.5	79.9	48.0	15.0	17.0	4.60	20.83
6	26.0	9.5	14.0	28.0	41.0	55.6	63.0	66.5	73.6	41.0	14.0	17.0	3.83	25.00
7	21.0	9.0	11.0	26.0	37.0	49.8	61.0	58.5	68.5	39.8	13.0	16.8	3.28	29.16
8	13.0	7.0	11.0	14.5	36.0	45.2	59.0	57.0	65.5	27.0	11.0	16.4	2.87	33.33
9	11.0	4.0	10.17	13.5	36.0	41.0	48.7	50.5	59.0	24.3	10.0	15.0	2.55	37.50
10	10.0	3.0	8.0	13.0	28.6	32.5	48.0	46.62	56.5	23.2	8.5	13.45	2.30	41.66
11	10.0	2.5	9.0	12.0	25.5	30.5	47.5	45.0	51.81	19.0	8.5	12.0	2.09	45.83
12	3.0	2.5	4.5	6.0	24.0	29.3	41.0	44.5	41.0	17.0	8.5	11.0	1.91	50.00
13	2.0	1.0	2.2	6.0	23.3	25.5	39.5	34.5	36.5	15.0	3.0	6.9	1.76	54.16
14	1.0	0.3	2.2	5.0	21.6	23.7	35.0	34.3	36.0	11.0	2.0	5.0	1.64	58.33
15	0.0	0.0	2.0	3.5	20.0	23.0	30.5	31.9	28.5	9.5	2.0	4.0	1.53	62.50
16	0.0	0.0	0.0	3.0	19.0	21.5	28.0	30.5	26.5	8.5	0.7	3.8	1.43	66.66
17	0.0	0.0	0.0	2.3	12.1	19.0	25.2	25.0	25.2	8.2	0.6	2.0	1.35	70.83
18	0.0	0.0	0.0	1.0	10.0	18.0	25.0	17.6	24.0	8.0	0.0	1.0	1.27	75.00
19	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	16.0	21.5	16.7	24.0	4.7	0.0	0.7	1.21	79.16
20	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	13.0	18.4	15.0	24.0	4.4	0.0	0.0	1.15	83.33
21	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	9.5	12.5	11.5	23.2	3.5	0.0	0.0	1.09	89.50
22	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0	6.5	0.0	21.5	2.0	0.0	0.0	1.04	91.66
23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.5	0.0	0.0	0.0	1.00	95.83

N = 23

La Figura 3, muestra las áreas de influencia delimitadas para cada una de las estaciones meteorológicas ubicadas en el Altiplano Potosino.

Precipitación efectiva (PPE).- Es aquella porción de la precipitación que está disponible en la zona ocupada con las raíces de las plantas. Por tanto, el aprovechamiento de la lluvia depende de: la intensidad, duración y distribución de la lluvia, velocidad de infiltración, cubierta vegetal y topografía.

Pocas veces se dispone de ésta información, por lo que es muy difícil obtener estimaciones aceptables para esta variable.

Debido a la dificultad que presenta el cálculo de la precipitación efectiva, el método o métodos para su estimación en zonas de temporal donde prevalecen condiciones de aridez o semiaridez, deberán ser los desarrollados en estas condiciones o por lo menos en condiciones parecidas.

Uno de los métodos más prácticos y fácil es de calcular es el desarrollado por Blaney y Criddle, basado fundamentalmente en aplicar un coeficiente de aprovechamiento diferente a cada pulgada de lluvia observada, según se muestra en el Cuadro 4.

CUADRO 4. COEFICIENTE DE LLUVIA EFECTIVA SEGUN BLANEY Y CRIDDLE.

Lluvia total observada		Lluvia considerada efectiva.
Pulgadas	(mm)	Coficiente de aprovechamiento.
1	25	0.95
2	50	0.90
3	75	0.82
4	100	0.65
5	125	0.45
6	150	0.25
más de 6	más de 150	0.05

Ejemplificando la aplicación de este método para la estación meteorológica Villa Hidalgo, San Luis Potosí, se tienen los resultados mostrados en el Cuadro 5.

CUADRO 5. PRECIPITACION EFECTIVA PARA LA ESTACION VILLA HIDALGO, CALCULADA SEGUN EL METODO DE BLANEY Y CRIDDLE.

Mes	*PP(mm)	Coefficiente de aprovechamiento	PPe (mm)
Enero	3.0	3 X 0.95	2.85
Febrero	2.5	2.5 X 0.95	2.37
Marzo	4.5	4.5 X 0.95	4.27
Abril	6.0	6.0 X 0.95	5.70
Mayo	24.0	24.0 X 0.95	22.80
Junio	29.3	25.0 X 0.95 + 4.3 X 0.90	27.62
Julio	41.0	25.0 X 0.95 + 16.0 X 0.90	38.15
Agosto	44.5	25.0 X 0.95 + 19.5 X 0.90	41.30
Septiembre	41.0	25.0 X 0.95 + 16.0 X 0.90	38.15
Octubre	17.0	17.0 X 0.95	16.15
Noviembre	8.5	8.5 X 0.95	8.07
Diciembre	11.0	11.0 X 0.95	10.45

* Precipitación según una probabilidad del 50% y un período de retorno de 2 años.
PPe Precipitación efectiva.

Otros métodos para estimar precipitación efectiva consideran evapotranspiración del cultivo y precipitación observada como es el método de Ogrosky y Mockus; o bien, involucran además capacidad de almacenamiento del suelo como el método de Doorenbos y Pruitt.

Longitud total entre bordos antierosivos (LT). Es la distancia (m) a la que se encuentran dos bordos antierosivos, esta longitud total se separa en dos partes, una dedicada al área de siembra (L) y la otra al área de escurrimiento (LT-L).

El espaciamiento entre bordos antierosivos se puede medir utilizando la diferencia de nivel entre ellos denominado intervalo vertical (IV) o considerando la distancia horizontal (Figura 6).

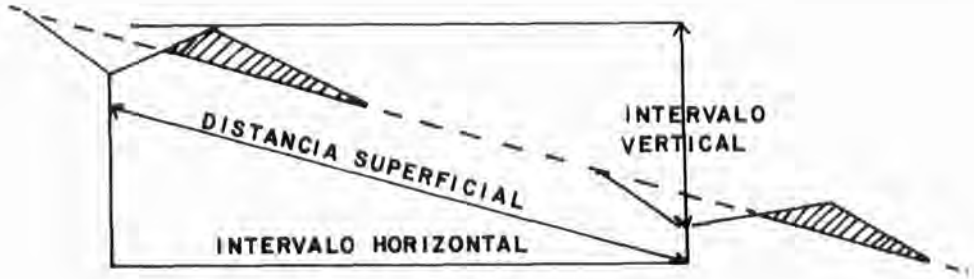


Figura 6.- Mediciones usadas en el espaciado entre bordos antierosivos.

Un método para el cálculo del intervalo vertical es el desarrollado por el Departamento de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (ASAE), cuya ecuación es la siguiente.

$$26. \text{I.V.} = (S + 2)15$$

Donde:

I.V. = Intervalo vertical (cm); 2 y 15 = Constantes; S = Pendiente del terreno (%).

Esta ecuación se recomienda para regiones cuya precipitación promedio anual sea de 550 a 660 mm.

Ejemplificando el método anterior, y para calcular el intervalo vertical en el Municipio de Villa Hidalgo, SLP se tendrá lo siguiente:

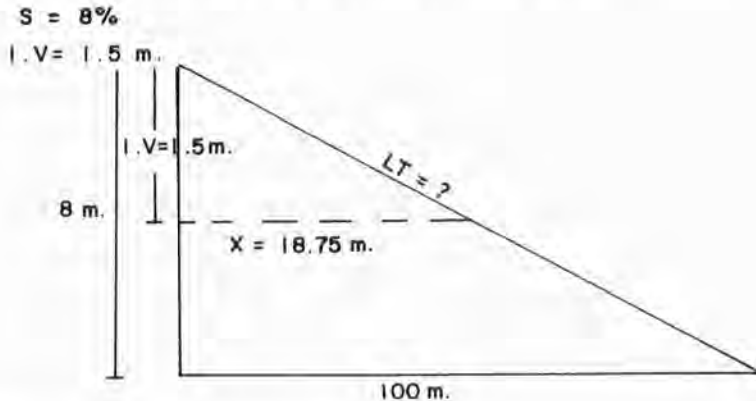
S = 8% Pendiente máxima para los terrenos de agricultura de temporal en la región.

$$\text{I.V.} = (S + 2)15$$

$$\text{I.V.} = (8 + 2)15 = 150 \text{ cm} = 1.5 \text{ m.}$$

El cálculo de la longitud total entre bordos antierosivos (LT) se puede realizar a través del teorema de pitágoras, ya conociendo los datos de pendiente e intervalo vertical.

Los datos se muestran gráficamente a continuación.



8 m - 100 m.

1.5 m - X

X = 18.75 m.

Teorema de Pitágoras.

$$(LT)^2 = (I.V.)^2 + (X)^2$$

$$(LT)^2 = (1.5)^2 + (18.75)^2$$

LT = 18.809 m. (Distancia total entre bordos antierosivos).

Determinación del parámetro "n". El parámetro "n" representa teóricamente el número de eventos lluviosos necesarios para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo durante su ciclo vegetativo.

Para la determinación del parámetro "n", es necesario considerar una serie de factores entre los cuales se mencionan los siguientes:

- Estación de crecimiento.
- Uso consuntivo (evapotranspiración) de los cultivos a establecer.
- Lámina de agua disponible.
- Patrón de extracción de humedad disponible a una distancia igual a la profundidad efectiva radical del cultivo.

a) **Estación de crecimiento.** Se refiere al periodo o estación con condiciones más favorables para el desarrollo de cultivos. La estación de crecimiento se basa en un modelo simple de balance de humedad, comparando la precipitación (PP) con la evapotranspiración del cultivo (ETP) (Figura 7).

- a = Inicio de lluvias y de estación de crecimiento.
- b1 y b2 = Inicio y terminación de período húmedo.
- c = Terminación de estación de lluvias.
- d = Terminación de estación de crecimiento.
- ETP = Evapotranspiración potencial.

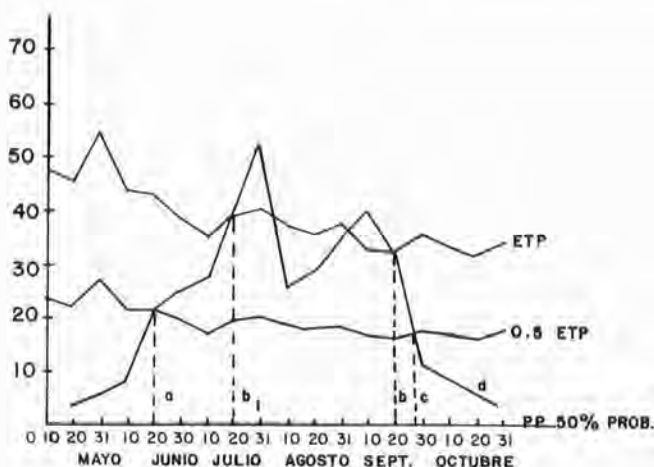


Figura 7. Estación de crecimiento en el Altiplano Potosino.

En las zonas semiáridas de México y en especial en el área de estudio que es el Altiplano Potosino, la precipitación es muy inferior a la evapotranspiración potencial por lo que prácticamente no existe estación de crecimiento.

La Figura 7, muestra un análisis de evapotranspiración potencial y precipitación, esta última con 50% de probabilidad de ocurrencia anual para datos climáticos de la estación Villa Hidalgo, SLP.

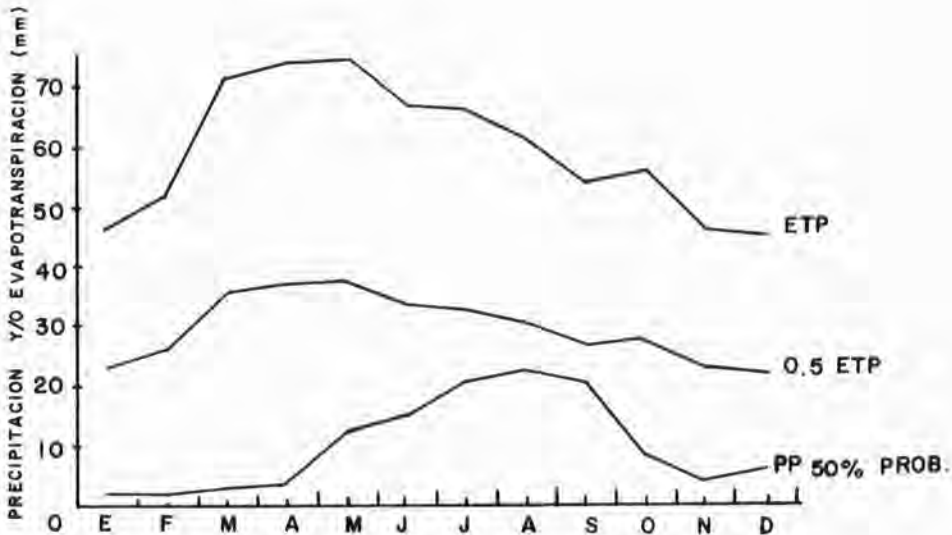


Figura 8. Estación de Crecimiento para Villa Hidalgo, S.L.P.

b) **Uso consuntivo de las especies a establecer.** Las necesidades de agua en los cultivos se pueden determinar directa e indirectamente. Dentro de los métodos directos se encuentran los lisímetros, o bien muestreos directos del suelo.

Debido a la dificultad en obtener mediciones directas y exactas se han desarrollado métodos para el cálculo de evapotranspiración en forma indirecta, mediante el uso de variables climáticas.

Uno de éstos métodos de mayor uso en zonas áridas y semiáridas es el propuesto por Blaney y Criddle. Estos investigadores con base en la temperatura y horas luz diarias, desarrollaron una ecuación cuya expresión matemática es la siguiente.

$$27. ET = KF$$

Donde:

ET = Evapotranspiración (mm)

- F = Factor de consumo estacional (mm)
 K = Coeficiente empírico de proporcionalidad (Cuadro 6)
 $F = \Sigma f$
 f = Factor de consumo quincenal o mensual
 $f = P(8.12 + 0.47 t)$
 P = Porcentaje quincenal o mensual de horas luz (Cuadro 7)
 t = Temperatura promedio quincenal o mensual

Haciendo uso de la ecuación de Blaney y Criddle para el cálculo de la evapotranspiración en el cultivo de maíz para la región de Villa Hidalgo, se tiene lo siguiente.

Estación: Villa Hidalgo, SLP
 Latitud: 22° 26' 57" LN
 Longitud: 100°40' 46" LO
 Altitud: 1620 msnm
 Años de observación: 23
 Cultivo: Maíz
 Ciclo vegetativo: 120 días

Mes	t (C)	P (%)	$f = P(8.12 + 0.457t)$	
Junio	22.08	9.103	165.77	$K = 0.85$
Julio	21.30	9.339	166.73	$ET = 634.96 \text{ mm} \times 0.85$
Agosto	21.10	9.008	160.00	$ET = 539.716 \text{ mm}$
Septiembre	19.79	8.300	142.46	
			$f = \Sigma f = 634.96 \text{ mm}$	

CUADRO 6. COEFICIENTE DE USO CONSUNTIVO (k) PARA ALGUNOS CULTIVOS.

CULTIVO	PERIODO DE CRECIMIENTO VEGETATIVO	COEFICIENTE K
Frijol	3 a 4 meses	0.6 a 0.7
Frutales hoja caduca	entre heladas	0.6 a 0.7
Girasol	4 meses	0.5 a 0.65
Pastos de gramíneas	Todo el año.	0.8 a 0.85
Maíz	4 a 7 meses	0.75 a 0.85

CUADRO 7. PORCENTAJE MENSUAL DE HORAS LUZ ANUAL PARA LATITUD NORTE PARA VILLA HIDALGO SLP.

Latitud N	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0°	8.50	7.66	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50
10°	8.13	7.47	8.45	8.37	8.81	8.60	8.86	8.71	8.25	8.34	7.91	8.10
20°	7.74	7.25	8.41	8.52	9.15	9.00	9.25	8.96	8.30	8.18	7.58	7.66
30°	7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.33	7.99	7.19	7.15
40°	6.76	6.72	8.33	8.95	10.02	10.08	10.22	9.54	8.39	7.75	6.72	7.58

c) **Lámina de agua disponible (cc-pmp) DaPr.** La lámina de agua disponible que un suelo es capaz de almacenar para el uso de los cultivos depende de varios factores físicos, entre los cuales se encuentran capacidad de campo (cc), punto de marchites permanente (pmp), profundidad de suelo (Pr) y densidad aparente (Da).

La obtención de las constantes físicas descritas, se tomó directamente de los análisis efectuados por algunas dependencias de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos; así como cartas de uso del suelo, topográficas y edafológicas levantadas por DETENAL.

En forma general el Cuadro 8, muestra algunos datos físicos que en promedio corresponden a los diferentes tipos de suelos.

CUADRO 8. CONTENIDO DE HUMEDAD CON BASE AL PESO, POROSIDAD Y DENSIDAD APARENTE QUE CORRESPONDE EN PROMEDIO A LOS DIFERENTES TIPOS DE SUELO.

Textura del suelo	Contenido de humedad con base en el peso			Da gr/cm ³	Porosidad %	Lámina de agua disponible cm/m profundidad
	cc.	pmp	H.A.			
Arena	9	4	5	1.65	38	8.25
Migajón arenosa	14	6	8	1.50	43	12.00
Migajón	22	10	12	1.40	47	16.80
Migajón arcilla	27	14	13	1.35	49	17.55
Arcilla arenosa	31	19	12	1.30	51	15.60
Arcilla	35	25	10	1.25	53	12.50

Para trabajos con mayor precisión se requiere hacer una determinación de las constantes físicas ya mencionadas por estrato, y para un sitio en particular, para lo cual existen diversas técnicas de laboratorio y de campo, específicas para tal fin.

d) **Patrón de extracción de humedad disponible.** El patrón de consumo de agua por las raíces de las plantas es de suma importancia en la determinación del parámetro "n".

Cuando un suelo está húmedo a capacidad de campo, casi toda el agua que requiere el cultivo va a ser absorbida del estrato superior del suelo, sin embargo, conforme la

humedad va disminuyendo por falta de riego o de lluvia, se hará un mayor uso del agua contenida en los estratos inferiores.

En términos generales un patrón de extracción de humedad promedio para todos los cultivos se muestra en la Figura 7.

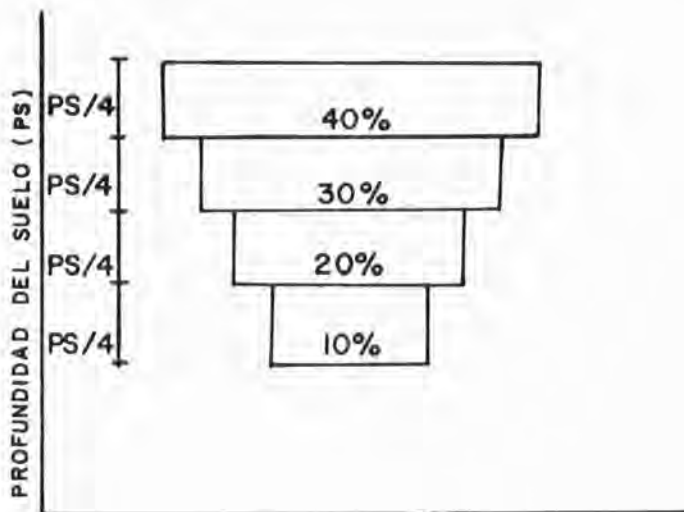


Figura 9. Patrón de extracción del agua del suelo por las raíces de las plantas.

Bajo condiciones experimentales de riego se ha demostrado que el crecimiento disminuye cuando la humedad se mantiene a capacidad de campo o, cuando se permite que consuma del 50-75% de la humedad disponible, y decae bruscamente cuando se pretende que el cultivo consuma el 100% del agua disponible del suelo. De ahí que para la determinación del parámetro "n", en este trabajo se usó un consumo de 75% de agua disponible.

Finalmente, ya con el cálculo de los incisos a,b,c y d se procede a determinar el parámetro "n" el cual se ejemplifica en el Cuadro 9.

Estación: Villa Hidalgo, SLP
 Latitud: 22° 26' 57" LN
 Longitud: 100° 40' 46" OG
 Altitud: 1620 msnm

Cultivo: maíz

Ciclo vegetativo: 120 días.

Profundidad de suelo: Mayor a 1.0 m.

Profundidad efectiva de enraizamiento del cultivo: 1.0 m.

Uso consuntivo: 539.716 mm. = 53.971 cm.

Demanda evapotrans. diaria = $\frac{53.971 \text{ cm}}{120 \text{ días}} = 0.449 \text{ cm/día.}$

Humedad disponible por metro de profundidad: (cc-pmp) DaPR = (27-14) 1.32 X 1.0 = 17.55 cm/m.

75% de humedad disponible = 17.55 cm/m X 0.75 = 13.162 cm/m.

Textura del suelo: Migajón arcillosa.

cc = 27

pmp = 14

Da = 1.35 g/cm³

Pr = 1.0 m

Del análisis anterior se deduce que el parámetro "n" debe tener un valor igual a 6.52 (120 días / 18.38 días = 6.52) con una lámina neta de 8.18 cm (81.8 mm).

Lo anterior representa para el caso de una agricultura de riego, el número de riegos que un cultivo de maíz requiere durante su ciclo vegetativo, con un espaciamiento entre riegos de 18 días y aplicando una lámina neta de 8.18 cm/riego.

Para el caso de una agricultura de temporal, representa el número de eventos lluviosos para satisfacer los requerimientos hídricos cuando el cultivo ha consumido el 75% del agua disponible.

El área de siembra se calcula substituyendo directamente los datos en el modelo propuesto

$$L = \frac{CE(PP)LT}{(cc-pmp)DaPrn + CE(PP)-PPe}$$

Datos:

Textura del suelo: Migajón arcilloso

CE: 0.5 (Cuadro 1)

PP: 155.8 mm (junio, julio, agosto y septiembre. Cuadro 3) = 0.1558 m

LT: 18.809 m

CUADRO 9. CALCULO DE PARAMETRO "n" PARA EL CULTIVO DE MAIZ EN LA REGION DE VILLA HIDALGO, SAN LUIS POTOSI.

Profundidad	Patrón de extracción de humedad (%)	Humedad disponible por estrato (cm)	Demanda evapotranspirativa diaria cm/día/estrato	Tiempo de abatimiento de humedad disponible por estrato (días).	Lámina neta (cm)
25 cm	40	$13.16 \times 0.25 = 3.2906$	$0.449 \times 0.4 = 0.179$	$3.2906/0.179 = 18.38$	3.29
50 cm	30	$13.162 \times 0.25 = 3.2906$	$0.449 \times 0.3 = 0.134$	$3.2906/0.134 = 24.55$	2.46
75 cm	20	$13.162 \times 0.25 = 3.2906$	$0.449 \times 0.2 = 0.189$	$3.2906/0.089 = 36.97$	1.63
100 cm	10	$13.162 \times 0.25 = 3.2906$	$0.449 \times 0.1 = 0.044$	$3.2906/0.044 = 74.78$	0.80
					8.18

cc: 27% = 0.27

pmp: 14% = 0.14

Da: 1.35 g/cm³

Pr: 1.0 m

n: 6.52

PPe: 145.22 mm (junio, julio, agosto y septiembre. Cuadro 5) = 0.14522 m

$$L = \frac{0.5 \times 0.1558 \times 18.809}{(0.27-0.14) 1.35 \times 1.0 \times 6.52 + 0.5 \times 0.1558 \text{ m} - 0.14522 \text{ m}}$$

$$L = 1.36 \text{ m}$$

Lo anterior significa que de 18.809 m de distancia entre bordos antierosivos, 1.36 m deberán dedicarse al área de siembra y 17.4 m como área de escurrimiento en relación 1:13. Considerando que una planta de maíz abarca un diámetro de desarrollo radical de 0.5 m en extensión horizontal, podemos disminuir la distancia entre bordos a 6.5 m y de estos sembrar 0.5 m.

RESULTADOS

Aplicando el modelo propuesto para el establecimiento de cultivos agrícolas en los municipios que conforman al Altiplano Potosino, se obtuvieron las relaciones área siembra-escurrimiento mostradas en el Cuadro 10.

En forma generalizada las relaciones promedio son las siguientes: maíz 1:8, frijol 1:6.5, especies caducifolias 1:7.5 y pastos anuales 1:10. Lo anterior da una idea de dichas relaciones, ya que para obtener una relación más específica se requiere contar con datos de clima, suelo y cultivo para una localidad particular.

La veracidad del modelo, depende de la metodología que se utilice en la obtención de cada parámetro; se requiere que el criterio personal sea utilizado acorde a las circunstancias particulares para la determinación de algún parámetro.

El parámetro "n" es importante en la estimación de la relación área siembra-escurrimiento porque involucra factores físicos del suelo y de la planta. En teoría representa el número de lluvias necesarias durante el ciclo de cultivo de tal magnitud que en cada precipitación se eleve la humedad a capacidad de campo a determinada profundidad

CUADRO 10. RELACIONES TEORICAS AREA DE SIEMBRA, AREA DE ESCURRIMIENTO PARA DIVERSOS CULTIVOS DE ACUERDO CON UNA PROBABILIDAD ANUAL DE LLUVIA DEL 50%. VILLA HIDALGO, SLP

Estación	Pendiente %	Maíz			Frijol		Especies caducifolias		Pastos	
		LT (m)	L (m)	(LT-L) (m)	L (m)	(LT-L) (m)	L (m)	(LT-L) (m)	L (m)	(LT-L) (m)
Villa de Ramos.	1	45.0	3.56	41.44	4.46	40.54	5.03	39.97	3.70	41.30
	2	30.00	2.38	27.62	2.98	27.02	3.36	26.64	2.47	27.53
	3	25.00	1.98	23.02	2.48	22.52	2.80	22.20	2.06	22.94
	4	22.50	1.79	20.71	2.24	20.26	2.60	19.90	1.86	20.64
	5	21.03	1.67	19.36	2.10	18.93	2.40	18.63	1.73	19.30
	6	20.04	1.59	18.45	1.99	18.05	2.25	17.79	1.65	18.39
	7	19.33	1.53	17.80	1.92	17.41	2.17	17.16	1.59	17.74
	8	18.81	1.49	17.32	1.87	16.94	2.11	16.17	1.55	17.26
La Salitrera	1	45.00	10.19	34.81	9.30	35.70	8.70	36.30	7.20	37.80
Villa de Zaragoza.	2	30.00	6.80	23.20	6.20	23.80	5.80	24.20	4.80	25.20
	3	25.00	5.70	19.30	5.20	19.80	4.90	20.10	4.00	21.00
	4	22.50	5.10	17.40	4.70	17.80	4.40	18.10	3.60	18.90
	5	21.03	4.80	16.23	4.40	4.79	4.10	16.93	3.40	17.63
	6	20.04	4.60	15.44	4.20	15.84	3.90	16.14	3.20	16.84
	7	19.33	4.40	14.93	4.00	15.33	3.80	15.53	3.10	16.23
	8	18.81	4.30	15.51	3.90	14.91	3.60	15.21	3.00	15.81
El Peaje SLP.	1	45.00	7.95	37.05	6.28	38.72	6.28	38.72	4.60	40.40
	2	30.00	5.30	24.70	4.20	25.80	4.20	25.80	3.10	26.90

continúa...

Estación	Pendiente		Maíz		Frijol		Especies caducifolias		Pastos	
	%	LT (m)	L (m)	(LT-L) (m)	L (m)	(LT-L) (m)	L (m)	(LT-L) (m)	L (m)	(LT-L) (m)
Villa Hidalgo.	3	25.00	4.42	20.58	3.50	21.50	3.50	21.50	2.60	22.40
	4	22.50	3.98	18.52	3.15	19.35	3.15	19.35	2.30	20.20
	5	21.03	3.72	17.31	2.94	18.09	2.94	18.09	2.15	18.88
	6	20.04	3.55	16.49	2.80	17.24	2.80	17.24	2.05	17.99
	7	19.33	3.42	15.91	2.70	16.63	2.70	16.63	1.98	17.35
	8	18.81	3.32	15.49	2.62	16.19	2.62	16.19	1.93	16.88
	1	45.00	3.31	41.69	1.78	43.22	4.12	40.88	2.91	42.09
	2	30.00	2.21	27.79	1.19	28.10	2.75	27.25	1.95	28.05
	3	25.00	1.84	23.16	0.99	24.01	2.30	22.70	1.62	23.38
	4	22.50	1.66	20.84	0.90	21.60	2.10	20.40	1.46	21.05
	5	21.03	1.55	19.48	0.85	20.18	1.94	19.09	1.36	19.67
	6	20.04	1.48	18.56	0.80	19.24	1.84	18.20	1.30	18.74
	7	19.33	1.43	17.90	0.77	18.56	1.78	17.55	1.26	18.07
	8	18.81	1.39	17.42	0.75	18.06	1.73	17.08	1.22	17.59
	Vanegas.	1	45.00	0.400	44.600	0.43	44.57	3.95	41.05	2.95
2		30.00	0.250	29.750	0.29	29.71	2.64	27.36	1.97	28.03
3		25.00	0.220	24.780	0.24	24.76	2.20	22.80	1.64	23.36
4		22.50	0.210	22.290	0.22	22.28	1.98	20.52	1.48	21.02
5		21.03	0.190	20.840	0.21	20.82	1.85	19.18	1.38	19.65
6		20.04	0.180	19.860	0.20	19.84	1.76	18.28	1.32	18.72
7		19.33	0.175	19.155	0.19	19.14	1.70	17.63	1.27	18.06
8		18.81	0.170	18.640	0.18	18.63	1.66	17.15	1.24	17.57

continúa...

Estación	Pendiente %	Maíz			Frijol		Especies caducifolias		Pastos	
		LT (m)	L (m)	(LT-L) (m)	L (m)	(LT-L) (m)	L (m)	(LT-L) (m)	L (m)	(LT-L) (m)
Villa de Arista.	1	45.00	4.98	40.02	5.58	39.42	5.00	40.00	3.71	41.29
	2	30.00	3.33	26.67	3.72	26.28	3.40	26.60	2.50	27.50
	3	25.00	2.77	22.23	3.10	21.90	2.80	22.20	2.10	22.90
	4	22.50	2.50	20.00	1.80	19.70	2.50	10.00	1.90	20.60
	5	21.03	2.33	18.70	2.62	18.41	2.40	18.63	1.75	19.28
	6	20.04	2.22	17.82	2.49	17.55	0.30	17.74	1.65	18.39
	7	19.33	2.15	17.18	3.40	15.93	2.20	17.13	1.60	17.73
	8	18.81	2.10	16.71	2.34	16.47	2.10	16.71	1.55	17.26
Charcas.	1	45.00	3.10	41.90	4.70	40.30	5.5	39.50	4.15	4.085
	2	30.00	2.10	27.90	3.15	26.85	3.7	26.30	2.80	27.20
	3	25.00	1.75	23.25	2.65	22.35	3.05	21.95	2.30	22.70
	4	22.50	1.57	20.93	2.40	20.10	2.80	19.70	2.10	20.40
	5	21.03	1.45	19.58	2.20	18.83	2.60	18.43	1.95	19.08
	6	20.04	1.40	18.64	2.10	17.94	2.45	17.59	1.85	18.19
	7	19.33	1.35	17.98	2.05	17.28	2.35	16.98	1.80	17.53
	8	18.81	1.30	17.51	2.00	16.81	2.30	16.51	1.75	17.06
Huizache Guadalcazar.	1	45.00	6.55	38.45	7.90	37.10	6.60	38.40	4.90	40.10
	2	30.00	4.34	25.66	5.25	24.75	4.40	25.60	3.30	26.70
	3	25.00	3.65	21.35	4.40	20.60	3.70	21.30	2.70	22.30
	4	22.50	3.30	19.20	3.95	18.55	3.30	19.20	2.50	20.00
	5	21.03	3.10	17.93	2.70	17.33	3.10	17.93	2.30	18.73
	6	20.04	3.00	17.04	3.50	16.54	2.95	17.09	2.20	17.84

continúa...

Estación	Pendiente		Maíz			Frijol		Especies caducifolias		Pastos	
	%	LT (m)	L (m)	(LT-L) (m)	L (m)	(LT-L) (m)	L (m)	(LT-L) (m)	L (m)	(LT-L) (m)	
Villa de Arriaga.	7	19.33	2.80	16.53	3.40	15.93	2.85	16.48	2.10	17.23	
	8	18.81	2.75	16.06	3.30	15.51	2.75	16.06	2.00	16.81	
	1	45.00	7.10	37.90	10.40	34.60	5.40	39.60	4.00	41.00	
	2	30.00	4.70	25.30	6.90	23.10	3.60	26.40	2.70	27.30	
	3	25.00	4.00	21.00	5.80	19.20	3.00	22.00	2.20	22.80	
	4	22.50	3.60	18.90	5.20	17.30	2.70	19.80	2.00	20.50	
	5	21.03	3.30	17.73	4.90	16.13	2.50	18.53	1.90	19.13	
	6	20.04	3.15	16.89	4.60	15.44	2.40	17.64	1.80	18.24	
Sta. Ma. del Refugio.	7	19.33	3.10	16.23	4.50	14.83	2.30	17.03	1.70	17.63	
	8	18.81	3.00	15.81	4.30	15.51	2.25	16.56	1.65	17.16	
	1	45.00	2.50	42.50	2.10	42.90	4.80	40.20	3.60	41.40	
	2	30.00	1.70	28.30	1.40	28.60	3.20	26.80	2.40	27.60	
	3	25.00	1.40	23.60	1.20	23.80	2.70	22.30	2.00	23.00	
	4	22.50	1.30	21.20	1.10	21.40	2.40	20.10	1.80	20.70	
	5	21.03	1.20	19.83	1.00	20.03	2.25	18.78	1.70	19.33	
	6	20.04	1.15	18.89	0.95	19.09	2.10	17.94	1.60	18.44	
San Luis Potosí.	7	19.33	1.10	18.23	0.90	18.43	2.00	17.33	1.50	17.83	
	8	18.81	1.05	17.76	0.90	17.91	2.00	16.81	1.50	17.31	
	1	45.00	5.70	39.30	4.20	40.80	6.00	39.00	4.40	40.60	
	2	30.00	3.80	26.20	2.80	27.20	4.00	26.00	3.00	27.00	
	3	25.00	3.15	21.85	2.30	22.70	3.30	21.70	2.50	22.50	

continúa...

Estación	Pendiente %	Maíz			Frijol		Especies caducifolias		Pastos	
		LT (m)	L (m)	(LT-L) (m)	L (m)	(LT-L) (m)	L (m)	(LT-L) (m)	L (m)	(LT-L) (m)
Los Pilares Ahualulco.	4	22.50	2.85	19.65	2.10	20.40	3.00	19.50	2.20	20.30
	5	21.03	2.70	18.37	1.95	19.08	2.80	18.23	2.10	18.93
	6	20.04	2.50	17.54	1.85	18.19	2.70	19.34	2.00	18.04
	7	19.33	2.40	16.93	1.80	17.53	2.60	16.73	1.90	17.43
	8	18.81	2.35	16.46	1.75	17.06	2.50	16.31	1.85	16.96
	1	45.00	6.00	39.00	8.40	36.60	4.50	40.50	3.40	41.60
	2	30.00	4.00	26.00	5.60	24.40	3.00	27.00	2.30	27.70
	3	25.00	3.30	21.70	4.70	20.30	2.50	22.50	2.00	23.00
	4	22.50	3.00	19.50	4.20	18.30	2.30	20.20	1.75	20.75
	5	21.03	2.80	18.23	4.00	17.03	2.10	18.93	1.60	19.43
	6	20.04	2.70	17.34	3.80	16.24	2.00	18.04	1.55	18.49
	7	19.33	2.60	16.73	3.60	15.73	1.95	17.38	1.50	17.83
	8	18.81	2.50	16.31	3.50	15.31	1.90	16.91	1.45	17.36
	Santa Ma. de la Reforma.	1	45.00	5.20	39.80	6.10	38.90	5.00	40.00	3.80
2		30.00	3.50	26.50	4.10	25.90	3.40	26.60	2.60	27.40
3		25.00	2.90	22.10	3.40	21.60	2.80	22.20	2.20	22.80
4		22.50	2.65	19.85	3.10	19.40	2.50	20.00	2.00	20.50
5		21.03	2.50	18.53	2.90	18.13	2.40	18.63	1.80	19.23
6		20.04	2.40	17.64	2.80	17.24	2.30	17.74	1.70	18.34
7		19.33	2.30	17.03	2.65	16.68	2.20	17.33	1.65	17.68
8		18.81	2.20	16.61	2.55	16.26	2.10	16.71	1.60	17.21

continúa...

Estación	Pendiente		Maíz		Frijol		Especies caducifolias		Pastos	
	%	LT (m)	L (m)	(LT-L) (m)	L (m)	(LT-L) (m)	L (m)	(LT-L) (m)	L (m)	(LT-L) (m)
Mexquitic.	1	45.00	6.80	38.20	7.80	37.20	5.40	39.60	4.00	41.00
	2	30.00	4.55	25.45	5.20	24.80	3.60	26.40	2.70	27.30
	3	25.00	3.80	21.20	4.30	20.70	3.00	22.00	2.30	22.70
	4	22.50	3.40	19.10	3.90	18.60	2.70	19.80	2.10	20.40
	5	21.03	3.20	17.83	3.70	17.33	2.55	18.48	1.90	19.13
	6	20.04	3.05	16.99	3.50	16.54	2.40	17.64	1.80	18.24
	7	19.33	3.00	16.33	3.30	16.03	2.31	17.02	1.75	17.58
	8	18.81	2.85	15.96	3.25	15.56	2.25	16.56	1.70	17.11
Matehuala.	1	45.00	6.60	38.40	7.90	37.10	6.90	38.10	5.10	39.90
	2	30.00	4.40	25.60	5.80	24.20	4.60	25.40	3.40	26.60
	3	25.00	3.70	21.30	4.40	20.60	3.80	21.20	2.90	22.10
	4	22.50	3.30	19.20	4.00	18.50	3.50	19.00	2.60	19.90
	5	21.03	3.10	17.93	3.70	17.33	3.20	17.83	2.40	18.63
	6	20.04	3.00	17.04	3.55	16.49	3.10	16.94	2.30	17.74
	7	19.33	2.85	16.48	3.40	15.93	3.00	16.33	2.20	17.13
	8	18.81	2.80	16.01	3.30	15.51	2.90	15.91	2.15	16.66
Moctezuma.	1	45.00	5.30	39.70	6.65	38.35	4.70	40.30	3.50	41.50
	2	30.00	3.60	26.40	4.50	25.50	3.10	26.90	2.40	27.60
	3	25.00	3.00	22.00	3.70	21.30	2.60	22.40	2.00	23.00
	4	22.50	2.70	19.80	3.30	19.20	2.40	20.10	1.80	20.70
	5	21.03	2.50	18.53	3.10	17.93	2.20	18.83	1.70	19.33
	6	20.04	2.40	17.64	3.00	17.04	2.10	17.94	1.60	18.44
	7	19.33	2.30	17.03	2.90	16.43	2.00	17.33	1.50	17.83
	8	18.81	2.25	16.56	2.80	16.01	1.95	16.85	1.45	17.36

igual a la del cultivo, cuando éste ha consumido un 75% de la humedad disponible. Se ha comprobado que este valor constituye el límite de humedad disponible, en el cuál los cultivos no se ven afectados en su crecimiento; sin embargo, existen cultivos tolerantes a la sequía, soportando mayores abatimientos de humedad disponible, sin que decaigan sus rendimientos. Lo anterior debe considerarse al seleccionar las especies. Es de esperarse que aquellas con mejor tolerancia a la sequía, tendrán mayor posibilidad de éxito.

La parte complementaria del presente estudio, es la aplicación y validación del modelo propuesto para la cosecha de agua de lluvia "in situ" con fines agrícolas forestales y frutícolas y se requiere la implantación bajo condiciones áridas y semiáridas, con diferentes cultivos y bajo diferentes características del suelo, de tal manera que los resultados obtenidos permitan involucrar los factores que sean adecuados para cierta región.

Cabe aclarar que los sitios escogidos deben ser representativos de los diferentes niveles de precipitación y condiciones del suelo de la región. De igual forma la selección de especies vegetales debe involucrar un amplio rango de profundidad radical, tolerancia a la sequía, utilidad económica y adaptabilidad potencial a la región.

CONCLUSIONES

- 1.- El volúmen de agua que cae en el área de siembra, más la que cae en el área de contribución y que es cedida en forma de escurrimientos al área de cultivo, satisface los requerimientos hídricos del cultivo.
- 2.- El desarrollo del modelo propuesto se fundamenta en un análisis integral de las relaciones suelo, planta y clima.
- 3.- Debido al uso de probabilidad de lluvia anual, los cultivos sufren déficit hídrico, por lo que la selección de las especies vegetales deben involucrar un amplio rango de profundidades radicales, tolerancia a la sequía y adaptabilidad potencial a la región; por lo que se recomienda usar especies perennes.
- 4.- El uso del modelo aunque se enfoca a una agricultura de escurrimientos en zonas áridas y semiáridas, puede aplicarse a regiones más lluviosas donde debido a la distribución de la precipitación, los cultivos presenten déficit hídrico.

- 5.- Debido a que el modelo determina la relación teórica área siembra - escurrimiento, es necesario validarlo en pruebas de campo y obtener los ajustes para cultivos y localidades particulares.
- 6.- Aplicando el modelo propuesto a las condiciones ecológicas del Altiplano Potosino, se obtuvieron las siguientes relaciones teóricas generales: frijol 1:65, especies cadufoalias 1:7.5, maíz 1:8 y pastos anuales 1:10.

De lo anterior deducimos que las especies más indicadas para usar con esta tecnología son especies perennes, ya que la relación área siembra - escurrimiento para especies anuales es muy amplio lo que aumentaría el costo de la inversión necesaria para el dueño de la microcuenca.

LITERATURA CITADA

- ANAYA, G.M., TOVAR S.J.L. y MACIAS L.A. 1976. *Métodos de capacitación de lluvias para zonas agrícolas con temporal deficiente México*. Colegio de Postgraduados de Chapingo.
- CONTRERAS ARIAS, A. 1955. *Definición de las zonas áridas y su delimitación en el territorio Mexicano*. Mesas redondas sobre problemas de las zonas áridas de México. México, D.F. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. p. 1 -24.
- CLUFF, C.B. and DUTT, G.R. 1966. *Using salt to increase irrigation water*. "Progressive Agriculture". Tucson, Arizona. University of Arizona. 28(4):12-13.
- HILLEL, D. et al. 1965. *Runoff inducement in arid lands*. Annual research report, Rehovot. Israel. National an University. Institute of Agriculture. Volcani Institute of Agricultural Research.
- JIMÉNEZ GUERRERO, J.A. 1976. *Uso de microcuencas para la producción de forraje y estudio de la humedad del suelo, mediante el empleo de bloques de resistencia*. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. Tesis Profesional p. 9-10.
- LAURITZEN, C.W. 1961. *Collection "Desert rainfall"*. *Crops and Soils* 13(9): 7-8
- MYERS, L.E. 1961. *Waterproofing soil to collect precipitation*. *Journal of soil and water conservation*. 16(6):281-282.

-
- MYERS, L.E. 1964. *Harvesting precipitation* Assoc. Sci. Hydrology. Pub. No. 65 Berkely California.
- MYERS, L.E. 1967. *New water supplies from precipitation harvesting*. International conference on water for peace. Washington D.C.
- SMITH, G.L. 1978. *Water harvesting technology applicable to semiarid, subtropical climates*. Agency for Internacional Development. Washington D.C. Bibliografic input sheet Colorado State University, forth collings Colorado, p. 1-6.
- TOVAR SALINAS, J.L. 1977. *Captación y aprovechamiento del recurso lluvia como una alternativa para la producción de grano y forraje de maíz en zonas de temporal deficiente*. Chapingo, México. Escuela Nacional de Agricultura, Colegio de Postgraduados. Tesis Profesional p.10-11.
- VELASCO MOLINA, A.M. 1983. *Uso y Manejo del Suelo*. Ed. Limusa. México p. 123-125. 139 -147.