

SISTEMAS DE CAPTACION DE AGUA DE LLUVIA EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE: BASE PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

MANUAL TECNICO



IICA
P10
33



AGENCIA DE COOPERACION TECNICA IICA-MEXICO
1998

¿QUE ES EL IICA?

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) es el organismo especializado en agricultura del Sistema Interamericano. Sus orígenes se remontan al 7 de octubre de 1942, cuando el Consejo Directivo de la Unión Panamericana aprobó la creación del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, con sede en Costa Rica.

Fundado como un ente dedicado a la investigación agronómica y a la enseñanza de postgrado para los trópicos, el IICA se convirtió progresivamente, ante los cambios y las nuevas necesidades del Continente Americano, en un organismo de cooperación técnica para la agricultura. Estas transformaciones fueron reconocidas formalmente con la ratificación, el 8 de diciembre de 1980, de una nueva Convención, la cual estableció como fines del IICA estimular, promover y apoyar la cooperación entre sus Estados Miembros, para lograr el desarrollo agrícola y el bienestar rural.

Los órganos de gobierno en que participan los Estados Miembros son la Junta Interamericana de Agricultura y el Comité Ejecutivo, de los cuales emanan los lineamientos políticos que ejecuta la Dirección General. El IICA hoy posee gran alcance geográfico que le permite responder a las necesidades de cooperación técnica en los países, a través de sus Agencias de Cooperación Técnica y de cinco Centros Regionales desde los cuales se coordina la implementación de estrategias adecuadas a las características de cada área.

El Plan de Mediano Plazo (PMP) 1998-2002 constituye el marco orientador estratégico de las acciones del IICA para el periodo de referencia.

Su objetivo general es apoyar a los Estados Miembros para lograr la sostenibilidad agropecuaria, en el marco de la integración hemisférica, y como contribución al desarrollo rural humano.

El IICA fija sus actividades técnica en cuatro Areas Estratégicas:

- *Políticas Socioeconómicas, Comercio e Inversiones;*
- *Ciencia y Tecnología, Recursos Naturales y Producción Agropecuaria;*
- *Sanidad Agropecuaria;*
- *Desarrollo Rural Sostenible,*

La acción del IICA se apoya en dos servicios Especializados:

- *Capacitación, Educación y Comunicación;*
- *Información, Documentación e Informática.*

Los Estados Miembros del IICA son: Antigua y Barbuda, Argentina, Barbados, Belice, Bolivia, Brasil, Canadá, Chile, Colombia, Costa Rica, Dominica, Ecuador, El Salvador, Estados Unidos de América, Granada, Guatemala, Guyana, Haití, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, St. Kitts y Nevis, Santa Lucía, San Vicente y las Granadinas, Suriname, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela.

Los Observadores Permanentes son: Alemania, Austria, Bélgica, Comunidades Europeas, España, Federación de Rusia, Francia, Hungría, Israel, Italia, Japón, Portugal, Reino de los Países Bajos, República Árabe de Egipto, república de Corea, República de Polonia y Rumania.

100
P10
21

418

1937

— I I C A —
CENTRO REFERENCIAL
BIBLIOTECA VENEZUELA

SISTEMAS DE CAPTACION DE AGUA DE LLUVIA EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE:

BASE PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

MANUAL TECNICO

Autor: Dr. Manuel Anaya Garduño

**Colaboradores: Dr. Juan José Salazar Cruz
Ms. C. Víctor Tunarosa Murcia
Biol. Crispín Arévalo López**

MEXICO, 1998

00007451

010

33

P R O L O G O

En la mayor parte de las zonas áridas, semi-áridas y sub-húmedas secas, la precipitación pluvial generalmente es insuficiente para satisfacer la necesidad de agua de los diversos cultivos. Lo anterior, indica la urgente necesidad de establecer y reforzar programas y proyectos sobre sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia con el objeto de mitigar los efectos de la sequía, aumentar los rendimientos unitarios de los cultivos y mejorar las condiciones de vida de los productores.

América Latina y el Caribe representan una de las más importantes regiones del mundo, donde más del 95% de la superficie dedicada a la actividades agrícolas, pecuarias y forestales esta bajo condiciones de temporal. Las zonas áridas y semi-áridas cubren el 16% de la superficie terrestre y albergan al 17% de la población rural. En esta región se cuenta con tecnología autóctona y tradicional heredada por las culturas de los mayas, los incas y los aztecas, los cuales dejaron verdaderas obras de ingeniería agrícola e hidráulica relacionadas con la conservación y manejo integral de los recursos agua, suelo y planta. Es por ello que se plantea la necesidad de establecer y reforzar programas masivos para la utilización del agua de lluvia con fines de consumo humano, uso industrial y producción agrícola, pecuaria y forestal.

Para lograr lo anterior se requiere la formulación programas de rescate de tecnología autóctona y tradicional la cual combinada con el conocimiento moderno generará paquetes tecnológicos sobre captación y aprovechamiento del agua de lluvia, base para la tecnificación de la agricultura y transición hacia el desarrollo sostenible.

El IICA ha apoyado la elaboración de este manual, para lo cual se contó con la excelente colaboración del Doctor Manuel Anaya Garduño, profesor del Colegio de Postgraduados, con la intención de ofrecer a profesionales, técnicos y productores guías básicas para el establecimiento de sistemas de captación de agua de lluvia. Además, esperamos sea de utilidad para todas aquellas personas involucradas en el desarrollo rural integral.

Dr. Juan José Salazar Cruz
Representante IICA-México

CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS.....	i
INDICE DE CUADROS.....	iii
CAPITULO I. DESERTIFICACION EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE: ESTRATEGIAS PARA SU PREVENCIÓN Y CONTROL.....	1
SITUACION MUNDIAL	1
<i>Tierra, Población, Producto Nacional Bruto.....</i>	<i>1</i>
SITUACION EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE	4
<i>Programas y Proyectos.....</i>	<i>6</i>
ESTRATEGIAS PARA ESTABLECER MEDIDAS PREVENTIVAS, CORRECTIVAS Y DE REHABILITACION	7
<i>Combate a la Degradación de la Tierra.....</i>	<i>7</i>
<i>Legislación y Normatividad.....</i>	<i>7</i>
<i>Sensibilización y Concientización.....</i>	<i>8</i>
<i>Ordenamiento y Planificación Integral.....</i>	<i>8</i>
<i>Prioridades, Objetivos y Propósitos.....</i>	<i>9</i>
POLITICAS DE ACCION PARA LOGRAR LA TRANSICION HACIA EL MANEJO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS NATURALES.....	9
<i>Políticas de Acción.....</i>	<i>10</i>
<i>Acciones a nivel nacional.....</i>	<i>11</i>
CONCLUSIONES.....	12
BIBLIOGRAFIA.....	12
CAPITULO II. MICROCAPTACION PARA CULTIVOS ANUALES Y PERENNES	14
ANTECEDENTES.....	14
ASPECTOS TECNICOS.....	14
<i>Descripción.....</i>	<i>14</i>
<i>Selección de Cultivos.....</i>	<i>15</i>
<i>Estimación del Uso Consuntivo.....</i>	<i>15</i>
<i>Objetivos.....</i>	<i>18</i>
<i>Ubicación y Selección del Sitio.....</i>	<i>18</i>
<i>Diseño, Trazo y Construcción. Métodos de captación in situ utilizando la fórmula de Anaya et al., para determinar el tamaño de las microcaptaciones.....</i>	<i>18</i>
APLICACION DE LA FORMULA DE ANAYA ET AL., PARA CULTIVOS EN HILERA	20
<i>Diseño.....</i>	<i>20</i>
<i>Trazo.....</i>	<i>20</i>
<i>Construcción.....</i>	<i>20</i>

APLICACION DE LA FORMULA DE ANAYA ET AL, PARA CULTIVOS DENSOS	24
<i>Diseño</i>	24
<i>Trazo</i>	24
<i>Construcción</i>	25
APLICACION DE LA FORMULA DE ANAYA ET AL, PARA FRUTALES.....	25
<i>Diseño</i>	25
<i>Trazo</i>	26
<i>Construcción</i>	26
<i>Preparación del área de siembra</i>	26
<i>Construcción de los bordos</i>	27
<i>Acondicionamiento del área de escorrentía</i>	27
MANEJO DE LAS MICROCAPTACIONES	28
EVALUACION DE MODELOS PARA EL DISEÑO DE MICROCAPTACIONES	30
<i>Mantenimiento</i>	30
<i>Potencial de producción</i>	31
<i>Grado de complejidad</i>	31
<i>Limitaciones</i>	31
IMPACTOS SOCIOECONOMICO Y AMBIENTAL.....	31
<i>Costos y retornos</i>	31
<i>Generación de empleo</i>	31
<i>Sostenibilidad</i>	31
CAPITULO III. DISEÑO DEL MODELO PARA LA RELACION AREA DE CAPTACION/AREA CULTIVADA*	33
INTRODUCCION.....	33
SISTEMAS DE PRODUCCION PARA CULTIVOS.....	34
<i>Necesidades de agua de los cultivos (Uso Consuntivo)</i>	35
<i>Lluvia de diseño</i>	35
<i>Coefficiente de escorrentía</i>	35
<i>Factor de eficiencia</i>	36
EJEMPLOS SOBRE COMO CALCULAR LA RELACION C/CA.....	36
SISTEMAS DE CAPTACION PARA ARBOLES	37
SISTEMAS PARA CULTIVOS FORRAJEROS Y AGOSTADEROS (PRADERAS).....	39
CAPITULO IV. CAMELLONES CON SURCOS EN CONTORNO PARA CULTIVOS*	40
ANTECEDENTES.....	40
DETALLES TECNICOS.....	41
<i>Adaptabilidad</i>	41
<i>Limitaciones</i>	41
<i>Configuración general</i>	41

<i>Relación área de captación/área cultivada</i>	42
<i>Diseño del camellón</i>	42
<i>Cantidades y trabajo</i>	42
<i>Variaciones de diseño</i>	43
<i>Diseño y construcción</i>	44
<i>Mantenimiento</i>	45
<i>Aspectos Agronómicos</i>	45
<i>Factores Socioeconómicos</i>	46
CAPITULO V. BORDOS TRAPEZOIDALES*	47
ANTECEDENTES	47
DETALLES TECNICOS	47
<i>Adaptabilidad</i>	47
<i>Limitaciones</i>	47
<i>Configuración general</i>	48
<i>Relación Area de Captación: Area Cultivada (C/CA)</i>	48
<i>Diseño del Bordo</i>	49
<i>Dimensiones y Cantidades de movimiento de tierra</i>	51
<i>Variaciones de Diseño</i>	51
<i>Diseño y Construcción</i>	53
<i>Mantenimiento</i>	57
<i>Aspectos Agronómicos</i>	58
<i>Factores Socioeconómicos</i>	58
CAPITULO VI. BORDOS DE PIEDRA AL CONTORNO*	59
ANTECEDENTES	59
DETALLES TECNICOS	60
<i>Adaptabilidad</i>	60
<i>Configuración Global</i>	60
<i>Relación Area de Captación: Area Cultivada</i>	62
<i>Diseño de bordos</i>	62
<i>Cantidades y Trabajo</i>	62
<i>Variación de Diseño</i>	62
<i>Diseño y construcción</i>	65
<i>Mantenimiento</i>	66
ASPECTOS AGRONOMICOS	66
FACTORES SOCIOECONOMICOS	66
CAPITULO VII. BORDOS ESCALONADOS*	68

ANTECEDENTES.....	68
DETALLES TECNICOS.....	68
<i>Adaptabilidad</i>	68
<i>Configuración Global</i>	68
<i>Relación Area de Captación/Area Cultivada</i>	69
<i>Diseño del Bordo</i>	69
<i>Cantidades y Trabajo</i>	70
<i>Variaciones de Diseño</i>	71
<i>Diseño y construcción</i>	72
MANTENIMIENTO.....	75
MANEJO DEL CULTIVO.....	75
FACTORES SOCIOECONOMICOS.....	76
CAPITULO VIII. EMBALSE PARA RIEGO DE SALVACION*	77
ANTECEDENTES.....	77
ASPECTOS TECNICOS.....	77
<i>Descripción</i>	77
<i>Area de cultivo (Ac)</i>	77
<i>Tanque de almacenamiento (Ta) o embalse</i>	78
<i>Area de siembra (As)</i>	78
OBJETIVO.....	78
UBICACION Y SELECCION DEL AREA.....	78
<i>Suelo</i>	78
<i>Clima</i>	79
<i>Topografía</i>	80
SELECCION DEL AREA DE CAPTACION (AC).....	81
SELECCION DEL AREA DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO (TA) O RESERVORIO.....	82
SELECCION DEL AREA DE SIEMBRA (AS).....	82
<i>Diseños</i>	83
<i>Trazo</i>	87
CONSTRUCCION.....	88
<i>Tanque de almacenamiento (Ta)</i>	88
<i>Area de siembra (As)</i>	91
<i>El canal de riego</i>	92
<i>Mantenimiento</i>	92
<i>Potencial de producción</i>	93
<i>Grado de complejidad</i>	93
<i>Limitaciones</i>	93
IMPACTO SOCIOECONOMICO Y AMBIENTAL.....	93

Costos y retornos..... 93
Generación de empleo 94
Sostenibilidad..... 94
Características del lugar de las técnicas aplicadas..... 94

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Balance hídrico entre lluvia y el uso consuntivo.</i>	16
<i>Figura 2. Aplicación de la fórmula de Anaya et al. (1976) para calcular la distancia entre hileras de acuerdo a los factores suelo-planta-precipitación (Valle de Mezquital, Hidalgo).</i>	21
<i>Figura 3. Cultivo de Girasol a los 80 días y con un tamaño de Microcaptación de 140 cm Valle de México.</i>	22
<i>Figura 4. Cultivo de Maíz a los 80 días con un tamaño de Microcaptación de 140 cm Valle de México.</i>	22
<i>Figura 5. Arado de doble vertedera, modificado para la construcción de bordería, puede utilizarse con tracción animal o mecánica. (Arado "Xolox").</i>	23
<i>Figura 6. Arado "Xolox" para la construcción de surcos modificados (microcaptaciones), también puede ser usado con tracción animal.</i>	23
<i>Figura 7. Aplicación de la fórmula de Anaya et. al., para calcular el área dedicada a escorrentía en cultivos tupidos Tecamac, México.</i>	24
<i>Figura 8. Vista del tamaño de microcaptaciones para frutales calculadas mediante la fórmula de Anaya et al, Chapingo, México.</i>	28
<i>Figura 9. Utilización eficiente del terreno en las primeras etapas de desarrollo de un frutal (asociación cultivo perenne-cultivo anual). Chapingo, México.</i>	29
<i>Figura 10. Esquema de un sistema de captación de lluvia para pasto buffel (cultivo perenne).</i>	30
<i>Figura 11. Relación área de captación/área cultivada.</i>	33
<i>Figura 12. Sistema de microcaptación negarim para árboles.</i>	38
<i>Figura 13. Sistemas de camellones con surcos en contorno.</i>	40
<i>Figura 14. Camellones y surcos en contorno: esquema de campo.</i>	41
<i>Figura 15. Dimensiones de camellones y surcos en contorno.</i>	42
<i>Figura 16. Variaciones en el diseño.</i>	43
<i>Figura 17. Camellones en contorno: técnica de trazado.</i>	44
<i>Figura 18. Construcción de camellones en contorno.</i>	45
<i>Figura 19. Configuración de la Plantación.</i>	46
<i>Figura 20. Bordos trapezoidales: trazo de campo para pendientes del terreno de 1%.</i>	49
<i>Figura 21. Dimensiones de bordos trapezoidales.</i>	50
<i>Figura 22. Bordos Trapezoidales: Sección transversal.</i>	51
<i>Figura 23. Sistema Tradicional en Somalia.</i>	52
<i>Figura 24. Sistema "Teras", Sudán Oriental.</i>	52
<i>Figura 25. Bordos Trapezoidales: estacado de los puntos principales.</i>	54
<i>Figura 26. Bordos Trapezoidales: Detalle del vertedero.</i>	55
<i>Figura 27. Bordos trapezoidales.</i>	56
<i>Figura 28. Zanjas de intercepción.</i>	57
<i>Figura 29. Bordos de piedra en contorno.</i>	59
<i>Figura 30. Bordos de piedra el contorno: Trazo en campo. (Fuente: Critchley y Reij, 1989).</i>	60
<i>Figura 31. Bordos de piedra al contorno: Dimesiones.</i>	61

<i>Figura 32. Variación en el diseño: Bordos de tierra al contorno con vertedores de piedra</i>	<i>63</i>
<i>Figura 33. Bordo de Piedra en Construcción.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 34. Construcción de bordos de piedra.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 35. Sistema "Zai".....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 36. Sistemas de derivación de torrentes con bordos en Pakistán.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 37. Dimensión de bordos.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 38. Esquema piloto IMPALA sobre dispersores de agua en Turkana, Kenya.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 39. Trazo de bordos a nivel: pendiente < 0,5%.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 40. Establecimiento del bordo escalonado: para pendientes > 0.5%.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 41. Sorgo en "Wadi" (Colinas del Mar Rojo).....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 42. Modelo esquemático del sistema de aprovechamiento de escorrentía superficial en embalses.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 43. Embalse de tierra con doble compartimento (Emblase SAES-ES).....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 44. Disposición espacial de los elementos básicos del SAES-UA.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 45. Localización del Area de Captación (Ac) y del Tanque de Almacenamiento (Ta) con relación al punto de convergencia natural de las aguas de escorrentía.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 46. Modelo esquemático de la localización de los elementos básicos del SAES-ES, en campo.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 47. Modelo esquemático de las zanjas que servirán de fundición para la pared del embalse y para la instalación del tubo conductor del agua.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 48. Modelo esquemático del dimensionamiento de la pared del embalse y colocación del tubo conductor de agua.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 49. Modelo esquemático de la colocación de los tubos, conectados los compartimientos del SAES-ES, como sustituto de la llave de paso.....</i>	<i>91</i>

INDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1. Problemas y Causas de la Desertificación.....</i>	<i>3</i>
<i>Cuadro 2. Población, Consumo per capita de Granos Básicos y Producto Nacional Bruto per Capita en América Latina, Africa y Asia-Oceanía.....</i>	<i>4</i>
<i>Cuadro 3. Tierras Áridas Afectadas por la Desertificación en Sud-América.....</i>	<i>5</i>
<i>Cuadro 4. Secuencia para calcular el uso consuntivo del maíz con un ciclo vegetativo de 150.....</i>	<i>16</i>
<i>Cuadro 5. Evaluación del déficit y excedentes de agua al comparar el uso consuntivo.....</i>	<i>17</i>
<i>Cuadro 6. Se obtienen de la estación meteorológica de Pachuca, Hidalgo, datos de cuando menos nueve años de la precipitación mensual, se determina la lluvia con probabilidad del 50% para esos meses en un cuadro como el siguiente:.....</i>	<i>17</i>
<i>Cuadro 7. Del ejemplo del procedimiento general para diagnosticar la necesidad de la obra de captación que para el caso del frijol se incluye en este capítulo, se tiene el ejemplo siguiente:.....</i>	<i>19</i>
<i>Cuadro 8. Producción de zacate (pasto) buffel con diferentes relaciones área de siembra: área de escorrentía en San Luis Potosí.....</i>	<i>30</i>
<i>Cuadro 9. Dimensiones de área de captación y área de cultivo en microcuencas para árboles.....</i>	<i>39</i>
<i>Cuadro 10. Cantidades de movimiento de tierra para camellones en contorno.....</i>	<i>43</i>
<i>Cuadro 11. Cantidades de terraplén para bordos trapezoidales.....</i>	<i>52</i>
<i>Cuadro 12. Cantidades y requerimientos de trabajo para bordos de piedra al contorno.....</i>	<i>61</i>
<i>Cuadro 13. Cantidades de terraplén para bordos esparcidores de agua.....</i>	<i>70</i>
<i>Cuadro 14. Valores del coeficiente de escorrentía superficial (C), de acuerdo con las características del terreno.....</i>	<i>84</i>
<i>Cuadro 15. Costo y rendimiento anual del sistema de envase para riego de salvación.....</i>	<i>93</i>

SITUACION MUNDIAL

Tierra, Población, Producto Nacional Bruto

A través del desarrollo de la humanidad se ha encontrado que la productividad de la tierra ha estado muchas veces relacionada con el florecimiento y con la desaparición de varias civilizaciones. Desafortunadamente muchos países en vías de desarrollo no tienen verdaderos programas masivos de conservación y manejo racional de los recursos naturales; tampoco cuentan con programas de planeación de los usos del suelo así como el establecimiento de políticas de manejo de agua y suelo a nivel nacional.

De acuerdo al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la Desertificación se refiere a la degradación de la tierra en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas inducida por las actividades humanas y reforzada por los cambios climáticos. Esta puede tener consecuencias de carácter social, económico, ecológico y político, muchas veces de carácter irreversible. Por lo tanto, es necesario considerar que el Desarrollo Sustentable se refiere a satisfacer las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. El Desarrollo Sustentable debe ser considerado como una serie de procesos que requieren de la conciliación de esfuerzos en el corto, mediano y largo plazo.

La principal consecuencia de la desertificación es la severa reducción de la productividad de los ecosistemas expresada en la disminución de los rendimientos agrícolas, pecuarios y forestales, así como la pérdida de la diversidad biológica. Desde el punto de vista social, se generan procesos de empobrecimiento, migración y deterioro de la calidad de vida de la población; por lo tanto, América Latina y el Caribe deben enfrentar de manera integral los problemas de la desertificación y la sequía, promoviendo modelos de desarrollo sostenible, acorde con la realidad ambiental, económica y social de cada región.

Los procesos de la desertificación/degradación de la tierra, son los siguientes:

- 1) Degradación de la Cubierta Vegetal,
- 2) Erosión Hídrica,
- 3) Erosión Eólica,
- 4) Ensalitramiento,
- 5) Compactación, Encostramiento y Afloramiento de Horizontes Subsuperficiales,
- 6) Disminución de la Materia Orgánica,
- 7) Pérdida de Nutrientes y
- 8) Acumulación de Sustancias Tóxicas.

Los procesos de la desertificación se evalúan, considerando lo siguiente:

1) El Estado Actual, 2) Velocidad, la cual indica el cambio con que ocurren los procesos de degradación por unidad de tiempo y 3) El Riesgo Potencial, que muestra la susceptibilidad que tiene una localidad para ser degradada por un determinado proceso (Anaya, 1996).

La superficie arable en el mundo es de 1,400 millones de hectáreas (14 millones de km²) (Ambroggi, 1980). (Tolba, 1983), estima que 21 millones de hectáreas se degradan cada año con una pérdida anual de 25 millones de toneladas/año de suelo superficial que es el que presenta mejores niveles de fertilidad. Se estiman pérdidas anuales de suelo en el mundo mediante varios tipos de degradación de 5-7 millones de hectáreas cultivables; además, de poco más de 3 millones de hectáreas perdidas anualmente en uso no agrícola en los países en vías de desarrollo (Kanwar, 1982).

Desafortunadamente los países más pobres son los que sufren los mayores problemas de erosión; la productividad en la capa arable se reduce drásticamente y en forma continua (Buringh, 1982). Aunado a esto, se observa que cada año se tienen 80 millones de bocas más que alimentar y se presenta el reto de como aumentar los rendimientos unitarios de granos básicos para satisfacer las crecientes demandas de alimentos. En 1975, se disponía de una superficie arable de 0.31 ha/cápita, en el año 2000 se estima será de solamente 0.20/cápita.

Los problemas más graves en las zonas áridas y semiáridas son ocasionados por el proceso de desertificación y por la consecuente pérdida gradual de la productividad en los sistemas de uso de la tierra. Esta pérdida es causada por: 1) La degradación física y biológica provocada por el hombre al hacer uso irracional de los recursos naturales y reforzada a su vez por la influencia negativa de la naturaleza, como por ejemplo la sequía; 2) El subdesarrollo de los sistemas socioeconómicos y tecnológicos y 3) El desequilibrio entre las necesidades de supervivencia de las poblaciones humana y animal y la productividad potencial de los factores disponibles, tales como: energía, agua, suelo y planta. (Ver Cuadro I).

La alta densidad de población ejerce una presión sobre la superficie arable y en muchos casos se da cabida a la erosión y a la desertificación, muchos países de África, Asia y América Latina están en peligro debido al dinámico deterioro de sus recursos naturales.

Los principales sistemas de uso de la tierra en el ámbito mundial son los siguientes: a) Área bajo cultivo de riego, 240 millones de hectáreas (22%); b) Área bajo cultivo de temporal, 1,400 millones de hectáreas (19%); c) Pastizales, 3,000 millones de hectáreas (22%); d) Bosques, 4,100 millones de hectáreas (31%); e) Tierra no agrícola, 400 millones de hectáreas (3%) y otros usos, 4,400 millones (33%).

Se estima que la población mundial que era de 4,100 millones de habitantes en 1975, pasará a 6,350 millones en el año 2000. La tierra arable per cápita era en 1975 de 0.6 hectáreas para naciones industrializadas y será de 0.45 hectáreas en el año 2000; para algunos países en vías de desarrollo en 1975, se tienen 0.35 hectáreas per cápita y se estima que para el año 2000 será solamente de 0.20 hectáreas (Barney, 1980). Los rendimientos promedio de granos básicos eran en 1975 de 1.75 ton/ha, por lo tanto, para hacer frente a la demanda de alimentos se tendrán que aumentar a 2.76 ton/ha en el año 2000.

Cuadro 1. Problemas y Causas de la Desertificación.

Factor	Problemas	Causas
Agua	Escasez de agua	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitación escasa. • Errática y mala distribución de la lluvia. • Mal manejo del agua de riego. • Sobre explotación de acuíferos y de Almacenamientos superficiales. • Pérdidas de agua.
	Mal manejo del agua de lluvia en áreas de temporal.	<ul style="list-style-type: none"> • Deficiente y errática distribución de la lluvia. • Deficiencia de los sistemas de drenaje. • Escurrimientos superficiales sin control.
	Mal manejo del agua de riego.	<ul style="list-style-type: none"> • Desconocimiento del uso consuntivo • Nivelación deficiente de las tierras. • Distribución inadecuada del agua. • Métodos inadecuados de riego. • Inadecuada distribución de las parcelas.
Suelo	Inundaciones.	<ul style="list-style-type: none"> • Errática y mala distribución de la lluvia.
	Erosión (eólica o hídrica)	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la cubierta vegetal. • Erosión geológica. • Escurrimientos no controlados • Degradación de la estructura del suelo. • Prácticas inadecuadas de labranza • Erosión eólica. • Disminución de la profundidad del perfil del suelo. • Pérdida de la fertilidad del suelo superficial. • Lixiviación. • Reducción de la capacidad de retención de humedad.
	Salinidad y deficiente drenaje	<ul style="list-style-type: none"> • Acumulación excesiva de sales • Inundación • Riego excesivo. • Calidad del agua. • Prácticas deficientes de lavado. • Mal manejo del agua de riego. • Sistemas deficientes de drenaje. • Escurrimientos sin control.
Flora	Reducción de la cubierta vegetal	<ul style="list-style-type: none"> • Agricultura de roza-tumba-quema • Desmontes • Sobre-pastoreo • Invasión por plantas indeseables. • Tala immoderada. • Recolección no controlada de leña. • Fuego. • Sequía.
Fauna	Disminución de la productividad animal.	<ul style="list-style-type: none"> • Escasez de agua • Deficiencia de forraje y de reservas alimenticias. • Nutrición y salud animal.
Energía	Mal uso de la energía	<ul style="list-style-type: none"> • Recolección incontrolada de leña. • Mal uso de la energía disponible.

* Causas debidas a la influencia de la naturaleza (15%)

En el Cuadro 2 se registra la población, el consumo per cápita de granos básicos y el producto nacional bruto en América Latina, Africa, Asia - Oceanía, (Barney, 1980). Es importante mencionar que estas tres regiones del mundo presentan en general la situación más crítica en relación a las altas tasas de crecimiento demográfico, a la baja disponibilidad de granos básicos y al bajo producto nacional bruto per cápita. Lo anterior representa un reto para establecer la óptima relación entre población-tierra arable disponible-producto nacional bruto.

El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), estima que el 80% de las áreas ganaderas están afectadas por la desertificación, la principal causa es la alta densidad de

animales por unidad de superficie, lo cual lleva a la degradación de la cubierta vegetal por el sobrepastoreo con la consecuente erosión que reduce la productividad de la capa superficial del suelo. Es importante mencionar que en América Latina alrededor del 80% de las áreas pecuarias están afectadas por el sobrepastoreo, lo cual indica que es urgente establecer medidas preventivas y de carácter correctivo para resolver el problema de la desertificación.

Se estima que alrededor de 2,300 millones de habitantes realizan cortes de leña en las zonas boscosas y que esto representa el combustible más importante para sus actividades cotidianas. Así, más de la mitad del total de madera que se corta en el mundo (1,800 millones de m³) se utiliza como leña y como carbón vegetal, esto equivale a 5.5 millones de barriles de petróleo. En las naciones en vías de desarrollo el 80% de la leña se utiliza para cocinar alimentos. Se estima que más de 1,000 millones de habitantes de las zonas tropicales de Asia, África y América Latina satisfacen sus necesidades de leña mediante talas excesivas (Sepúlveda, 1985).

Cuadro 2. Población, Consumo per capita de Granos Básicos y Producto Nacional Bruto per Capita en América Latina, África y Asia-Oceanía.

	América Latina		África		Asia y Oceanía	
	Año 1975	Año 2000	Año 1975	Año 2000	Año 1975	Año 2000
POBLACION Millones	325	637	339	814	274	3,680
CONSUMO PER CAPITA Kg. de granos básicos	238	278	192	192	194	221
PRODUCTO NACIONAL BRUTO PER CAPITA (Dólares)	1,005	1,715	405	620	302	557

SITUACION EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE

La desertificación está afectando a la mayoría de los países de América Latina y el Caribe, principalmente en las zonas áridas y semiáridas. La superficie agrícola es equivalente a 170 millones de hectáreas. Se observa que un 23% de la agricultura de riego en América del Sur presenta problemas de ensalitramiento; un 83% (11,859,000 hectáreas) de las tierras agrícolas de temporal presentan erosión en diversos grados; un 83% (319,380,000 hectáreas) de los pastizales presenta problemas de sobrepastoreo (Cuadro 3), (Dregne, 1982). En lo referente a recursos forestales se estima para América Latina que de una superficie forestal de 550 millones de hectáreas en 1975, ésta se reducirá a 330 millones de hectáreas en el año 2000. Los bosques en Brasil, Ecuador, Guatemala y Panamá superan el 60%. En América Latina, la superficie forestal está representada por el 53% de bosque húmedo tropical, el 36% de bosque caduco y sabanas, 7% de bosque húmedo, 3% de bosque de coníferas y 1.4% de bosque temperado (Cepal, 1978).

En México las zonas áridas y semiáridas representan más del 50% de la superficie nacional y en ellas se localiza más del 50% de la población del país. En Perú, el 50% de la producción agrícola

se genera en las costas áridas sujetas a la irrigación, el 50% restante se refiere a una agricultura extensiva bajo condiciones de temporal y de bajos rendimientos que se practica principalmente en las serranías. Algunos otros países afectados por la aridez y semiáridéz son: Noreste de Brasil, Patagonia, Argentina, Costas de Perú, Norte de Chile, Altiplano Boliviano, Guajira y Noreste de Venezuela, Cuba, Haití y República Dominicana entre otros.

En las regiones mencionadas anteriormente los grados de desertificación varían en las zonas boscosas, ganaderas y agrícolas siendo mayores donde se tienen altas densidades de población. Las praderas permanentes ocupan más del 50% del área total de Argentina y Uruguay y menos del 10% en Brasil, Ecuador, Guatemala, Nicaragua, Surinam y Trinidad y Tobago (CEPAL, 1978). A pesar de que América Latina cuenta con una disponibilidad de recursos hidráulicos, esta posee zonas extremadamente áridas como son el Desierto de Altar en Sonora, México, y los Desiertos de las Costas de Perú y del Norte de Chile.

En general, se observa en América Latina y el Caribe una separación entre las actividades agrícolas de riego, agrícolas de temporal, pastizales y bosques, lo cual favorece el avance de la degradación física y biológica de los ecosistemas por no contar con una planeación integral.

Cuadro 3. Tierras Áridas Afectadas por la Desertificación en Sud-América.

	TIERRAS IRRIGADAS (000 ha)		TIERRAS DE TEMPORAL (000 ha)		PASTIZALES (000 ha)	
	Total	Area Afectada	Total	Area Afectada	Total	Area Afectada
Argentina	1,550	310	5,000	3,800	180,000	126,000
Bolivia	65	6	1,000	950	12,000	11,500
Brasil	520	78	6,000	5,000	140,000	135,000
Chile	1,280	320	1,400	1,350	24,000	22,400
Colombia	0	0	0	0	3,500	3,200
Ecuador	460	115	40	39	300	280
Paraguay	9	2	50	20	12,000	9,600
Perú	1,155	346	500	450	9,500	8,800
Venezuela	350	52	300	250	2,800	2,600
Total	5,389	1,229	14,290	11,859	384,100	319,380
		23%		83%		83%

Fuente: H. Dregne, 1982.

La población en América Latina en 1975 era de 325 millones de habitantes, se espera que para el año 2000 sea de 637 millones. El consumo de granos básicos per cápita en 1975 fue de 238 kg, se espera que para el año 2000 aumente apenas a 278 kg. El producto nacional bruto per cápita en América Latina era en 1975 de 1,055 dólares, se estima que para el año 2000 será de 1,715 dólares (Barney, 1980). En algunos países de América Latina la población rural es mayor del 70%, lo cual indica que dependen principalmente de actividades agrícolas, pecuarias y forestales y en aquellos casos en que no hay un tipo de planeación de los diversos usos del suelo, se tiene el peligro del avance de la desertificación. Por lo antes expuesto, se considera de mayor urgencia reforzar los centros de investigación, capacitación y demostración, en disciplinas tales como: Planeación del Uso del Suelo, Sistemas de Captación y Aprovechamiento de la lluvia,

Conservación de Suelos y Manejo Integral de Cuencas y de los Recursos Agua, Suelo, Flora y Fauna. Asimismo, se pueden utilizar aquellas áreas piloto ya establecidas y representativas de diversas condiciones ecológicas, con el objeto de difundir las experiencias adquiridas en otras áreas de condiciones semejantes; para ello, se requiere la participación organizada de especialistas en ciencias naturales, sociales y económicas y además, la de las diversas comunidades, así como la de los que toman las decisiones en todos los niveles.

Programas y Proyectos

Es importante señalar que todos los países en América Latina y el Caribe tienen marcos institucionales de actuación, aunque con limitaciones para su adecuado accionar. Se han definido y se encuentran en ejecución planes, programas y proyectos encaminados hacia el desarrollo sostenible de los recursos naturales renovables y el medio ambiente, buscando en algunos casos la coordinación de sus acciones con organizaciones privadas y la sociedad civil.

Así mismo, todas las organizaciones públicas y privadas cuentan con programas y proyectos nacionales, regionales y locales, orientados al manejo y conservación de los recursos naturales renovables y presentan importantes iniciativas tecnológicas para atender las demandas específicas que se formulan en el tema del aprovechamiento del agua.

Sin embargo, dadas las condiciones imperantes en los países, se indica la urgente necesidad de establecer y reforzar programas masivos relacionados con los siguientes aspectos:

- Concientización de los tomadores de decisiones a todos los niveles sobre la cultura del agua.
- Participación entusiasta, organizada y coordinada de la comunidad en programas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia.
- Fondos suficientes para el establecimiento de cisternas para consumo de agua y sistemas de captación de lluvia con fines agrícolas, pecuarios y forestales.
- Establecimiento de medidas preventivas, correctivas y de rehabilitación en la utilización de los acuíferos; es decir, considerar en forma integral, el ciclo hidrológico.
- Establecer programas de rescate de tecnologías autóctonas y tradicionales con el objeto de combinarlas, cuando esto sea posible, con tecnologías modernas siguiendo el lema "aprender del pasado para hacer frente al futuro".
- Reforzar los programas de capacitación a todos los niveles, considerando para ello desde la educación primaria con el objeto de establecer las bases para una real concientización cultural sobre el manejo del agua de lluvia.
- Dar mayor atención a aquellas plantas con alta eficiencia en el uso del agua para producción de alimentos y de forrajes.
- Contar con proyectos y áreas piloto que sirvan como centros de investigación, capacitación y demostración, base para la difusión y extrapolación a otras áreas semejantes.

- Distribuir manuales y videos a través de medios masivos de divulgación sobre las tecnologías más prometoras en sistemas de captación de lluvia.
- Establecer redes locales, nacionales, subregionales y regionales sobre personal e instituciones relacionadas con este tema.
- Diseñar, construir y distribuir implementos agrícolas tirados por tracción mecánica y animal para la construcción de microcuencas de captación de lluvia, ya que estas aumentan la disponibilidad de agua para las plantas, reducen los efectos de la sequía y mejoran los rendimientos unitarios.
- Incrementar los programas de investigación y transferencia de tecnología en captación *in situ* del agua de lluvia y manejo de escurrimientos superficiales considerando las condiciones sociales, culturales, económicas y ecológicas.

ESTRATEGIAS PARA ESTABLECER MEDIDAS PREVENTIVAS, CORRECTIVAS Y DE REHABILITACION

Combate a la Degradación de la Tierra

Evaluar el impacto de los Procesos de la Degradación de la Tierra y de la pérdida de la productividad de los ecosistemas, así como de los programas de prevención, corrección y rehabilitación, dando especial atención a los de carácter preventivo.

Llevar a cabo talleres de intercambio de experiencia y con métodos de transferencia de tecnología acorde a las condiciones sociales, culturales, económicas y ambientales.

Impulsar un desarrollo tecnológico y científico apropiado para inducir la transición hacia el desarrollo sostenible; la participación de la comunidad y de los usuarios de la tierra será indispensable (Anaya y Díaz, 1995).

Legislación y Normatividad

Planificar, Legislar, Normar y Reglamentar el Manejo Integral de los Recursos Naturales, estableciendo acciones específicas para cada región.

Implementar Planes Rectores Integrales y de Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales a nivel de Región, Estado, Municipio, Comunidad y Cuenca Hidrográfica con la participación de los sectores sociales involucrados.

Generar y/o actualizar las leyes sobre el manejo integral y sostenible del recurso suelo, en sus diferentes usos (agrícola, pecuario, forestal, urbano, para infraestructura, parques nacionales y reservas, explotaciones mineras y petrolíferas y cuerpos de agua, tierras ociosas y otros), sobre criterios ecológicos basados en el conocimiento científico y en el tradicional.

Sensibilización y Concientización.

Promover la participación y corresponsabilidad de los sectores público, privado y social en las tareas del Manejo Integral del Recurso Suelo (establecimiento del Consejo Técnico Consultivo para el Manejo Integral de los Recursos Naturales).

Elaboración de acuerdos de coordinación y concertación con autoridades y particulares.

Establecer una responsabilidad compartida entre todos los actores, Gobierno, Productores y Consumidores.

Establecer campañas masivas sobre sensibilización y concientización sobre el uso racional del recurso suelo a través de programas de educación productiva-ambiental a diferentes niveles: educación básica, media, profesional y de postgrado, así como la capacitación de productores, consumidores y tomadores de decisiones.

Celebración de convenios a nivel local, nacional e internacional.

Ordenamiento y Planificación Integral

Iniciar y reforzar investigaciones socio-políticas sobre los mecanismos para tomar decisiones oportunas y eficientes para la planeación y ejecución de Programas y Proyectos que tiendan hacia el Desarrollo Sostenible a todos los niveles.

El Uso Sostenible de los Recursos Naturales deberá estar apoyado con recursos financieros crediticios, puesto que los subsidios generalmente no son sostenibles para viabilizar la transferencia de tecnología apropiada.

Establecimiento de infraestructura y recursos humanos, para poder aplicar la tecnología, educación y financiamiento en programas y proyectos.

Lograr que los mercados externos no trastornen la productividad de los ecosistemas y las políticas establecidas.

Diseño y operación de incentivos fiscales o sanciones indistintamente para fomentar el manejo racional de los Recursos Naturales.

Establecer la ordenación y la Planificación Integral a mediano y largo plazo del destino productivo de las tierras, en función de su aptitud, considerando a los actores: gobierno, productores y consumidores.

De lo anterior se concluye que los programas de acción en relación al uso y aprovechamiento integral de los Recursos Naturales en América Latina y el Caribe han sido deficientes, en relación a los aspectos siguientes:

Voluntad y decisión política.
Legislación.
Normatividad.
Regulación del mercado interno y externo.
Educación y sensibilización a todos los niveles.
Descentralización de los usuarios de la tierra y de las comunidades.
Utilización de la tecnología tradicional y autóctona.
Planes rectorales a nivel municipal, estatal y nacional y
Financiamiento.

Prioridades, Objetivos y Propósitos

Es necesario definir las áreas temáticas para la aplicación de estrategias para prevenir y combatir la degradación de la tierra y la mitigación de los efectos de la sequía. A continuación se mencionan las áreas prioritarias:

- **Erradicación de la pobreza y mejoramiento de la calidad de vida humana;**
- **Aumento de las capacidades, la educación y la concientización pública, la cooperación técnica;**
- **Logro de la seguridad alimentaria y desarrollo sostenible de actividades agrícolas, forestales y pesqueras;**
- **Gestión sostenible de los Recursos Naturales y los diversos ecosistemas relacionados;**
- **Manejo racional y conservación del recurso suelo en concordancia con el uso de los otros Recursos Naturales;**
- **Establecimiento y/o fortalecimiento de sistemas de información, evaluación y seguimiento, considerando los aspectos climatológicos, meteorológicos, biológicos, edafológicos, económicos, sociales y culturales;**
- **Aspectos demográficos interrelacionados con los procesos de degradación de la tierra; y**
- **Establecimiento y/o fortalecimiento de marcos institucionales y jurídicos que permitan la aplicación de estrategias y programas, entre otros, la descentralización de las estructuras y funciones administrativas que guarden relación con la degradación de la tierra, asegurando la participación de las comunidades afectadas y de la sociedad en general, con el objeto de que se considere al suelo como un patrimonio de las generaciones futuras.**

POLITICAS DE ACCION PARA LOGRAR LA TRANSICION HACIA EL MANEJO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS NATURALES.

Es necesario establecer el fomento de capacidades, esto es, del desarrollo institucional, la formación y la ampliación de las capacidades a nivel nacional, estatal, municipal y local, para los esfuerzos sobre la prevención y control de la degradación de la tierra. Esto se puede lograr a través de:

- **La plena participación de la población a todos los niveles, especialmente a nivel local, en particular de las mujeres y los jóvenes, con la cooperación de las organizaciones no gubernamentales y locales;**

- El establecimiento de los servicios de apoyo y extensión, con el fin de difundir más efectivamente las correspondientes estrategias tecnológicas, mediante la capacitación de extensionistas y/o miembros de organizaciones rurales para que puedan aplicar enfoques de participación a la conservación y uso sostenible de los Recursos Naturales;
- El fomento del uso y la difusión de los conocimientos, la experiencia y las prácticas tradicionales de la población local en los programas de cooperación técnica donde sea posible;
- El funcionamiento más eficaz de las instituciones y estructuras jurídicas, así como el fortalecimiento de la planificación y la gestión estratégicas;
- Un examen interdisciplinario de la capacidad y los servicios disponibles a nivel local, estatal y nacional, así como de las posibilidades de reforzarlos;
- Establecimiento de continuas campañas de sensibilización dirigidas al público en general;
- Estímulo de las asociaciones que contribuyen a sensibilizar al público;
- Ampliación de los programas de educación y de instrucción elemental, en la conservación, el uso y la gestión sostenible de los recursos naturales de las zonas afectadas; y
- Reforzamiento de las redes de educación, capacitación e investigación para combatir la degradación de la tierra, a través de programas interdisciplinarios.

Políticas de Acción

La política de la región debe estar dirigida a garantizar el balance permanente entre los componentes ambientales, sociales, culturales y económicos. Para que ésta sea funcional, se deberá establecer una responsabilidad compartida entre todos los actores, gobierno, productores y consumidores (Anaya, et al, 1994).

Una herramienta básica del desarrollo sostenible es el planeamiento a mediano y largo plazo del destino productivo de las tierras, en función de su aptitud. Este deberá ser definido a partir de un inventario de los recursos naturales de cada región, tales como: los bióticos, los hidráulicos, los edáficos y humanos, enmarcados en su contexto geográfico. Este planeamiento deberá incluir el establecimiento de distintas categorías de ocupación y uso de las tierras, como zonas silvestres protegidas, zonas de ocupación extensiva y uso controlado del recurso natural, zonas agrícolas y urbanas.

Las políticas de la región deberán tener gran cuidado de los efectos negativos derivados de las políticas de países desarrollados u organismos internacionales, por lo cual la política de desarrollo de cada país deberá estar coordinada con el mercado interno y a la vez apoyada por tratados internacionales para lograr que los mercados externos no trastornen la política establecida.

Debe impulsarse un desarrollo tecnológico y científico apropiado a las condiciones ambientales, sociales y económicas de las regiones y subregiones para asegurar el uso sostenible. Aunado a esto, se debe apoyar la educación productiva-ambiental a diferentes niveles: educación básica, media, profesional y de postgrado, así como la capacitación de productores, consumidores y tomadores de decisiones. Esto permitirá el establecimiento de infraestructura y recursos humanos, para poder aplicar la tecnología, educación y financiamiento en programas concretos.

Se requiere iniciar y reforzar investigaciones socio-políticas sobre los mecanismos más apropiados para tomar decisiones oportunas y eficientes, para la planeación y ejecución de programas de desarrollo sostenible a todos los niveles, desde el productor y la comunidad, hasta aquellas decisiones cuyos efectos sean nacionales e internacionales.

La producción sostenible deberá estar apoyada con recursos financieros crediticios, puesto que los subsidios generalmente no son sostenibles. Las fuentes de esos recursos ya sean de origen nacional e internacional, deberán en todos los casos ser apropiados y oportunos para los sistemas de producción comerciales y tradicionales.

En casos en que la presión de la población rural sea causa de creciente empobrecimiento y degradación de los recursos naturales, deberán adoptarse medidas que conduzcan a resolver la situación, dando especial atención a las de carácter preventivo.

Acciones a nivel nacional

El objetivo de los programas de acción a nivel nacional consiste en determinar cuáles son los factores que contribuyen a la desertificación y las medidas prácticas necesarias para luchar contra la desertificación y mitigar los efectos de la sequía.

Los programas de acción nacionales deben especificar las respectivas funciones del gobierno, las comunidades locales y los usuarios de la tierra, así como determinar los recursos disponibles y necesarios. Entre otras cosas, los programas de acción nacionales:

Incluirán estrategias a largo plazo para luchar contra la desertificación y mitigar los efectos de la sequía, destacarán el aspecto de la ejecución y estarán integrados con las políticas nacionales de desarrollo sostenible;

Tendrán en cuenta la posibilidad de introducir modificaciones en respuesta a los cambios de las circunstancias y serán lo suficientemente flexibles a nivel local para adaptarse a las diferentes condiciones socioeconómicas, biológicas y geofísicas;

Prestarán atención especial a la aplicación de medidas preventivas para las tierras aún no degradadas o sólo levemente degradadas;

Reforzarán la capacidad nacional en materia de climatología, meteorología e hidrología y los medios de establecer un sistema de alerta temprana de la sequía;

Promoverán políticas y reforzarán marcos institucionales para fomentar la cooperación y la coordinación, en un espíritu de asociación, entre la comunidad de donantes, los gobiernos a todos los niveles, las poblaciones locales y los grupos comunitarios, y facilitarán el acceso de las poblaciones locales a la información y tecnología adecuadas;

Asegurarán la participación efectiva a nivel local, nacional y regional de las organizaciones no gubernamentales y las poblaciones locales, tanto de mujeres como de jóvenes, especialmente de los usuarios de los recursos, incluidos los agricultores y pastores y sus organizaciones

representativas, en la planificación de políticas, la adopción de decisiones, la ejecución y la revisión de los programas de acción nacionales.

CONCLUSIONES

América Latina y el Caribe cuentan con tecnología autóctona, tradicional y moderna, suficiente para hacer reversibles los procesos de desertificación/degradación de la tierra; sin embargo, se requiere de cuando menos cuatro décadas para que la velocidad de degradación sea igual a la de recuperación y rehabilitación de ecosistemas degradados. Lo anterior indica que el problema no es de tipo tecnológico, sino de carácter social y económico, por lo que es indispensable la participación de la comunidad.

Será posible prevenir y controlar la degradación de la tierra en América Latina y el Caribe siempre y cuando se sigan los lineamientos establecidos por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Ecología y Desarrollo, aplicar lo establecido en la Agenda XXI y en los lineamientos de la Convención sobre Control de la Desertificación y Mitigación de los Efectos de la Sequía; así como el seguimiento a los lineamientos establecidos en los planes de acción contra la desertificación a nivel nacional.

América Latina y el Caribe tienen la capacidad de alimentar a 1,000 millones de habitantes siempre y cuando se logre un uso más racional de los recursos naturales que conlleve a un desarrollo económico sustentable, lo cual repercutirá en la soberanía alimentaria y por lo tanto en la seguridad de la región y sus subregiones.

BIBLIOGRAFIA

Ambroggi, P.R. (1980). Water. Scientific American. Sept. 243, No. 3, pag. 100-116.

Anaya, G.M.; Pascual M.M.; Zárate Z. R. 1994. Proceedings of the IV International Conference on Desert Development "Sustainable Development for our Common Future". C.P. CONAZA 659 Págs.

Anaya, G.M. y Díaz Casf. (Editores) (1995). Memorias del "IV Curso sobre Desertificación y Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe". Unidad de Congresos, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 432 Págs.

Anaya, G.M. (1996). Creeping Desert Casts Shadow over Mexico, For Aplied Research and Public Policy, Revista FORUM, Otoño, 1996. 23-27 Págs.

Barney, O.G. (1980). The global report to the present, entering the twenty-first Century. Council on Environmental Quality and the Dept. of State Washington, D.C.

Buringh, P.G. (1982). Potentials of world soils for agricultural production. 12 th. International Congress of Soil Science. New Delhi, India. 9 pag.

CEPAL. (1978). 25 años en la agricultura de América Latina: Rasgos Principales 1950-1975. 95 pag. Santiago de Chile.

Dregne H. E. (1982). Desertification in the Americas. Desertification and Soil Policy. Symposia Papers III. 12 th. International Congress of Soil Science. New Delhi, India. pag. 3-13.

Kanwar, J.S. (1982). Managing soil resources to meet the challenges to mankind: Presidential Address. 12 th. International Congress of Soil Science. New Delhi, India. 32 pag.

Sepúlveda, L. (1985). Se quema el 50% de la producción de madera. Periódico "Uno más Uno". Julio 3, México, D.F.

Tolba, M. (1983). Earth matters. UNEP. Nairobi, Kenya.

ANTECEDENTES

Mientras la agricultura de riego produce en México hasta dos cosechas por año, la de secano presenta pérdidas en un 25% del total anual sembrado debido a las sequías, lo escaso y errático de la precipitación pluvial y otros fenómenos agrometeorológicos como son el granizo y las heladas.

La producción agrícola bajo condiciones de secano o temporal se basa en gran medida, en la relación que existe entre la cantidad de agua requerida por las plantas para su óptimo desarrollo y la cantidad de lluvia disponible.

Para establecer un sistema de captación *in situ* del agua de lluvia, es necesario obtener información sobre algunos factores tales como la cantidad y distribución de la lluvia en el año, la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, las necesidades hídricas de cultivo que se ha seleccionado para la zona donde se trabaje y finalmente, con qué recursos se cuenta para establecer los diferentes sistemas de captación *in situ* que mejor pueden adaptarse a las condiciones del área de trabajo.

Las técnicas de microcaptación involucran conservación del suelo, aumentan la disponibilidad de agua para los cultivos, mitigan los efectos de la sequía y mejoran el entorno ecológico.

ASPECTOS TECNICOS

Descripción

Los sistemas de captación del agua de lluvia dedican una parte del terreno a la escorrentía del agua (área de escorrentía -Ae) y otra parte del terreno para almacenar el agua que previamente escurrió (área de almacenaje -As). Ambas áreas deben estar acondicionadas para que cumplan con sus objetivos eficientemente.

La microcaptación *in situ* del agua de lluvia, para nuestro caso, se diferencia de la captación general básicamente en tres aspectos:

1. Porque el sistema de captación se realiza exclusivamente para emplearlo en cultivos básicos, forrajeros, industriales, vegetación nativa, árboles, arbustos y frutales.
2. Porque el área de escorrentía (Ae), está formada por microcaptaciones que aportan cantidades adicionales de agua y no tienen que conducirla a grandes distancias, ya que dicha área (Ae) está adyacente al área destinada al almacenamiento (As).

3. Porque el área de almacenamiento (As) incluye el mismo suelo, en el cual se desarrollan las raíces de los cultivos.

Con estas consideraciones, es importante buscar la manera como:

- Aumentar la eficiencia en la escorrentía del Ae; es decir, que escurra más agua para que aumente el volumen que llega al área de almacenamiento.
- Aumentar la capacidad de retención de humedad del suelo, para que almacene mayor cantidad de agua aprovechable en la zona de raíces.
- Reducir las pérdidas del agua aprovechable que ha sido almacenada en el suelo, sean éstas, pérdidas por evaporación del propio suelo o por transpiración de plantas indeseables.

Selección de Cultivos

Para seleccionar los cultivos que se producirán mediante los sistemas de microcaptación, hay que tomar en cuenta su aptitud al ecosistema de la zona y la importancia tanto económica como social de los cultivos en el área de trabajo.

Una vez seleccionados los cultivos, se determinan las necesidades mínimas de agua que requieren para su desarrollo; de esta manera se define si es necesario establecer obras de microcaptación, o si la cantidad de agua que llueve es suficiente para el cultivo (al comparar la demanda de agua de éste con el aporte de humedad de las lluvias).

Estimación del Uso Consuntivo

El agua que los cultivos necesitan para su desarrollo se puede estimar a través del Uso Consuntivo (UC), el mismo que se define como la cantidad de agua que la planta requiere para transpirar y formar tejido celular, más el agua que se evapora del suelo.

Uno de los mejores métodos por su aproximación y facilidad para determinar el UC de los cultivos es el de Blaney y Criddle.

• *Un ejemplo práctico para determinar el UC mensual es el siguiente:*

Cultivo: Maíz para grano; ciclo vegetativo: 150 días; variedad criollo amarillo

Fecha de siembra: 1 de Abril

Zona: Huamantla, Tlaxcala

Latitud norte: 200

Para facilidad en el manejo de los datos, se puede elaborar un cuadro como el Cuadro 4 que muestra cómo se van obteniendo los factores a partir de los datos señalados.

Primeramente se procede a obtener las temperaturas promedio para cada uno de los meses en que se tiene establecido el cultivo (columna 1, Cuadro 4).

A continuación se obtiene el porcentaje de horas-luz en el día para cada mes del período abril-agosto en relación al número total en un año (Factor P) para la latitud de Huamantla, Tlax. (200).

Posteriormente se calcula el coeficiente K_t que depende de la temperatura media mensual. De esta forma, la columna 3, estará dada por el valor de K_t .

El valor mensual dado por la temperatura y el porcentaje de horas-luz (valor de f), se obtiene al multiplicar las columnas 2 y 3. Este producto se coloca en la columna 4 de dicho cuadro.

Finalmente, se obtiene el coeficiente de desarrollo K_c del maíz para el cálculo del uso consuntivo. Para este fin, debe fraccionarse el 100% del desarrollo entre los meses que tarde el cultivo en alcanzarlo, en este caso cinco meses, por lo cual cada mes representa el 20% del desarrollo total del cultivo. En el Cuadro 1 se obtienen los valores de K_c para maíz correspondientes a 20, 40, 60, 80 y 100% del desarrollo del cultivo, los cuales se colocan en la columna 5 del cuadro.

En la figura 1. Se grafican los valores de probabilidad de lluvia al 50% y uso consuntivo, donde se aprecia que el área achurada indica necesidades de agua. Con el objeto de ilustrar mejor todos los puntos anteriores, se seguirá en forma completa el procedimiento general en el ejemplo siguiente:

Cuadro 4. Secuencia para calcular el uso consuntivo del maíz con un ciclo vegetativo de 150 días.

MES	(1) TEMP. MEDIA/C	(2) VALOR DE P	(3) FACTOR K_t	(4) VALOR $f \times K_t$ (2) X (3)	(5) VALOR K_c	(6) USO CONSUNTIVO (CM) (4) X (5)	(7) USO CONSUNTIVO ACUMULADO (CM)
Abril	18,0	8,53	1,313	11,20	0,60	6,72	6,72
Mayo	18,1	9,14	1,322	12,8	0,90	10,87	17,69
Junio	18,1	9,00	1,322	11,90	1,08	12,85	30,44
Julio	16,9	9,23	1,219	11,25	1,00	11,25	41,69
Agosto	18,0	8,95	1,313	11,75	0,85	9,99	51,68

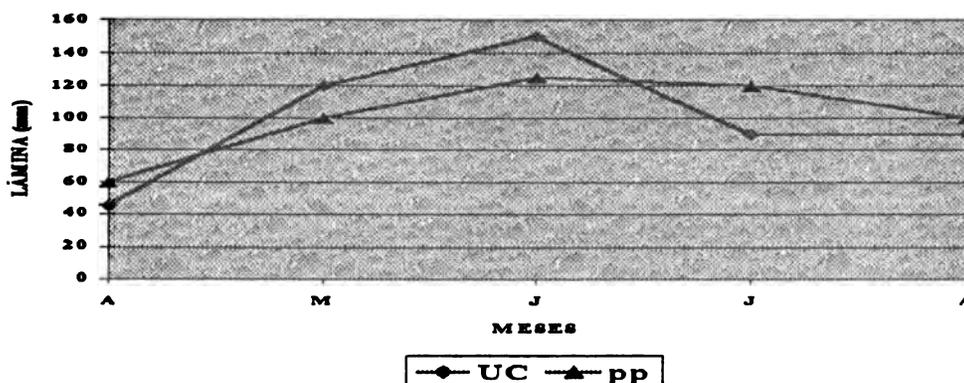


Figura 1. Balance hídrico entre lluvia y el uso consuntivo.

Cuadro 5. Evaluación del déficit y excedentes de agua al comparar el uso consuntivo.

Mes	Lluvia media (mm) (1)	Uso Consuntivo (mm) (2)	Balance hídrico (mm) (3)
Abril	33	67	-34
Mayo	123	109	+14
Junio	152	129	+32
Julio	95	113	-18
Agosto	95	100	-5
Total	498	518	-20

Datos:

Cultivo: Frijol

Ciclo: 3 meses

Fecha siembra: 1 de junio

Lugar: Pachuca, Hidalgo.

Latitud Norte: 25 15'(Aprox.)

1. Determinar la lluvia que se espera para el siguiente ciclo.

Cuadro 6. Se obtienen de la estación meteorológica de Pachuca, Hidalgo, datos de cuando menos nueve años de la precipitación mensual, se determina la lluvia con probabilidad del 50% para esos meses en un cuadro como el siguiente:

Mes	Probabilidad de lluvia al 50% para nueve años de la lluvia media mensual en Pachuca, Hgo. (1951-959) (mm)
Enero	Inap
Febrero	1
Marzo	Inap
Abril	25
Mayo	37
Junio	53
Julio	47
Agosto	37
Septiembre	69
Octubre	22
Noviembre	5
Diciembre	1
Total	297

El uso consuntivo mensual se obtiene al multiplicar el K_c (columna 5) por el valor de f (columna 4). Este producto se coloca en la columna 6 de un cuadro similar al Cuadro 4.

Si se desea conocer el UC del cultivo en diferentes etapas de desarrollo, entonces puede elaborarse una última columna (7) con el UC acumulado.

De este ejemplo se deduce, en primer lugar, que las necesidades de agua para el maíz en esa zona son aproximadamente de 517 mm, durante el ciclo de cultivo (abril-agosto).

Una vez realizados los análisis de la precipitación y consumo de agua por el cultivo seleccionado, el siguiente paso es determinar si son necesarias las obras de captación, para lo cual se puede hacer un cuadro de las demandas de agua del cultivo por mes, durante el ciclo de desarrollo¹ y de la precipitación en los meses², de tal forma que se puedan analizar las deficiencias o excesos de agua, como se observa en el Cuadro 5.

En la columna (3) del Cuadro 5 se muestra que en la etapa de desarrollo del cultivo se tienen deficiencias de agua, y éstas son del orden de 18 mm, lo que indica que es necesario realizar obras de captación para destinar áreas adicionales a la escorrentía y así poder satisfacer las demandas del cultivo.

Objetivos

Los objetivos de la microcaptación de agua de lluvia se refieren a aumentar la disponibilidad de agua para las plantas, mitigar los efectos de la sequía, propiciar una producción sostenible y mejorar el entorno ecológico.

Ubicación y Selección del Sitio

La ubicación y selección del sitio para establecer obras de microcaptación de agua de lluvia debe considerar que el suelo tenga cuando menos 70 cm de profundidad. En México se ha tenido éxito con microcaptaciones con una precipitación media anual de cuando menos 400 mm.

Diseño, Trazo y Construcción. Métodos de captación in situ utilizando la fórmula de Anaya et al., para determinar el tamaño de las microcaptaciones

Conociendo las cantidades de agua que necesita un cultivo y que no pueden ser satisfechas por la lluvia, se puede utilizar una fórmula de fácil aplicación encontrada por Anaya y colaboradores, con la que es posible determinar las superficies que deben dedicarse a escorrentías y a almacenaje dentro de un sistema de captación *in situ*.

Se considera que el tamaño de la microcaptación TM es la superficie que los agricultores tradicionalmente dedican a cada cultivo en particular (cuando no se ha realizado una obra de captación). Ejemplo: en Puebla acostumbran sembrar el maíz a 90 cm entre hileras y a 50 cm entre matas, lo que da una superficie de microcaptación de $90 \times 50 = 4,500 \text{ cm}^2$ /mata. Se puede decir entonces que dentro de estos $4,500 \text{ cm}^2$ están consideradas tanto el As como el Ae.

Otro ejemplo es en el caso del frijol, el cual lo siembran a 70 cm entre hileras y a 15 cm entre matas, lo que da una superficie de captación de $1,050 \text{ cm}^2$; ahora bien, si a estos cultivos se les realiza obras de captación in situ, probablemente la distancia entre hileras aumente por ejemplo a 112 cm para el maíz y a 82 cm para el frijol, quedando la misma distancia entre matas que se tenía antes de efectuar la obra de captación.

¹ El UC mensual se obtiene de la columna 6 del Cuadro 4

² Si se cuenta con registros pluviométricos para varios años del área de estudio, debe trabajarse con la precipitación mensual con una probabilidad del 50%.

La fórmula es la siguiente:

$$TM = As + \frac{1}{C} \left(\frac{UC - P}{P} \times AS \right) \quad Ae = \frac{1}{C} \left(\frac{UC - P}{P} \times AS \right)$$

Donde:

- TM = Tamaño de la microcaptación.
- As = Área de siembra, se consideran 50 cm de explotación del sistema radical para cultivos en hilera.
- Ae = Área de escorrentía.
- C = Coeficiente de escorrentía en el Ae.
- UC-P = Total de deficiencias mensuales de agua durante el ciclo vegetativo del cultivo
- P = Total de la lluvia que cae en el tiempo que dure en desarrollarse el cultivo, con un 50% de probabilidades.

Un ejemplo de aplicación de la fórmula de Anaya et al, para determinar el tamaño microcaptación se describe en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Del ejemplo del procedimiento general para diagnosticar la necesidad de la obra de captación que para el caso del frijol se incluye en este capítulo, se tiene el ejemplo siguiente:

Mes	Lluvia (50% Probabilidad) (mm)	Uso Consuntivo Del Frijol (mm)	Balance Hídrico (mm)
Junio	53	93	-40
Julio	47	97	-50
Agosto	37	60	-23
Total	137	250	-113

Sustituyendo valores en la fórmula.

- UC-P = 113
- p = 137
- As = 50 cm
- C = 0,50 (textura media con menos del 5% de pendiente y compactada)

Aplicando la fórmula se tiene:

$$TM = 50 + \frac{1}{0,50} \left(\frac{113}{137} \times 50 \right)$$

$$TM = 50 + 2,00 (0,82 \times 50)$$

$$TM = 50 + 2,00 \times 41$$

$$TM = As + Ae$$

TM = 50 + 82

TM = 132 cm

Esto quiere decir que en lugar de sembrar el frijol a una distancia de 70 cm entre hileras, deberá sembrarse a una distancia de 132 cm para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo. La distancia entre matas permanece inalterada.

APLICACION DE LA FORMULA DE ANAYA ET AL., PARA CULTIVOS EN HILERA

Diseño

Dentro del sistema de captación de lluvia *in situ*, para cultivos de escarda, el método más recomendable es el del distanciamiento entre hileras, el cual consiste en sembrar el cultivo seleccionado en surcos cuya separación se calcula mediante la fórmula antes mencionada, sin olvidar la topografía del terreno en que se va a trabajar ni la disponibilidad de implementos con los que cuente el agricultor.

Para utilizar la fórmula de Anaya et al, las unidades de As deben estar dadas en cm para que el TM obtenido esté dado en esa misma unidad.

Trazo

Para el trazo de cultivos en hilera se debe considerar, en primer término, el valor de la distancia calculada para la separación entre hileras que se debe emplear para la región y el cultivo seleccionado. Como paso inicial, se trazan sobre el terreno curvas a nivel que servirán como guía para la construcción de los surcos.

Cuando se dispone de maquinaria, la separación de los arados sobre la barra porta-herramienta debe ser igual a la distancia calculada para la separación entre hileras de plantas. Si se dispone únicamente de arados de tracción animal se debe tener cuidado de trazar los surcos sobre el terreno a la distancia calculada, siguiéndose el trazo en sentido transversal a la pendiente, de tal manera que los surcos adopten la forma que se observa en la figura 2.

Construcción

Para facilitar la infiltración del agua en el área de siembra (As) se recomienda subsolear y dar un paso de arado, cinceles u otro implemento para propiciar un mejor desarrollo de las raíces.

Posteriormente, con un arado de vertedera, una pequeña bordeadora o un arado modificado, se construyen los surcos, siguiendo las curvas a nivel.

Una sugerencia para la construcción es el empleo de un arado de reja modificado. Esta modificación consiste en agregar una solera de metal o de madera al ala del arado, la función de este implemento es que al construir los surcos, la solera colocada al lado del ala, extienda de manera uniforme la tierra que voltea la vertedera del arado, dándole la pendiente adecuada al talud superior del surco superior.



Figura 2. Aplicación de la fórmula de Anaya et al. (1976) para calcular la distancia entre hileras de acuerdo a los factores suelo-planta-precipitación (Valle de Mezquital, Hidalgo).

El largo de la solera debe ser igual a la distancia que existe entre el fondo del surco y la parte más alta del mismo, considerando el talud más ancho del surco. En la figura 5, se muestra un implemento de tracción animal, consistente en un arado de doble vertedera y en una de ellas se observa la adaptación de una solera.

El método de siembra que se debe emplear en este sistema debe adaptarse a las condiciones de suelo y precipitación principalmente. Si las lluvias son de alta intensidad y el suelo es de textura pesada, se recomienda sembrar en el talud o en lo alto del surco para evitar el efecto de la inundación y que el sistema radical no esté bien aireado, sobre todo en las primeras etapas del cultivo. Si se trata de lluvias de baja intensidad o bien si el suelo presenta una alta permeabilidad, se recomienda sembrar en el fondo del surco para tener la máxima concentración de agua. Lo anterior se aplica a cultivos asociados, por ejemplo maíz-frijol .

Otra forma de efectuar la siembra bajo este sistema, consiste en seguir el método tradicional, o sea el de preparar el terreno mediante subsolado, barbecho (si es que lo requiere) y uno o dos pasos de rastra; posteriormente a esta preparación, se siembra el cultivo en hileras, a la distancia calculada. Llegado el momento de la primera escarda, se utiliza una cultivadora para eliminar las malas hierbas y aflojar ligeramente la superficie del suelo entre las hileras; una vez realizada esta operación, se procede a construir el talud del surco, requiriéndose para ello de un arado de doble vertedera modificado (ver figuras 5 y 6). Una ventaja que presenta este sistema es que se puede eliminar la hierba en forma mecánica, se propicia una mejor aireación del suelo y se da un aporque a la planta para prevenir el acame (vuelco, tendadura, tumbado, caída), además de que los surcos después de esta labor, están en condiciones de concentrar el agua en una zona vecina al

área de raíces, lo que reduce las posibilidades de que puedan ser afectadas por efectos de inundación.



Figura 3. Cultivo de Girasol a los 80 días y con un tamaño de Microcaptación de 140 cm Valle de México.



Figura 4. Cultivo de Maíz a los 80 días con un tamaño de Microcaptación de 140 cm Valle de México.

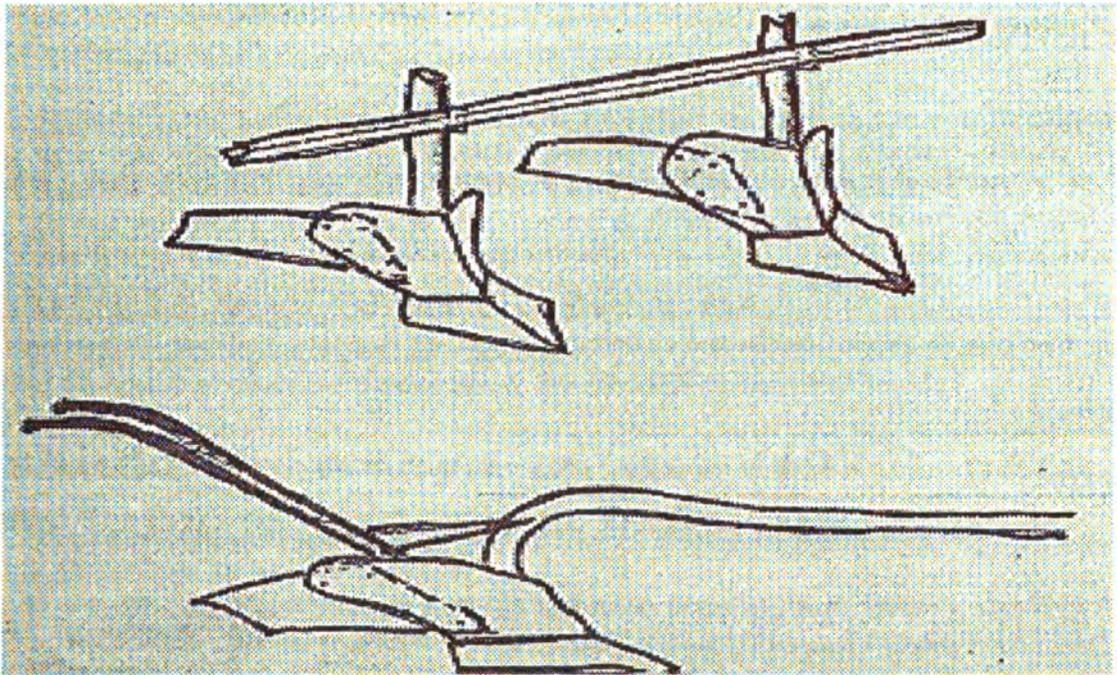


Figura 5. Arado de doble vertedera, modificado para la construcción de bordería, puede utilizarse con tracción animal o mecánica. (Arado "Xolox").

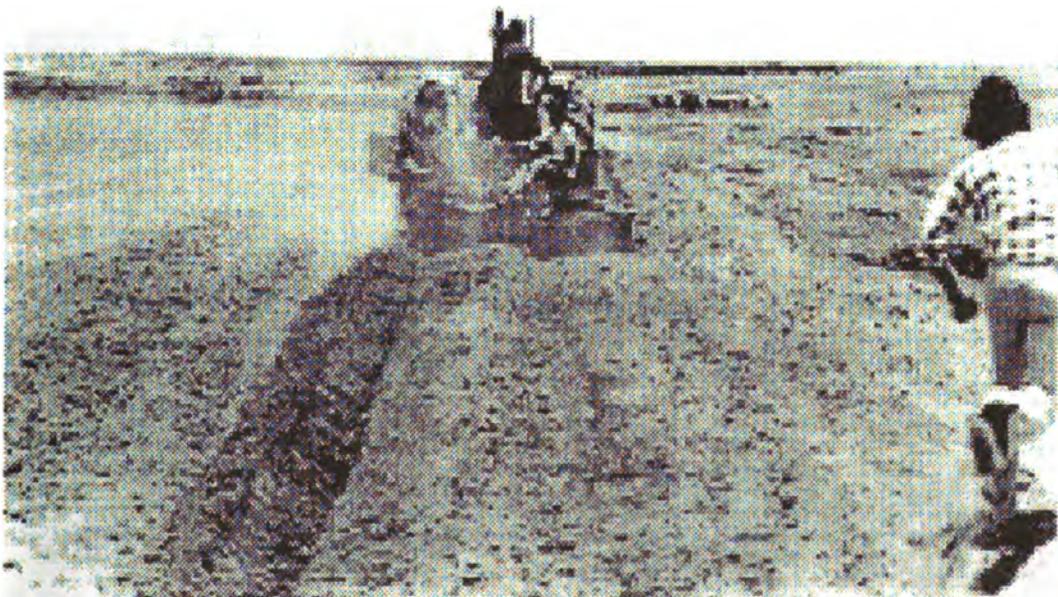


Figura 6. Arado "Xolox" para la construcción de surcos modificados (microcaptaciones), también puede ser usado con tracción animal.

APLICACION DE LA FORMULA DE ANAYA ET AL, PARA CULTIVOS DENSOS

Diseño

El diseño para cultivos densos se debe ajustar a las condiciones topográficas del terreno, y a la cantidad y distribución de la precipitación .

El ancho de la microcaptación, se calcula considerando como área de siembra el ancho de la faja que se desee sembrar, el cual deberá ser un múltiplo del ancho de los implementos agrícolas a usar, bien sean de tracción mecánica o de tracción animal. En este caso, al aplicar la fórmula de Anaya et al., el As debe estar en metros para que el TM calculada esté dada también en esas unidades.

Trazo

Para el trazo de las microcaptaciones para cultivos tupidos, se deben seguir los siguientes pasos:

- Trazar curvas a nivel, cuya separación entre sí sea igual a la distancia calculada.
- Delimitar el área de escorrentía y el área de siembra.

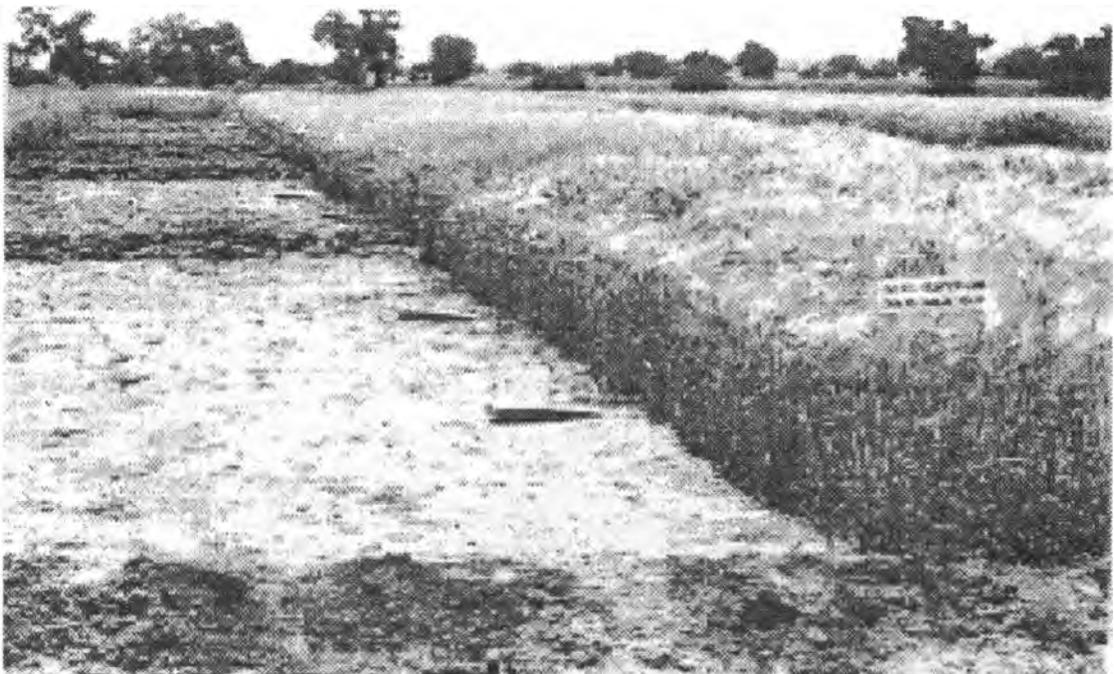


Figura 7. Aplicación de la fórmula de Anaya et. al., para calcular el área dedicada a escorrentía en cultivos tupidos Tecamac, México.

Construcción

La construcción se hará de acuerdo a los siguientes pasos:

- Sobre las curvas a nivel se construyen bordos, cuya altura sea capaz de retener el volumen de agua que escurra dentro de la microcaptación. Para este fin, pueden utilizarse las dimensiones de los bordos para la construcción de la terraza de base angosta.
- El área destinada a escurrir se debe localizar en la parte superior de la microcaptación, a esta área se le deben hacer las labores siguientes:
 1. Eliminar de la superficie toda clase de objetos que impidan el escurrimiento, tales como piedras, ramas y arbustos.
 2. Emparejar la superficie para uniformizarla.
 3. Compactar la superficie, si es necesario, con un rodillo de metal o de concreto.

Los pasos 2 y 3 pueden omitirse si no se cuenta con los recursos necesarios.

- El área destinada a la siembra se debe acondicionar mediante las labores siguientes:
 1. Preparación del suelo para la siembra.
 2. Dar un paso de subsuelo o con cinceles, para propiciar la infiltración y reducir la evaporación. Esta labor se realizará siempre y cuando la textura y la estructura del suelo lo requieran.
 3. Nivelación o emparejamiento de la superficie del suelo para una mejor distribución del agua.
 4. Aplicar materia orgánica para aumentar la capacidad de retención de la humedad.

APLICACION DE LA FORMULA DE ANAYA ET AL, PARA FRUTALES

Diseño

El diseño de las microcaptaciones para frutales debe adaptarse a las condiciones topográficas del terreno, y como en los dos casos anteriores, dependerá de los factores siguientes: tipo de frutal, cantidad y distribución de la precipitación y de las características del suelo, los cuales al conjugarse en la fórmula de Anaya et al, determinan el tamaño y las características que debe tener la microcuenca.

El A_s inicial se obtiene de las recomendaciones generales dadas para frutales. Por ejemplo, las plantaciones de aguacate normalmente se realizan a distancias entre plantas de 10 m, lo que implica al utilizar la fórmula de Anaya et al., un $A_s = 100 \text{ m}^2$; con lo que el T_M calculado también estará dado en m^2 .

El T_M resultante puede acomodarse en el campo de diferentes formas de acuerdo a las necesidades de manejo del huerto. Por ejemplo, un $T_M = 25 \text{ m}^2$ puede formarse de varias maneras, 5×5 , $6 \times 4,15$, etc.; de modo que la disposición a seleccionar sea aquella que permita mayor facilidad en la operación del huerto (figura 8).

Trazo

Para hacer el trazo definitivo de las microcaptaciones para frutales, es de suma importancia considerar el uso consuntivo de ese frutal cuando llegue a su máximo desarrollo, y utilizar este dato en la fórmula, para calcular el tamaño de la microcaptación. Este método es aplicable a frutales aislados o bien en el establecimiento de un huerto, bajo un sistema de microcaptación.

En el trazo del huerto en áreas planas se debe seguir, de preferencia, los métodos tradicionales de distribución de árboles tales como el marco real, tresbolillo, etc., aunque en huertos en terrenos inclinados, el más conveniente es el de tresbolillo; en cualquier caso debe tenerse cuidado que la distancia entre árboles y la distancia entre hileras se ajusten a las dimensiones previamente establecidas, para que la superficie dedicada a cada frutal corresponda al tamaño de la microcaptación.

El trazo de las microcaptaciones deberá considerar también algunas condiciones del terreno. Por ejemplo, si se trata de un terreno plano, el trazo se deberá hacer, de acuerdo a las características del viento o bien de la disponibilidad de luz solar.

Si se trata de un terreno con pendiente uniforme, el trazo se deberá hacer, siguiendo curvas a nivel que se deberán trazar previamente.

Si el terreno es accidentado, se deberán trazar, hasta donde sea posible, curvas a nivel y distribuir los árboles de acuerdo al método antes mencionado, de tal forma que la construcción de las microcuencas no implique un movimiento excesivo de tierra.

Cuando el terreno presente una topografía accidentada, las microcaptaciones deberán adaptarse conforme se presenta el relieve.

Construcción

Cuando se ha delimitado el tamaño de las microcaptaciones y se ha hecho el trazo de las mismas sobre el terreno, se procede a su construcción.

En la construcción de la microcaptación se deben considerar tres aspectos:

- Preparación del área de siembra.
- Construcción de los bordos.
- Acondicionamiento del área de escorrentía.

Preparación del área de siembra

Cuando se trate de suelos profundos (1 m ó más) la plantación se puede hacer en dos formas:

1. Si se dispone de maquinaria, se usa un arado zanjador, el cual abre una zanja de 50 a 70 cm de profundidad en la hilera donde se colocarán los árboles, después se marca la distancia que deberá existir entre cada árbol y en este sitio se agregará estiércol o

composta, recomendándose que cubra una longitud aproximada de 2 m, lo ancho de la zanja y una profundidad de 20 a 30 cm, sobre esta capa se coloca una capa delgada de suelo, se coloca el árbol y se rellena con suelo; con el tractor, se llena el resto de la zanja.

2. Otra forma de plantación de los frutales es hacer cepas; en este caso, éstas se harán de 1 m² y de 60 cm de profundidad, el relleno se hará al igual que se explicó para la zanja.

Cuando se trate de suelos superficiales o de "tepetate" (capa calcárea, dura, a poca profundidad) se recomienda hacer cepas de 2 x 2 m y de 60 cm de profundidad, el relleno de la cepa se hace igual que en el caso anterior.

Las cepas se deben construir en la parte más baja de la microcaptación, para facilitar la escorrentía del agua. El relleno de la cepa se debe hacer, de preferencia, con material fino y rico en materia orgánica para que tenga una alta capacidad de retención y almacenamiento del agua.

Construcción de los bordos

Los bordos se pueden construir con mano de obra ó con implementos agrícolas, tales como arados bordeadores, cuchillas niveladoras o escrepas, estos implementos pueden ser de tracción mecánica ó de tracción animal.

Cuando la topografía es irregular, la construcción de los bordos se debe hacer, hasta donde sea posible, con la cuchilla o escrepa y después, cerrar y afinar a mano los bordos y emparejar el área de escorrentía.

Acondicionamiento del área de escorrentía

Habiéndose construido los bordos, se procede a emparejar la superficie interior para que tenga la máxima eficiencia en el escorrentía del agua, esta labor es manual y se hace principalmente con el azadón y el rastrillo, como se observa en la figura 8.

En el caso de la topografía irregular, para evitar el movimiento excesivo de tierra dentro de la microcaptación, se construyen en ella surcos colectores, cuya función es concentrar y conducir el agua de lluvia hacia la zona de raíces.

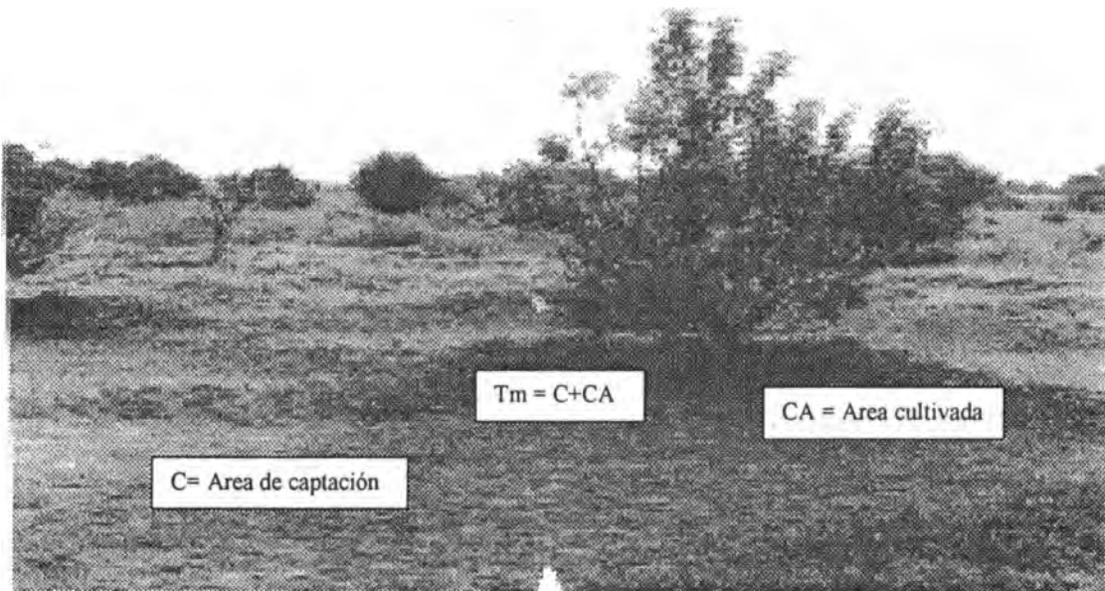


Figura 8. Vista del tamaño de microcaptaciones para frutales calculadas mediante la fórmula de Anaya et al, Chapingo, México.

Al quedar constituido un huerto bajo este sistema, se debe tomar en consideración que algunas veces se presentan lluvias de alta intensidad, las cuales podrían causar problemas de inundaciones y llegar a romper los bordos, para ello se debe adaptar la superficie del bordo inferior, de tal manera que ésta funcione como un vertedor de excesos. El vertedor se recubre con pasto, con piedra o con cualquier otro material. En la parte más baja del huerto se debe construir un canal que las conduzca a un almacenamiento. Además, a este almacenamiento se le puede adaptar un sistema de bombeo, para riego suplementario a los frutales en tiempo de sequía.

Para huertos en terrenos inclinados, el principio de las microcaptaciones puede adaptarse también a los sistemas de zanja, bordo y de terrazas.

MANEJO DE LAS MICROCAPTACIONES

Debido a que el tamaño de la microcaptación se calcula considerando los requerimientos de agua del frutal en su estado de madurez, en los primeros años de establecido el huerto es conveniente manejarlo de forma tal que los árboles pequeños no tengan problemas por exceso de agua, para ello se sugiere durante el primer año destinar tan sólo la cuarta parte de la microcuencia a captación y el resto se puede utilizar con otro cultivo que puede ser maíz, avena, frijol, etc. a medida que transcurre el tiempo y que las necesidades de agua son mayores para el frutal, se aumenta el área de escorrentía y se reduce la superficie dedicada al otro cultivo, hasta que finalmente se utilice en su totalidad la microcaptación para abastecer al árbol con la cantidad de agua requerida, tal como se observa en la figura 9.

La operación de las microcaptaciones de esta forma, a la vez de optimizar el manejo del agua, permite al agricultor obtener utilidades extra con los cultivos anuales mientras el frutal es joven y no genera cosecha alguna.

Para que los sistemas de microcaptaciones operen adecuadamente, es necesario mantener el área limpia de malezas, reconstruir los bordos destruidos por tormentas inesperadas. La figura 9 muestra un cultivo perenne (nopal) asociado con un cultivo anual, a medida que crece el cultivo perenne se va reduciendo la superficie dedicada al cultivo anual.



Figura 9. Utilización eficiente del terreno en las primeras etapas de desarrollo de un frutal (asociación cultivo perenne-cultivo anual). Chapingo, México.

EVALUACION DE MODELOS PARA EL DISEÑO DE MICROCAPTACIONES

Se evaluaron cuatro modelos para el diseño de microcaptaciones y encontraron que el que se ajusta mejor a las condiciones del Altiplano Potosino es el propuesto por Anaya y colaboradores (cuadro 6 y figura 10).

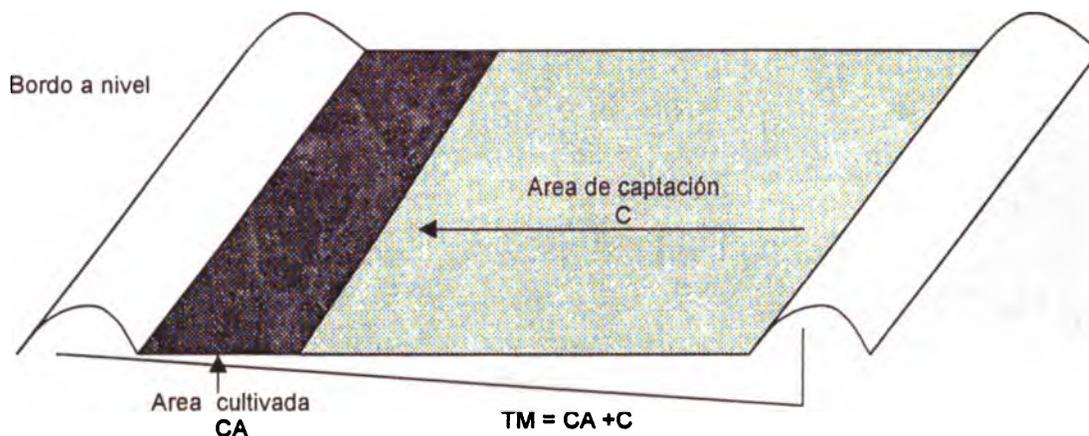


Figura 10. Esquema de un sistema de captación de lluvia para pasto buffel (cultivo perenne).

Cuadro 8. Producción de zacate (pasto) buffel con diferentes relaciones área de siembra: área de escorrentía en San Luis Potosí.

Relación A-S-E	Modelo	Cobertura (m ² /ha)	Producción de Forraje (kg de Materia seca/ha)
1:2	Smith	544	411
1:3	Sin Modelo	1,208	857
1:5	Anaya	1,961	2,498
1:6	Sin Modelo	2,167	2,356
1:7	Sin Modelo	1,638	1,227
1:9	Villanueva	1,237	1,743

Mantenimiento

El mantenimiento de las microcaptaciones es fundamental para obtener significativos aumentos en la producción de cultivos. Las microcaptaciones deben mantener su forma, prevenir rupturas y eliminar las malas hierbas tanto en el área de escorrentía como en el área de siembra. Además, se pueden complementar con el uso de coberturas (rastrajo y piedra) para reducir la evaporación del agua del suelo en el área de siembra (As).

Potencial de producción

El sistema de microcaptación favorece el incremento de rendimientos unitarios de los cultivos debido a la humedad extra acumulada en el perfil del suelo. Sin embargo, es necesario evaluar el potencial de producción en periodos de cuando menos 7 a 10 años, ya que la variabilidad en la precipitación pluvial anual es considerable. En México, ha sido posible obtener incrementos de 200 a 300% en el sistema de captación y aprovechamiento del agua de lluvia, para la producción de cultivos en hilera, densos e individuales (arbustos y árboles frutales). Lo anterior se aplica para cultivos anuales y perennes.

Grado de complejidad

Las tecnologías de microcaptación de lluvia tienen un mínimo grado de complejidad, son perfectamente entendibles por los productores y adaptadas de inmediato a las condiciones locales. Además se pueden hacer a mano, con tracción animal y con tracción mecánica.

Limitaciones

Estas tecnologías no se recomiendan en suelos delgados (menores de 70 cm de profundidad) ya que la capacidad de almacenamiento del agua en el perfil del suelo, es muy reducida. Los mejores rendimientos de cultivos anuales se obtienen con una precipitación pluvial anual de alrededor de 500 mm.

IMPACTOS SOCIOECONOMICO Y AMBIENTAL

Costos y retornos

Los costos y retornos anuales registrados durante varios ciclos vegetativos, en diferentes localidades y con diferentes cultivos anuales y perennes indican que es posible obtener una relación costo/beneficio de 1:2 a 1:3. Lo anterior es posible obtener en localidades donde la precipitación media anual es de cuando menos 500 mm. Los cultivos evaluados han sido los siguientes: maíz para grano, maíz forrajero, frijol, sorgo para grano, sorgo forrajero, girasol, soya, orégano, pastos, arbustos y árboles frutales.

Generación de empleo

La utilización de microcaptación de agua de lluvia para cultivos anuales y perennes indica una necesidad promedio de mano de obra de 40 a 160 días/hombre por hectárea, dependiendo de la duración del ciclo vegetativo y del tipo de cultivo.

Sostenibilidad

Los sistemas de producción con microcaptación de agua de lluvia representan la infraestructura básica (conservación de suelos y aprovechamiento integral del agua de lluvia) para lograr un desarrollo sustentable. Si esta técnica se complementa con el mejoramiento de la fertilidad del

suelo, se asegura una mejor producción a través de los años y la mitigación de los efectos de la sequía con el consecuente mejoramiento del entorno ecológico.

INTRODUCCION

Un sistema de captación de agua de lluvia consiste de un área de captación (recolección) y un área cultivada (de concentración). La relación entre las dos, en términos de tamaño, determina por qué factor de lluvia será "multiplicado". Para un diseño apropiado de un sistema, es recomendable determinar la relación entre área de captación (C) y área cultivada (CA).

Muchos sistemas de captación de agua de lluvia exitosos han sido establecidos simplemente en base al estimado de la relación entre el área de captación y el área cultivada. Este puede ser sin duda el único enfoque posible donde no se disponga de información básica sobre lluvia, escorrentía superficial y necesidades de agua del cultivo. Sin embargo, el cálculo de la relación resultará ciertamente en un sistema más eficiente y efectivo, si hay información básica disponible y es confiable.

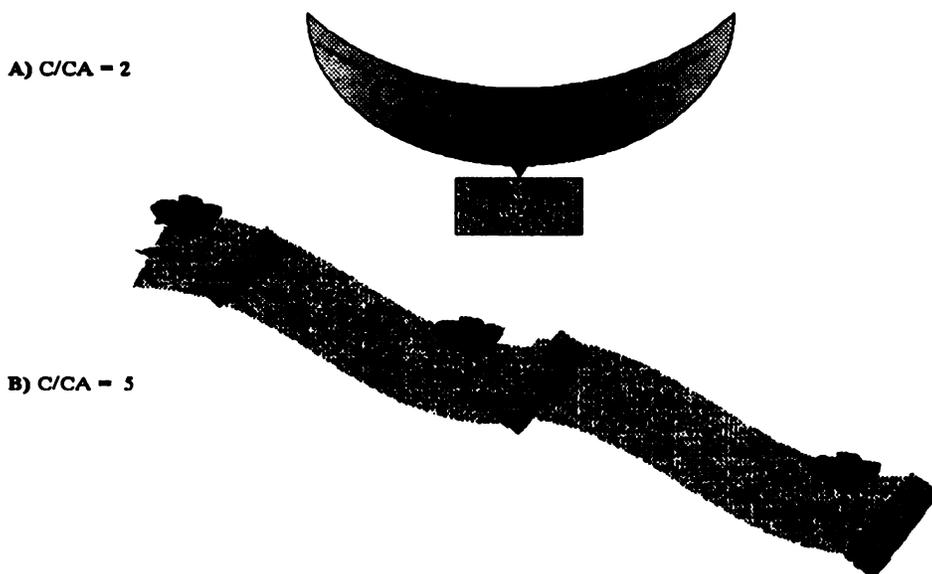


Figura 11. Relación área de captación/área cultivada.

* FUENTE: Critchley y Siegert (1991). Water Harvesting. FAO. Roma, Italia.

No obstante, debe tomarse en cuenta que los cálculos se basan siempre en parámetros con alta variabilidad. La lluvia y la escorrentía superficial son característicamente erráticas en regiones donde se practica la captación de agua de lluvia. Por lo tanto, es a veces necesario modificar un diseño original a la luz de la experiencia y frecuentemente será útil para incorporar medidas de seguridad, tal como zanjas de intercepción, para evitar daños en años cuando la lluvia excede la considerada de diseño.

El cálculo de la relación C/CA es principalmente útil para sistemas de captación de agua de lluvia donde se pretende el establecimiento de cultivos.

SISTEMAS DE PRODUCCION PARA CULTIVOS

El cálculo de la relación área de captación/área cultivada, se basa en el concepto que el diseño debe cumplir con la siguiente regla:

$$\text{AGUA CAPTADA} = \text{AGUA EXTRA REQUERIDA}$$

La cantidad de agua obtenida del área de captación es una función de la cantidad de escorrentía superficial creada por la lluvia en el área. Esta escorrentía superficial, para una escala de tiempo definida, se calcula multiplicando una "lluvia de diseño" por un coeficiente de escorrentía superficial. Como no toda la escorrentía superficial puede ser eficientemente utilizada (debido a pérdidas por percolación profunda, etc.) tiene que ser multiplicada adicionalmente por un factor de eficiencia.

$$\text{AGUA CAPTADA} = \text{AREA DE CAPTACION} \times \text{LLUVIA DE DISEÑO} \times \\ \text{COEFICIENTE DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL} \times \text{FACTOR DE EFICIENCIA}$$

La cantidad extra de agua requerida se obtiene multiplicando el tamaño del área cultivada por las necesidades netas de agua del cultivo, la cual se obtiene restando la supuesta "lluvia de diseño" de las necesidades totales de agua del cultivo.

$$\text{AGUA EXTRA REQUERIDA} = \text{AREA CULTIVADA} \times (\text{NECESIDADES} \\ \text{TOTALES DE AGUA DEL CULTIVO} - \text{LLUVIA DE DISEÑO})$$

Por sustitución en la ecuación original

$$\text{AGUA CAPTADA} = \text{AGUA EXTRA REQUERIDA}$$

Obtenemos:

$$\text{AREA DE CAPTACION} \times \text{LLUVIA DE DISEÑO} \times \text{COEFICIENTE DE ESCORRENTIA} \times \text{FACTOR DE EFICIENCIA} = \text{AREA CULTIVADA} \times (\text{NECESIDADES TOTALES DE AGUA DEL CULTIVO} - \text{LLUVIA DE DISEÑO})$$

Si esta fórmula es reordenada se obtiene finalmente:

$$\frac{\text{Necesidades de agua de cultivo} - \text{Lluvia de diseño}}{\text{Lluvia de diseño} \times \text{coeficiente de escorrentia} \times \text{Factor de eficiencia}} = \frac{\text{Area de captación}}{\text{Area cultivada}}$$

Necesidades de agua de los cultivos (Uso Consuntivo)

Las necesidades de agua de los cultivos (uso consuntivo) depende de la clase de cultivos y del clima del lugar donde están creciendo. Las estimaciones proporcionadas en el capítulo “necesidades de agua y suelo” podrán usarse cuando no se disponga de otra información más precisa.

Lluvia de diseño

La lluvia de diseño se establece por cálculos o estimaciones (ver capítulo anterior). Esta es la cantidad de lluvia estacional en que, o arriba de la cual, el sistema está diseado para proveer escorrentía superficial suficiente para cubrir las necesidades de agua de los cultivos. Si la lluvia está por debajo de la lluvia de diseño”, hay un riesgo de fracaso del cultivo debido a estrés por humedad. Cuando la lluvia está sobre la del “diseño”, entonces la escorrentía superficial está en excedente y puede sobrepasar los bordos.

La lluvia de diseño se calcula con base en una probabilidad de ocurrencia determinada. Si, por ejemplo, se determina una probabilidad del 67%, la lluvia será igual o mayor que la de diseño en dos de cada tres años y la lluvia captada será suficiente o excederá las necesidades de agua del cultivo, también en dos de cada tres años.

Un diseño conservador estará basado en una probabilidad más alta (lo cual significa una lluvia de diseño más baja), para hacer el sistema más “confiable” y así satisfacer más frecuentemente las necesidades de agua de los cultivos. Sin embargo, el riesgo asociado sería una inundación más frecuente del sistema en años donde la lluvia ocurrida excede a la lluvia de diseño.

Coefficiente de escorrentía

Esta es la proporción de lluvia que fluye a lo largo de la tierra como escorrentía superficial. Depende entre otros factores del grado de pendiente, del tipo de suelo, de la cubierta vegetal, de la humedad precedente del suelo, de la intensidad y de la duración de la lluvia. El coeficiente varía generalmente entre 0,1 y 0,5. Cuando no se dispone de información, el coeficiente puede ser estimado con base en la experiencia. Sin embargo, debe evitarse estas estimaciones siempre que sea posible (ver Capítulo anterior), por los riegos que implican.

Factor de eficiencia

Este factor tiene en cuenta la ineficiencia de la distribución del agua (generalmente desigual) dentro del campo, así como las pérdidas por evaporación y percolación profunda. Donde el terreno de cultivo es nivelado y emparejado, la eficiencia es más alta. Los sistemas de microcaptación tienen eficiencias más altas cuando el agua es generalmente almacenada a menos profundidad. La selección del factor se deja a criterio del diseñador basándose en su experiencia y en la técnica seleccionada. Normalmente el rango de valores de este factor es entre 0,5 y 0,75.

EJEMPLOS SOBRE COMO CALCULAR LA RELACION C/CA

Ejemplo Uno

Clima: árido

Sistema de captación de agua de lluvia: captación externa (ejemplo, bordos trapezoidales)

Cultivo mijo

- Necesidades de agua del mijo (ciclo vegetativo total) = 475 mm (bajo, debido a madurez rápida)
- Lluvia de diseño (ciclo vegetativo) = 250 mm (a un nivel de probabilidad de P=67%).
- Coeficiente de escorrentía (estacional) = 0,25 (bajo, debido a un área de captación relativamente larga y con baja pendiente)
- Factor de eficiencia = 0,5 (estimado general, para pendientes largas)

$$\frac{C}{CA} = \frac{475 - 250}{250 \times 0,25 \times 0,5} = 7,2$$

Es decir el área de captación debe ser 7,2 veces mayor que el área de cultivo (en otras palabras, la relación área de captación/área cultivada es 7,2/1)

Comentario: La relación es alta, pero el sistema está diseñado para un área seca con el supuesto de un bajo coeficiente de escorrentía superficial.

Ejemplo Dos

Clima: semiárido

Sistema de captación de agua de lluvia: captación externa (ejemplo: bordos trapezoidales)

Cultivo: sorgo de 110 días

- Necesidades de agua del cultivo = 525 mm
- Lluvia de diseño = 375 mm (P=67%)
- Coeficiente de escorrentía = 0,25
- Factor de eficiencia = 0,5

$$\frac{C}{CA} = \frac{525 - 375}{375 \times 0,25 \times 0,5} = 3,2$$

Es decir el área de captación debe ser 3,2 veces mayor que el área de cultivo. En otras palabras, la relación, área de captación/área de cultivo es 3,2/ 1.

Comentario: Una razón de aproximadamente 3/1 es común y ampliamente adecuada.

Ejemplo Tres

Clima: semiárido

Sistema de captación de agua de lluvia: microcaptación (ejemplo, surcos en contorno o microcuencas)

Cultivo: sorgo de 110 días

- Necesidades de agua del cultivo = 525 mm
- Lluvia de diseño = 310 mm (establecida a un nivel de probabilidad de P = 75 % para dar más confiabilidad)
- Coeficiente de escorrentía = 0,5 (refleja la alta proporción de escorrentía del área de captación)
- Factor de eficiencia = 0,75 (refleja la mayor eficiencia del área de captación con corta pendiente)

Es decir el área de captación tiene que ser aproximadamente el doble de grande en relación al área cultivada.

Comentario: Las relaciones son siempre más bajas para sistemas de microcaptación debido a una mayor eficiencia en el uso de agua y a un coeficiente de escorrentía más alto. Si se considera una lluvia de diseño de 67% de probabilidad (es decir, un sistema menos confiable) se habría reducido a una relación 1/1.

SISTEMAS DE CAPTACION PARA ARBOLES

La relación entre área de captación y área cultivada es difícil de determinar para sistemas donde pretende cultivar árboles. Como ya se trató anteriormente, en general sólo se dispone de estimaciones poco precisas de las necesidades de agua para especies nativas y de múltiple propósito comúnmente plantadas bajo sistemas de captación de agua de lluvia. Aún más, los árboles crecen casi exclusivamente en sistemas de microcaptación donde es difícil determinar que porción del área total está realmente explorada por la zona radicular teniendo en mente las etapas de desarrollo radicular a través de los años antes de que una plántula se convierta un árbol maduro.

En vista de lo anterior, se considera suficiente el estimar sólo el tamaño total de la captación (MC), que es el área de captación y área cultivada (hoyo de infiltración) juntos, por lo que se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$MC = RA \times \frac{WR - DR}{DR \times K \times EFF}$$

donde:

MC	tamaño total de la microcaptación (m ²)
RA	área explorada por el sistema radicular (m ²)
WR	necesidades de agua anuales (mm)
DR	lluvia de diseño (anual) (mm)
K	coeficiente de escorrentía (anual)
EFF	factor de eficiencia

Como una regla general, se puede asumir el supuesto de que el área del sistema radicular es igual al área de la copa del árbol.

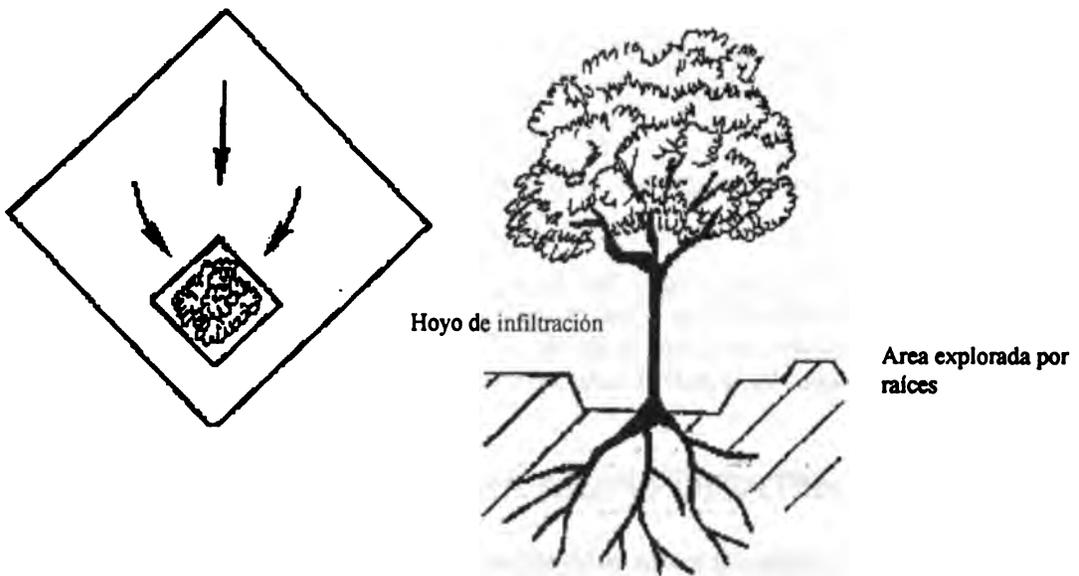


Figura 12. Sistema de microcaptación negarim para árboles.

Ejemplo:

Area semiárida, árbol frutal cultivado en microcaptación tipo negarim

Necesidades de agua anuales (WR)	=	1 000 mm
Lluvia de diseño anual (DR)	=	350 mm
Copa del árbol maduro (RA)	=	10 m ²
Coeficiente de escorrentía (K)	=	0,5
Factor de eficiencia (EFF)	=	0,5

$$\text{Tamaño total MC} = 10 \times \{(1\ 000 - 350) / (350 \times 0,5 \times 0,5)\} = 84 \text{ m}^2$$

El Cuadro 9 muestra algunos ejemplos de tamaños de área de captación y de área cultivada para varias especies. Son notables las grandes diferencias de tamaño.

Como una regla general, para árboles de múltiple propósito en regiones áridas/semiáridas, el tamaño de la microcaptación por árbol (área de captación y área cultivada juntas) debe variar entre 10 y 100 metros cuadrados, dependiendo de la aridez de la zona y de las especies cultivadas. Se puede conseguir flexibilidad plantando en el sistema más de un árbol y en una etapa posterior extraer las plántulas excedentes si fuera necesario.

Cuadro 9. Dimensiones de área de captación y área de cultivo en microcuencas para árboles.

Especies	País	Área de Captación (m ²)	Área cultivada (m ²)	Fuente
Ziziphus mauritiana	Rajastan, India	31,5	36	Sharman et. al., (1986)
Granada	Negev, Israel	160	16	Shanam & Tadmore (1979)
Almendra	Negev, Israel	250	10	Ben-Asher (1988)
Furraje/especies Para leña	Baringo, Kenya	10-20 *		Critchley & Reij (1989)
Especies para Furrages	Turkana, Kenya	93,75**	6,25**	Barrow (in Rocheleu Et. al., (1988)
Especies para Leña/Multipropósito	Gruesselbodi Forest, Níger	64*		Critchley & Reij (1989)
Especies para leña/ Multipropósito	Keita Valley, Níger	12	1,8	Critchley & Reij (1989)

* No se presenta división entre áreas de captación, área cultivada y hoyo para infiltración.

** En Varios casos se plantaron dos arboles en el mismo lugar.

SISTEMAS PARA CULTIVOS FORRAJEROS Y AGOSTADEROS (PRADERAS)

En la mayoría de los casos no es necesario calcular la relación C/CA para sistemas implementados para la producción de forraje y/o rehabilitación de agostaderos (praderas). Como un lineamiento general, es apropiada una relación de 2/1 a 3/1 para microcaptación (las cuales son normalmente utilizadas).

ANTECEDENTES

Los camellones en contorno, algunas veces llamados surcos en contorno o microcuencas, son utilizados para la producción de cultivos. Nuevamente ésta es una técnica de microcaptación. Los surcos siguen la curva de nivel o línea de contorno con espaciamientos de 1 a 2 metros. La escorrentía superficial es captada de la faja no cultivada entre camellones y almacenada en un surco justamente aguas arriba del camellón. Los cultivos se colocan en ambos lados del surco. El sistema es simple y puede construirse a mano ó con maquinaria. Puede representar aún menos trabajo intensivo que la labranza convencional de una parcela.

El rendimiento de escorrentía superficial en áreas de captación de muy corta longitud es extremadamente eficiente y cuando se diseñan y construyen correctamente, no existen pérdidas de escorrentía superficial fuera del sistema. Otra ventaja es el crecimiento uniforme de cultivos debido a que cada planta tiene aproximadamente la misma área de captación contribuyente.

Los camellones en contorno para cultivos no es aún una técnica extendida. Esta técnica está siendo probada para producción de cultivos en varios proyectos en Africa.



Figura 13. Sistemas de camellones con surcos en contorno.

* FUENTE: Critchley y Siegert (1991). Water Harvesting. FAO. Roma, Italia.

DETALLES TECNICOS

Adaptabilidad

Los surcos en contorno para la producción de cultivos pueden ser utilizados bajo las siguientes condiciones:

- Lluvia: 350 a 750 mm.
- Suelos: todos los suelos que sean apropiados para la agricultura.
- Los suelos arcillosos y compactados pueden ser una restricción para la construcción a mano de los surcos y camellones.
- Pendiente: desde planos hasta 5,0%.
- Topografía: debe ser uniforme, deben evitarse las áreas con zanjas u ondulaciones.

Limitaciones

Los surcos y camellones en contorno se limitan a áreas con lluvia relativamente alta, debido a que la cantidad de escorrentía captada es comparativamente pequeña por lo reducido del área de captación.

Configuración general

El diseño general consiste en camellones de tierra paralelos o casi paralelos, aproximadamente sobre la curva de nivel a un espaciamiento de entre 1 y 2 m. El suelo se excava y se coloca aguas abajo para formar un camellón y el surco excavado arriba del camellón recolecta la escorrentía superficial de la faja de captación entre camellones. Las pequeñas barreras de tierra en el surco son construidas cada pocos metros para garantizar un almacenamiento uniforme de la escorrentía superficial. Una zanja de intercepción/derivación puede ser necesaria para proteger el sistema de la escorrentía superficial proveniente desde afuera.

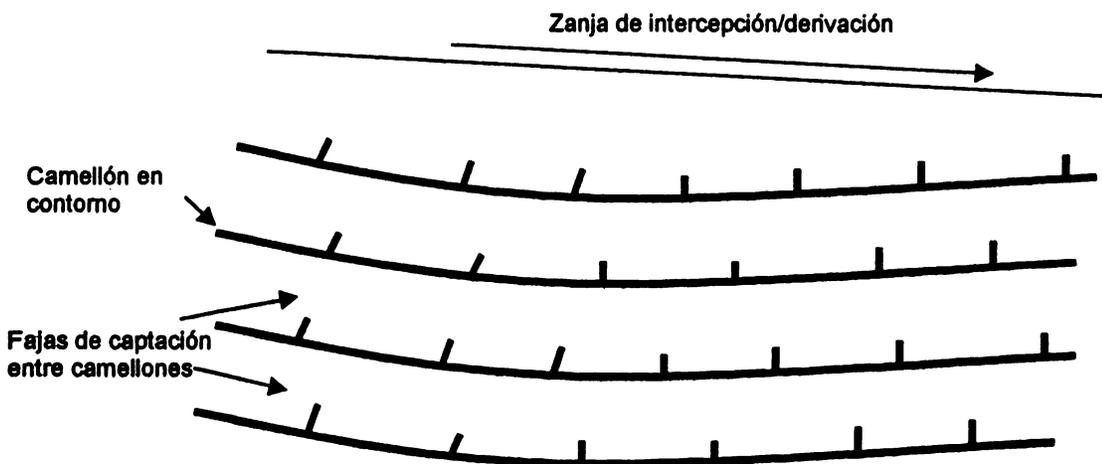


Figura 14. Camellones y surcos en contorno: esquema de campo.

Relación área de captación/área cultivada

El área cultivada no es fácil de definir. Es una práctica común suponer una faja de 50 cm con el surco al centro. Los cultivos son plantados dentro de esta zona y así se utiliza la escorrentía concentrada en el surco. Así, para una distancia típica de 1,5 m entre camellones, la relación C/CA es 2/1; o sea una faja de captación de un metro y una faja cultivada de medio metro. Una distancia de 2 metros entre camellones daría una relación 3/1. La relación C/CA puede ser ajustada incrementando o disminuyendo la distancia entre los camellones.

El cálculo de la relación área de captación/área cultivada sigue el modelo de diseño del capítulo sobre ese tema. En la práctica se recomienda generalmente un espaciamiento de 1,5-2,0 metros entre camellones (relación C/CA de 2/1 y 3/1, respectivamente) para cultivos anuales en zonas semiáridas.

Diseño del camellón

El camellón debe ser tan alto como sea necesario para evitar el desborde por la escorrentía superficial. Como la escorrentía superficial es captada solamente de una pequeña faja entre camellones, una altura de 15 a 20 cm es suficiente. Si los camellones estuvieran espaciados a más de 2 metros, la altura del bordo tendría que aumentarse.

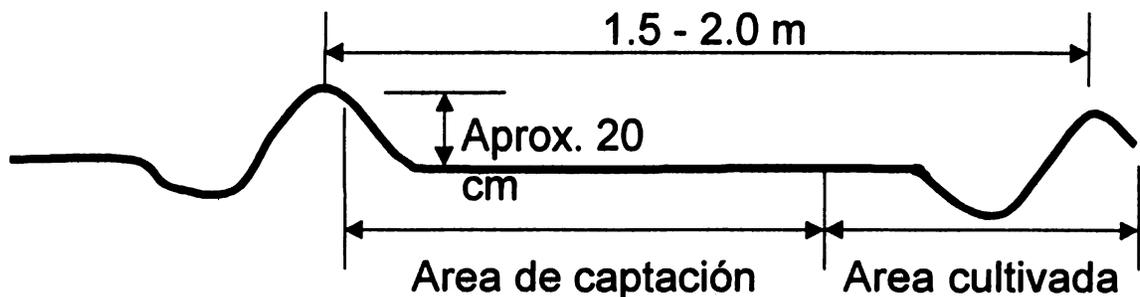


Figura 15. Dimensiones de camellones y surcos en contorno.

Cantidades y trabajo

Las cantidades de movimiento de tierra para diferentes espaciamientos de los camellones en contorno y su altura se presentan en el Cuadro 10. Debe considerarse que la construcción del camellón ya incluye la preparación del suelo, por lo que no se requiere de labores adicionales. Cuando se necesite una zanja de interpretación/derivación, debe considerarse un adicional de 62,5 m³ por cada 100 metros de longitud de la zanja.

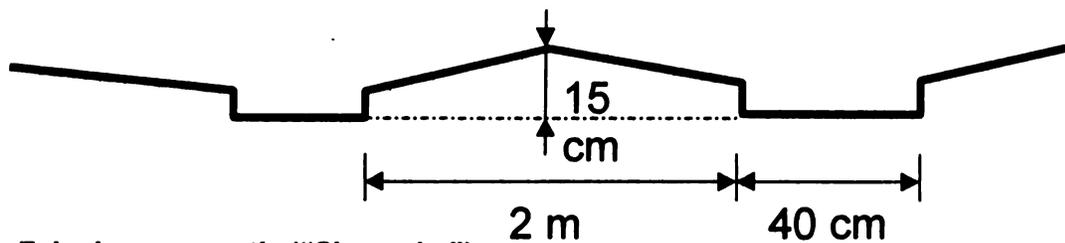
Cuadro 10. Cantidades de movimiento de tierra para camellones en contorno.

Espaciamiento entre camellones	Altura de los camellones y Barreras transversales (cm)	Movimiento de tierra/ha (m ³)
1,5	15	270
1,5	20	480
2,0	20	360

Variaciones de diseño

Las variaciones de diseño desarrolladas en Israel son las “fajas de escorrentía (“Shananim”) y las “fajas recolectoras”. Se construye una serie de camellones, poco profundos y anchos utilizando una motoconformadora. El espacio entre camellones puede ser de varios metros (para fajas recolectoras, el espacio es generalmente de 2-5 metros.)

Faja recolectora



Faja de escorrentía (“Shananim”)

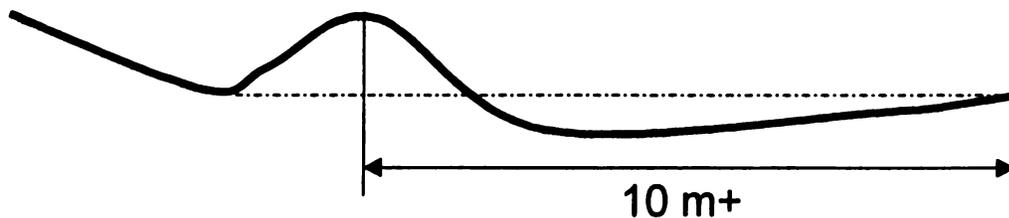


Figura 16. Variaciones en el diseño.

Diseño y construcción

Paso Uno

La curva de nivel se traza con un instrumento topográfico simple como un nivel de tubo de agua o nivel de línea (ver anexo). La línea de contorno debe ser suavizada para obtener una mejor alineación para realizar las operaciones agrícolas.

Paso Dos

Las líneas guía del contorno o curva de nivel deben ser estacadas cada 10 ó 15 metros. La alineación para los camellones se marca entre líneas guía de acuerdo con la selección del espacio. En terrenos poco uniformes, las líneas de contorno pueden estar más próximas entre sí en un sitio y más separadas en otros puntos. Es necesario detener las líneas donde los contornos convergen o añadir líneas cortas extras en medio, donde los contornos divergen mucho.

Paso Tres

Los surcos se excavan generalmente por medio de un azadón o se barbechan paralelamente a las alineaciones marcadas para los camellones. El suelo excavado se coloca aguas abajo, después del surco para formar el camellón.

Paso Cuatro

Se construyen pequeñas barreras transversales a intervalos de cerca de 5 metros, dividiendo cada surco en varios segmentos. Las barreras tienen 15 a 20 cm de alto y de 50 a 75 cm de longitud.

Paso Cinco

Una zanja de intercepción/derivación debe construirse aguas arriba del bloque de camellones en contorno, si es que existe el riesgo de daños causados por la escorrentía superficial desde fuera del sistema. La zanja de intercepción/derivación deberá tener una profundidad de 50 cm y de 1 a 1,5 m de ancho, con una pendiente de 0,25%. El suelo excavado se coloca aguas abajo. La zanja debe construirse antes de que los camellones en contorno se construyan para evitar daños de lluvias tempranas.



Figura 17. Camellones en contorno: técnica de trazado.

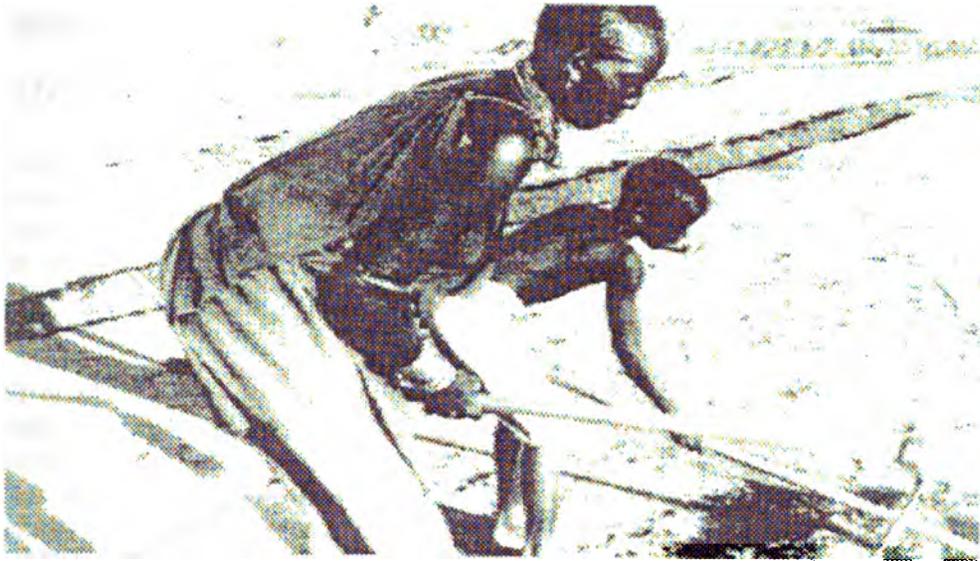


Figura 18. Construcción de camellones en contorno.

Mantenimiento

Si los bordos al contorno son diseñados y construidos correctamente, es poco probable que se presenten rupturas o excesos de agua. Sin embargo, si ocurrieran rupturas, los bordos o represas tienen que ser reparados inmediatamente. El área de captación no cultivada entre el bordo deberá mantenerse libre de vegetación para garantizar que la cantidad óptima de escurrimiento superficial fluya hacia los surcos.

Al final de cada estación el canal necesita ser reconstruido a su altura original. Después de dos o tres estaciones, dependiendo del estado de fertilidad de los suelos, puede ser necesario mover el surco aguas abajo por aproximadamente un metro o más, que resultará en un nuevo suministro de nutrientes para las plantas.

Aspectos Agronómicos

El cultivo principal (generalmente un cereal) se siembra en el lado aguas arriba del canal, entre la parte superior del bordo y el surco. En este punto, las plantas tienen una mayor profundidad de suelo superficial. Un cultivo asociado, generalmente una leguminosa, puede ser sembrado frente al bordo. Es recomendable que la población de plantas del cultivo de cereal se reduzca a aproximadamente un 65% del estándar convencional para cultivos de agricultura de secano. A menor número de plantas se tendrá más humedad disponible en años de lluvia escasa.

El deshierbe tiene que ser llevado a cabo regularmente alrededor de las plantas y dentro de la faja de captación.

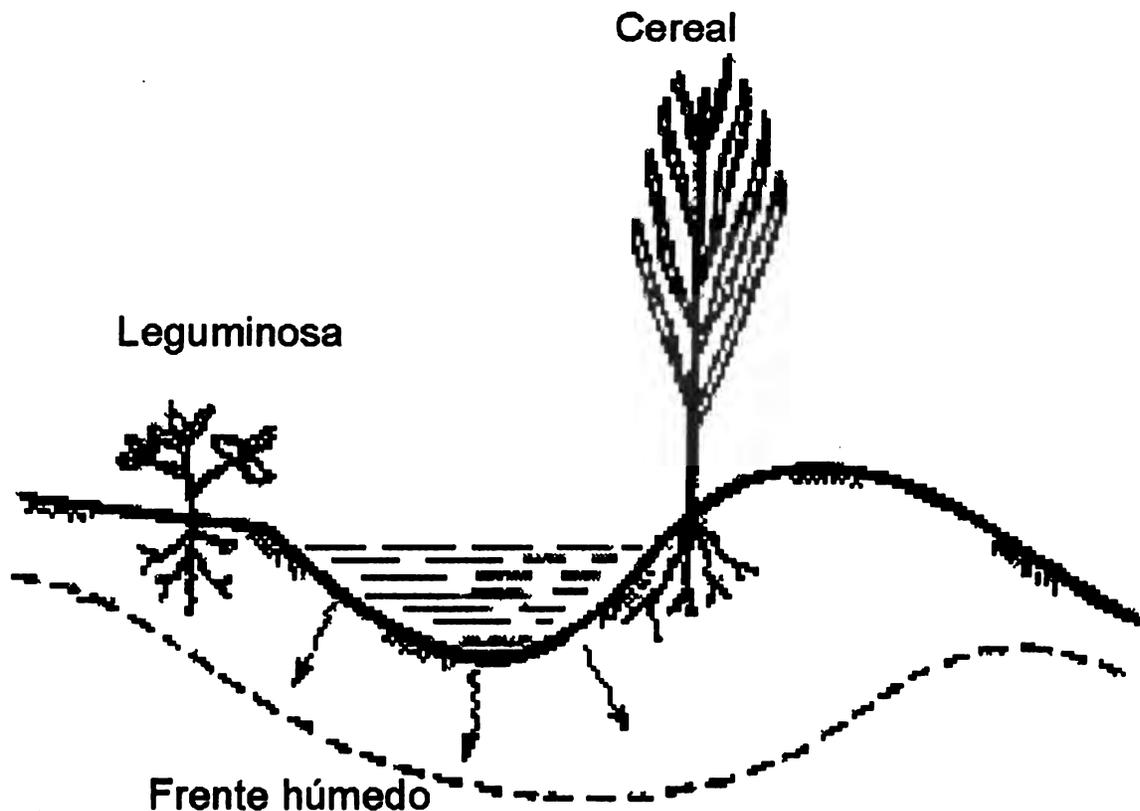


Figura 19. Configuración de la Plantación.

Factores Socioeconómicos

Puesto que la técnica de bordos al contorno (microcuencas) implica un nuevo método de labranza y plantación comparado con el cultivo convencional, los productores pueden ser renuentes al inicio, para aceptar esta técnica. La demostración y motivación son, por lo tanto, muy importantes. Por otra parte, es uno de los métodos más simples y baratos de captación de agua de lluvia. Esta puede ser implementada por el productor utilizando un azadón, con un mínimo costo. El apoyo externo se limita a un mínimo. Alternativamente esta técnica puede ser mecanizada y pueden utilizarse una variedad de implementos. Cuando se usen por un productor en su propio terreno, el sistema no crea conflictos de intereses entre el que implementa y el beneficiario.

ANTECEDENTES

Los bordos trapezoidales son utilizados para confinar grandes áreas (hasta 1 ha) y para concentrar mayores cantidades de escurrimiento superficial, el cual es captado de una área de captación externa o "de pendiente larga". El nombre se deriva del diseño de la estructura que tiene la forma de un trapecio, un bordo base conectado a dos lados con bordos o a las paredes externas que se extienden aguas arriba en un ángulo generalmente de 135°. Los cultivos son colocados dentro del área confinada. El sobreflujo descarga alrededor de las represas de la pared extrema del bordo.

El diseño general, consiste de un bordo base conectado a paredes laterales y es una técnica tradicional común en diferentes partes de Africa. El concepto es similar a la técnica de bordos semicirculares; en este caso, tres lados de una parcela son cerrados por bordos, mientras el cuarto lado aguas arriba se abre para permitir la entrada del escurrimiento superficial. Las ventajas principales de esta técnica son la simplicidad de diseño y construcción con el mínimo mantenimiento requerido. Esta sección se basa en el diseño y trazo de bordos trapezoidales instrumentados en el Distrito de Turkana en el Noreste de Kenya.

DETALLES TECNICOS

Adaptabilidad

Los bordos trapezoidales pueden ser utilizados para cultivos, árboles y pastos. Su aplicación más común es para la producción de cultivos bajo las siguientes condiciones del sitio:

- Lluvia: 250 mm - 500 mm; en zonas áridas a semiáridas.
- Suelos: Los suelos agrícolas con buenas propiedades de construcción; es decir (que no se agrieten), con un alto contenido de arcilla.
- Pendiente: Desde 0.25% hasta 1.5%, pero lo más apropiado es por debajo de 0.5%.
- Topografía: El área dentro de los bordos debe ser uniforme.

Limitaciones

Esta técnica está limitada a terrenos de baja pendiente. La construcción de bordos trapezoidales sobre pendientes mayores a 1.5% es técnicamente posible, pero involucra grandes cantidades de terraplén, lo cual la hace prohibitiva.

* FUENTE: Critchley y Siegert (1991). Water Harvesting. FAO. Roma, Italia.

Configuración general

Cada unidad de bordos trapezoidales consiste de un bordo base conectado a dos bordos laterales extendidos aguas arriba en un ángulo de 135 grados. El tamaño del área cerrada depende de la pendiente y puede variar desde 0.1 a 1 ha. Los bordos trapezoidales pueden ser construidos en unidades individuales o en grupos. Cuando varios bordos trapezoidales son construidos en un grupo, ellos son ordenados en una configuración escalonada; las unidades en líneas más bajas interceptan el sobreflujo de los bordos de arriba. Una distancia común entre las represas de bordos adyacentes dentro de una fila tiene 20 m con 30 m de espaciamento entre las represas de la fila más baja y los bordos base de la fila superior (ver figura 20). El planificador tiene la libertad de seleccionar otros trazos de diseño, de acuerdo a las condiciones de sitio. La configuración escalonada como se muestra en la Figura 18, debe siempre ser continua. No es recomendable construir más de dos filas de bordos trapezoidales ya que aquellos en una tercera o cuarta fila recibirán significativamente menos escurrimiento superficial. Las dimensiones recomendadas para una unidad de bordos trapezoidales se dan en el Cuadro 11.

Relación Area de Captación: Area Cultivada (C/CA)

La metodología básica para determinar la relación C/CA se da en el capítulo 4, para los casos donde es necesario determinar el tamaño del área de captación necesaria para un área cultivada. Esto es a veces más apropiado para enfocar el problema de otra manera; es decir, determinar el área y número de bordos que pueden ser cultivados con un área de captación ya existente.

Ejemplo:

El cálculo del número de bordos trapezoidales necesarios para utilizar el escurrimiento superficial de un área de captación de 20 ha bajo las condiciones siguientes:

Pendiente:	1%
Requerimiento de agua por el cultivo:	475 mm por estación
Lluvia de diseño:	250 mm por estación
Coefficiente de Escurrimiento:	0.25
Factor de Eficiencia:	0.50

Del capítulo mencionado anteriormente:

$$\frac{C}{CA} = \frac{475 - 250}{250 \times 0,5 \times 0,25} = \frac{225}{31,25} = 7,2$$

Pero $C = 20$ ha

Así

$$CA = \frac{20}{7,2} = 2,8 \text{ ha}$$

Del Cuadro 23, el área disponible para cultivo dentro de un bordo trapezoidal a una pendiente del 1% es $3\,200\text{ m}^2 = 0.32\text{ ha}$.

Por lo tanto, el número de bordos requerido: $N = 2,8/0,32 = 8$

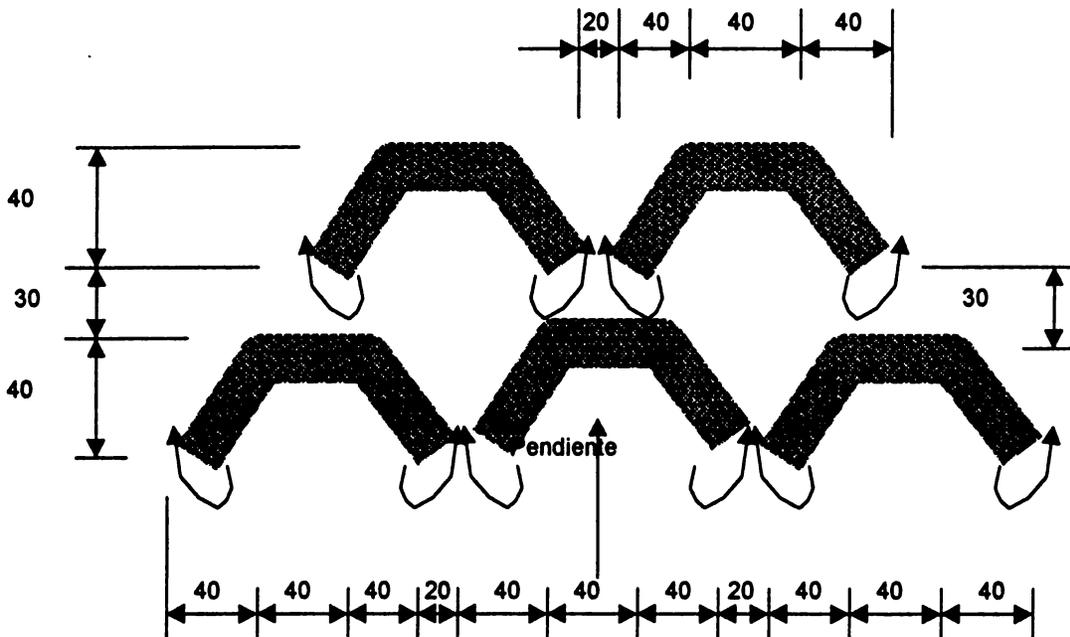


Figura 20. Bordos trapezoidales: trazo de campo para pendientes del terreno de 1%.

De manera común con todas las técnicas de captación de agua de lluvia que dependen de captación externa, la relación C/CA se basa en la confiabilidad de la lluvia estacional en un año de lluvia relativamente escasa. En años lluviosos y particularmente con tormentas, existe el peligro de daños a cultivos y a los bordos mismos. Este es particularmente el caso para bordos en pendientes escarpadas y para aquellas con altas relaciones C/CA. Esto conlleva a la recomendación de una máxima relación C/CA de 10:1, aunque las relaciones de hasta 30:1, a veces son utilizadas. Donde el uso de un área de captación es indispensable, se aconseja construir una zanja de derivación temporal para evitar un escurrimiento superficial excesivo. Por otro lado, en situaciones donde el área de captación no es del tamaño adecuado, las zanjas de intercepción pueden ser excavadas para guiar el escurrimiento superficial de áreas de captación adyacentes hacia los bordos.

Diseño del Bordo

Los criterios utilizados en el diseño de bordos en Turkana, Distrito de Kenya fueron los siguientes:

Longitud del bordo base:	40 m
Angulo entre el bordo base y bordos laterales:	135°
Altura máxima de bordo:	0.60m
Altura mínima de bordo (en las represas):	0.20m

La configuración de bordos depende de la pendiente del terreno y se determina con la profundidad máxima de inundación diseñada con 40 cm en la base del bordo. Por consiguiente, cuando el gradiente se hace más escarpado, los extremos de los bordos se extienden menos hacia arriba como se ilustra en la figura 21. En pendientes mayores de 0.5%, la eficiencia del modelo se relaciona al incremento en el terraplén requerido por hectárea cultivada (ver Cuadro 11)

Las secciones transversales del bordo se muestran en la figura 20 y son de 1 metro de ancho de cresta y pendiente (horizontal vertical) en los lados de 4/1.

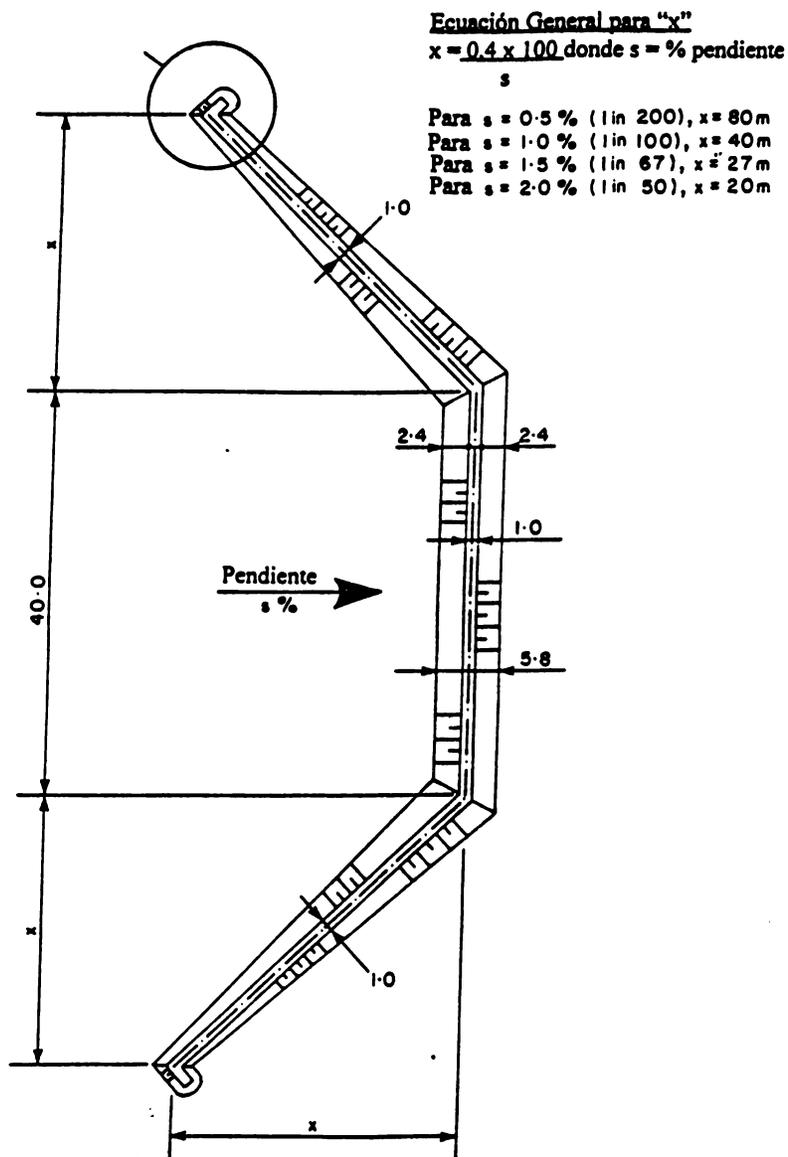


Figura 21. Dimensiones de bordos trapezoidales.

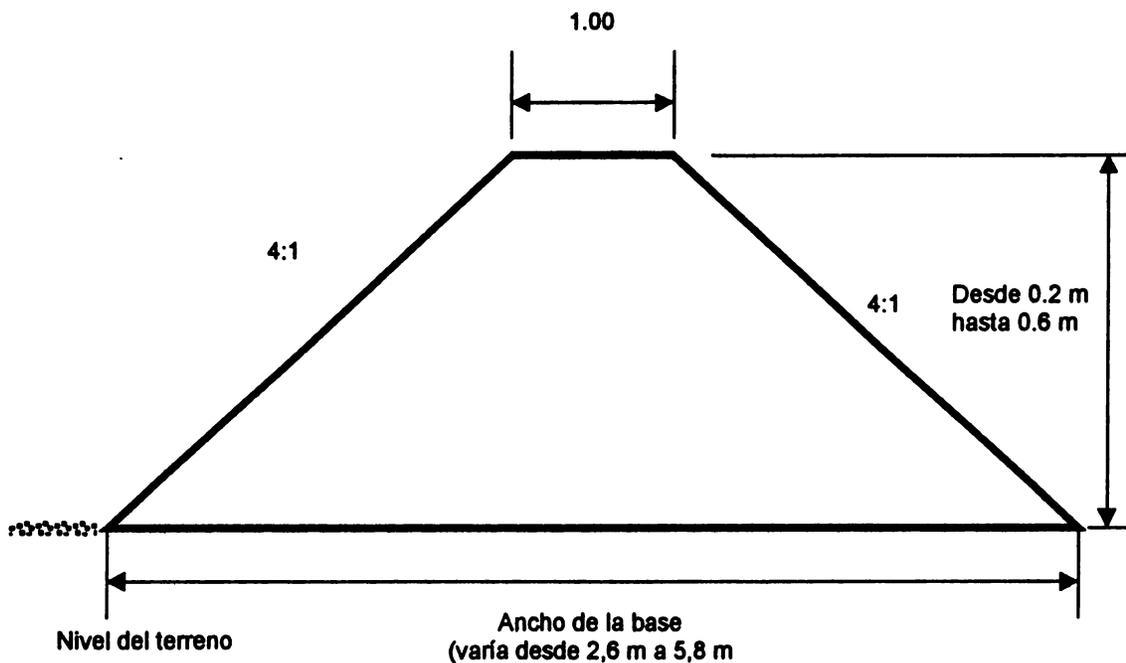


Figura 22 . Bordos Trapezoidales: Sección transversal.

Dimensiones y Cantidades de movimiento de tierra

El Cuadro 11 da detalles de cantidades de terraplén y dimensiones en el modelo Turkana para diferentes pendientes. Los terraplenes también se indican por hectárea de área cultivada.

Variaciones de Diseño

Las configuraciones y criterios de diseño indicados anteriormente se aplican a bordos instalados en el Distrito de Turkana de Kenya. Variaciones considerables son posibles dependiendo de las condiciones climáticas, físicas y socioeconómicas. El diseño óptimo para un conjunto único de circunstancias puede solamente lograrse por un proceso de ensayo y error.





Figura 23. Sistema Tradicional en Somalia.

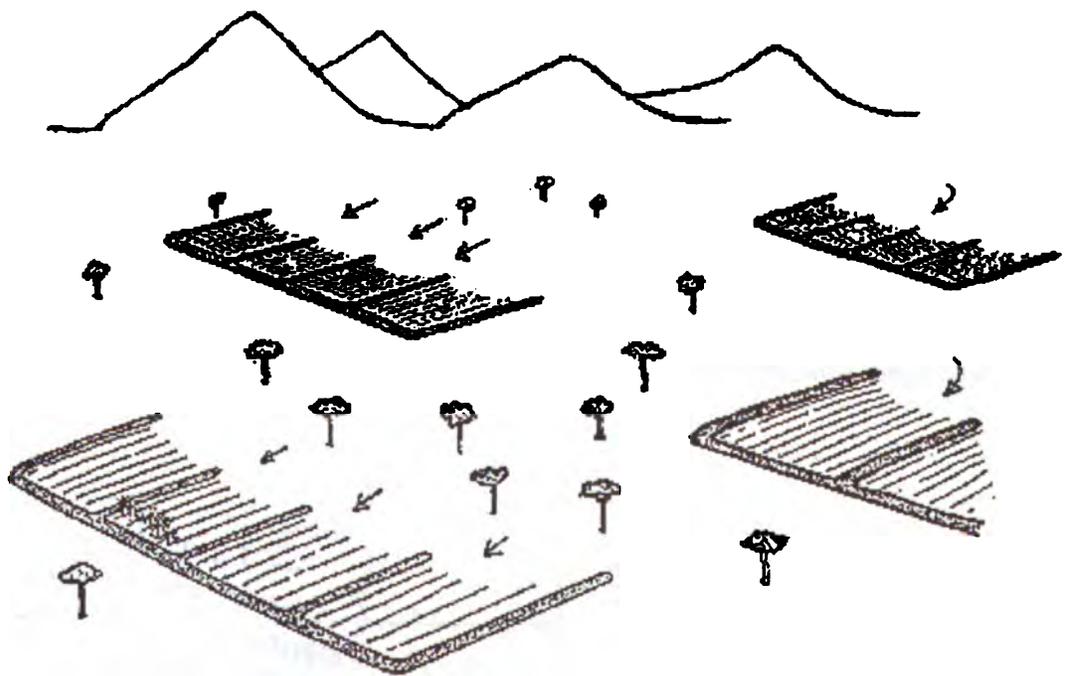


Figura 24. Sistema "Teras", Sudán Oriental.

Cuadro 11. Cantidades de terraplén para bordos trapezoidales.

Pendiente (%)	Longitud del Bordo Base (m)	Longitud De las Paredes (m)	Distancia entre Represas (m)	Terraplén por Bordo (m ³)	Area Cultivada por Bordo (m ²)	Terraplén/ha Cultivada (m ³)
0,5	40	114	200	355	9600	370
1,0	40	57	120	220	3200	670
1,5	40	38	94	175	1800	970

Nota: Donde se requieren zanjas derivadoras, se deben añadir 62.5 m³ por cada 100 m de longitud.

Las formas tradicionales de captación de agua de lluvia, similares a los bordos trapezoidales, se han encontrado en los llanos arcillosos de Sudán Oriental y también en Somalia. En Sudán, la disposición de bordos es rectangular con bordos laterales extendiéndose aguas arriba en ángulos rectos al bordo base. En el Noroeste de Somalia un proyecto de desarrollo ha construido bordos en forma de banana con el tractor “bulldozer”.

Diseño y Construcción

Paso Uno

Cuando el sitio para el bordo ha sido seleccionado, lo primero es medir la pendiente del terreno, utilizando un nivel Abney o nivel de línea como se describe en el Apéndice. Las dimensiones para bordos en diferentes pendientes se dan en el Cuadro 11. Después de haber establecido la pendiente del terreno, los bordos laterales pueden ser determinados.

Se comienza en la parte superior del campo, se coloca una estaca que será la punta de uno de los bordos laterales (punto 1). El segundo bordo lateral (punto 2) está en el mismo nivel del terreno en la distancia obtenida del Cuadro 11. Este se agrupa usando el nivel de línea y una cinta como se describe en el Apéndice y se marca con una estaca.

Paso Dos

Las dimensiones para el estacado de los cuatro puntos principales de los bordos, se muestran en la Figura 26. El punto “a” puede establecerse midiendo la distancia “x” del punto 1 a lo largo de la línea de unión del punto 1 y 2. Los valores para “x” (por diferentes pendientes) pueden ser obtenidos de la Figura 22. Igualmente, el punto “b” se obtiene midiendo la distancia “x” del punto 2 a lo largo de la línea de unión del punto 1 y 2. Los puntos 3 y 4, que son los puntos de intersección del bordo base y los bordos laterales, tienen una distancia x aguas abajo del punto “a” y “b” respectivamente, medidos en ángulos rectos a la línea de unión del punto 1 y del punto 2. El ángulo recto puede encontrarse fácilmente utilizando un patrón triangular de ángulo recto (lados: 100 cm, 60 cm y 80 cm). Con esto, se determinan los puntos 3 y 4.

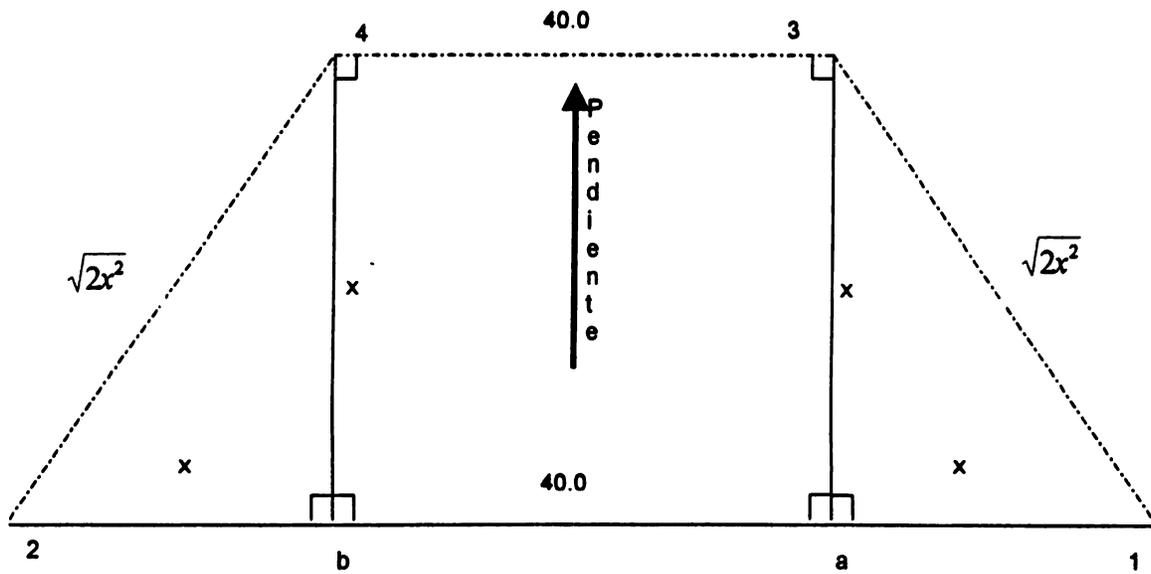
Paso Tres

La precisión puede lograrse midiendo las distancias entre el punto 3 y 4, el punto 3 y 1, y punto 2 y 4 que debe ser: punto 3 - punto 4 = 40m; punto 1 - punto 3 = punto 2 - punto 4

Si, al revisar, existe un error mayor que 0.5 m en cualquiera de estas tres dimensiones, deberá repetirse el procedimiento de establecimiento.

Paso Cuatro

Una vez establecidos los puntos principales de los bordos, es necesario distribuir las estacas o piedras para marcar los límites de los terraplenes. A lo largo del bordo base se marcan líneas paralelas a una distancia de 2.9 m de la línea 3-4. Para los bordos laterales, la demarcación de los límites de terraplenes es ligeramente más complicado. En el punto 1 (2) se marcan distancias perpendiculares de 1.30 m de cualquier lado de la línea central del bordo lateral. En el punto 3 (4) se marcan las distancias de 2.90 m en cualquier lado y perpendiculares a la línea central de los bordos laterales (línea 1-3, 2-4) . Con esto es posible definir los límites de terraplén en ambos lados de la línea central de los bordos laterales. Donde se requiere más de un bordo, el otro deberá delimitarse, de la misma forma.



Escala 1: 500

Figura 25. Bordos Trapezoidales: estacado de los puntos principales.

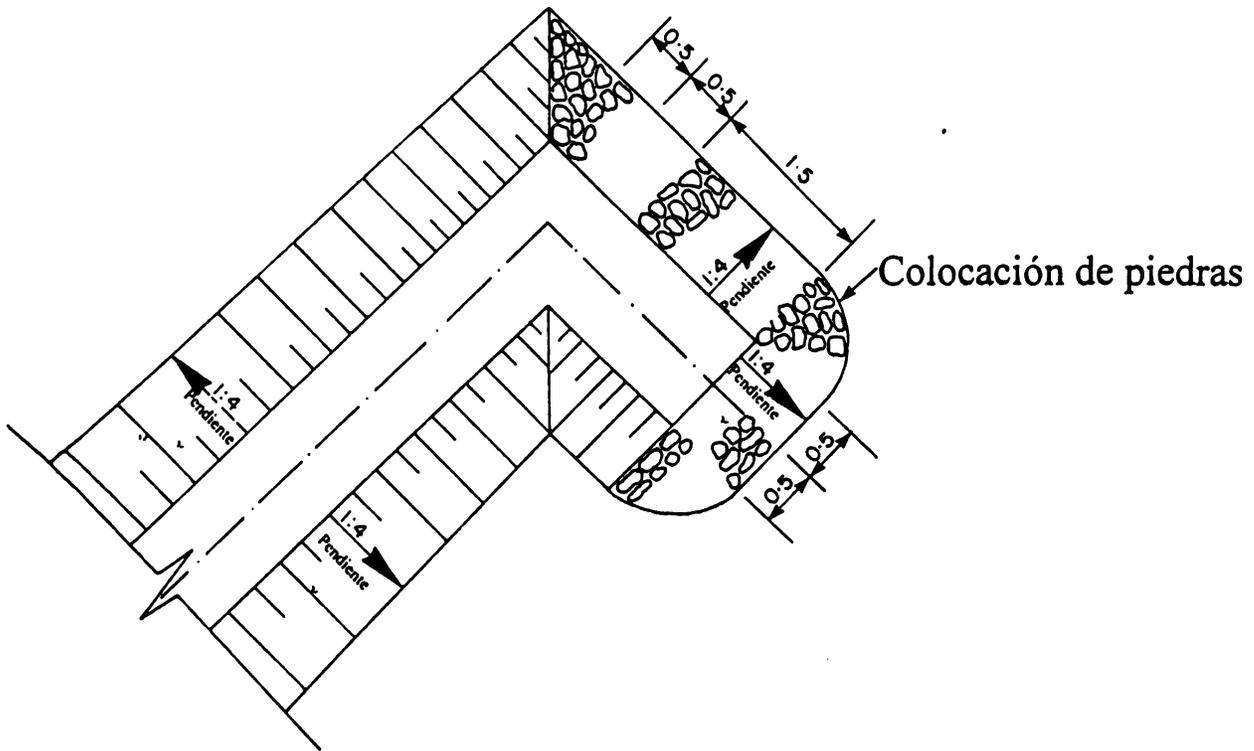


Figura 26. Bordos Trapezoidales: Detalle del vertedero.

Paso Cinco

La construcción de un conjunto de bordos trapezoidales tiene que comenzar con la hilera más alejada aguas arriba. Antes de comenzar la construcción, el suelo dentro del área de construcción del bordo debe aflojarse para garantizar el buen manejo con el terraplén. El bordo se construye en dos capas, cada una posee un espesor máximo de 0.30 m. El espesor de la primera capa se va disminuyendo gradualmente hasta cero con el proceso de aguas arriba a lo largo de los bordos laterales. Igualmente, el espesor de la segunda capa disminuye en tamaño a 0.20 m en los extremos. Cada capa debe compactarse mecánicamente y debe ser regada previamente a la compactación, cuando esto sea posible.

La excavación puede proporcionar el terraplén necesario que debe tomarse desde el interior del área bordeada; donde sea posible, ayudar al nivelado del área dentro del bordo para promover una distribución uniforme del agua. El material para terraplén no debe ser excavado del área

adyacente a los bordos en su lado aguas abajo, debido a que esto promueve problemas de cárcavas y ruptura de bordos.

Paso Seis

Las represas de los bordos son de solamente 20 cm de alto y el escurrimiento superficial excesivo desagua alrededor de ellos. Para evitar erosión de las represas estas deben ser formadas con una pequeña extensión o "cavidad", para guiar el agua fuera. Esta "cavidad" debe ser protegida con piedras para resistir a la erosión. Las dimensiones sugeridas se muestran en la Figura 27.

Paso Siete

Donde el área de captación es larga en relación al área bordeada, es aconsejable construir una zanja de derivación para evitar afluencia excesiva al bordo. Esta zanja tiene generalmente una profundidad de 50 cm y de 1.0 a 1.5 metros de ancho y es generalmente ajustada a 0.25% de pendiente. El suelo excavado de la zanja se utiliza para construir un terraplén en el lado aguas abajo, que también ayuda a desviar el escurrimiento superficial de los bordos. Al iniciar la estación los orificios pueden ser hechos en este terraplén a intervalos aproximados de 10 metros y el material utilizado para conectar temporalmente la zanja, así se permite que el escurrimiento superficial entre al bordo trapezoidal. Como se muestra en la Figura 28, es necesario continuar la excavación de la zanja a alguna distancia aguas abajo, para permitir que su nivel alcance el nivel de la tierra. Sobre esta longitud, el ancho de la base de la zanja debe aumentarse gradualmente hasta 3 metros.

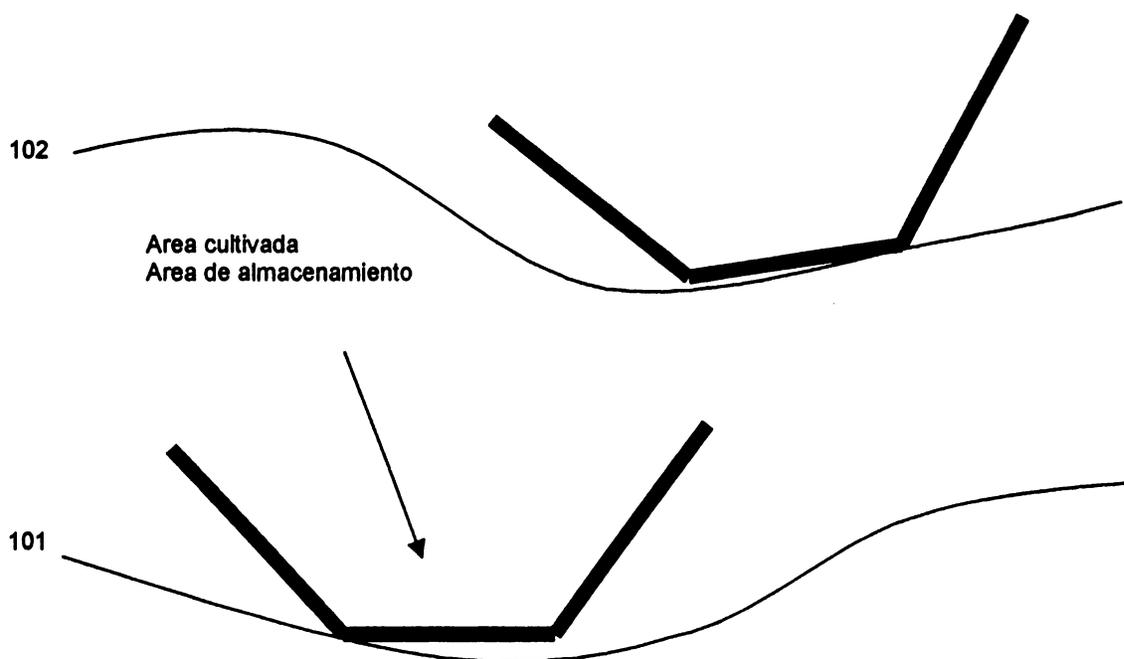


Figura 27. Bordos trapezoidales.

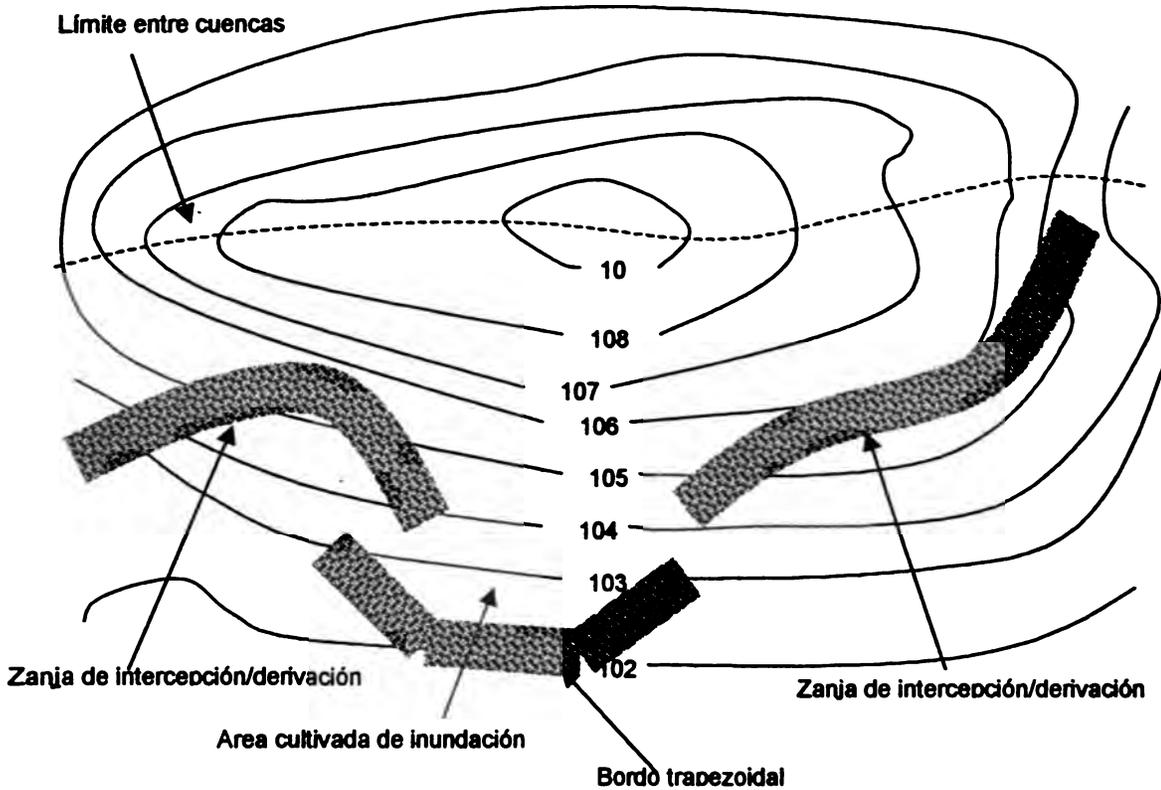


Figura 28. Zanjales de intercepción.

Paso Ocho

En situaciones donde el área de captación no es del tamaño adecuado, las zanjales de intercepción pueden servir para guiar el escurrimiento superficial de desagües adyacentes a los bordos. Estas son opuestas al efecto de las zanjales de derivación, pero tienen tamaños y criterios de diseño similares. Un ejemplo se muestra en la Figura 28.

Mantenimiento

Si hay grietas en el bordo, estas tienen que ser reparadas inmediatamente y deberá compactarse el terreno totalmente. Las grietas son frecuentemente provocadas por una débil construcción, o debido a que el área de captación está produciendo cantidades perjudiciales de escurrimiento superficial o ambas. Es aconsejable construir una zanja de derivación para proteger al bordo reparado.

Los túneles hechos por roedores pueden ser otra causa de rompimiento. Estos deben ser llenados en cuanto aparezcan. El permitir el crecimiento de la vegetación natural en los bordos conduce a mejorar su consolidación por las raíces de la planta. Frecuentemente se hace necesaria la

reparación de las represas laterales cuando el sobreflujo ha ocurrido. Estas deben ser reconstruidas y acondicionarse con piedra extra si se requiere.

Aspectos Agronómicos

Los bordos trapezoidales son utilizados normalmente para la producción de cultivos anuales en áreas secas. Los cultivos más comunes son cereales y de estos el sorgo y el mijo perla son los más usuales. El sorgo es particularmente apropiado para tales sistemas porque es tolerante tanto a la sequía como a las inundaciones temporales. En los bordos trapezoidales, el agua tiende a distribuirse irregularmente debido a la pendiente y el almacenamiento ocurre frecuentemente cerca del bordo base. Así mismo, la parte superior puede ser relativamente seca. El sorgo puede tolerar ambas situaciones.

La plantación se hace de modo normal después del cultivo ordinario del suelo dentro del bordo. Es usual arar en forma paralela al bordo base, de modo que se formen surcos pequeños para acumular el agua. La plantación en áreas más secas se retrasa a veces hasta que un escurrimiento superficial haya saturado el suelo dentro del bordo y la germinación y establecimiento estén garantizados. Es también posible hacer uso de lluvias fuera de la estación, plantando leguminosas de maduración rápida, como el chícharo o frijol "teparý" (*Phaseolus acutifolius*). Otra técnica útil es plantar cucurbitáceas como calabazas o sandías en el fondo del bordo si el agua se encharca considerablemente.

Factores Socioeconómicos

Es difícil generalizar acerca de los factores socioeconómicos que conciernen a bordos trapezoidales, ya que diferentes variaciones se encuentran bajo diversas circunstancias. Como se ha mencionado previamente, existen ejemplos de estructuras similares que se utilizan tradicionalmente en Sudán donde son frecuentemente hechas a mano, sin ayuda de alguna agencia y evidentemente muy funcionales. Por otra parte, los bordos trapezoidales o similares han sido construidos en otros lugares bajo diversos proyectos proporcionando alimento para estimular el trabajo o proporcionando maquinaria pesada. Cuando esto ha sido realizado sin ninguna obligación, los bordos han sido abandonados rápidamente. La cantidad de movimiento de tierra necesita para bordos trapezoidales significa que su construcción requiere generalmente de trabajo o maquinaria organizada y está fuera del alcance del productor individual. Sin embargo, donde existe la motivación adecuada, hay bastante lugar para estas técnicas que tienen una base tradicional y no requieren de nuevos conocimientos para el manejo agrícola.

ANTECEDENTES

Los bordos de piedra al contorno son utilizados para reducir el escurrimiento superficial, favorecer la infiltración y capturar sedimentos. La captación de agua y sedimento, conlleva directamente a un mejor desarrollo del cultivo. Esta técnica es apropiada para la aplicación en pequeña escala en campos agrícolas, ya que con un abasto adecuado de piedras, puede ser instrumentado rápidamente y a bajo precio.

La construcción de bordos o simplemente líneas de piedra es una práctica tradicional en lugares del Oeste del Sahel, Africa, notablemente en Burkina Faso. El mejoramiento de la construcción y alineación a lo largo del contorno hace la técnica considerablemente más efectiva. La gran ventaja de éstos sistemas, basados en piedra es que no hay necesidad de vertederos, donde se encuentran flujos potencialmente perjudiciales. El efecto filtrante de la barrera semipermeable a lo largo de ella, mejora la distribución del escurrimiento superficial en comparación a lo que los bordos de tierra son capaces de hacer. Aún más, los bordos de piedra requieren mucho menos mantenimiento.

La técnica de bordos de piedra para la captación de agua de lluvia (en contraposición a bordos de piedra para terraceo de ladera, una técnica mucho más extendida), se ha desarrollado mejor en Yatenga en la provincia de Burkina Faso. Donde ha demostrado ser una técnica efectiva, que es popular y rápidamente asimilada por los aldeanos.



Figura 29. Bordos de piedra en contorno.

* FUENTE: Critchley y Siegert (1991). Water Harvesting. FAO. Roma, Italia.

DETALLES TECNICOS

Adaptabilidad

Los bordos de piedra para la producción de cultivos pueden ser utilizados bajo las condiciones siguientes:

Lluvia: 200 mm - 750 mm; para zonas áridas y semiáridas.

Suelos: Suelos agrícolas.

Pendiente: Preferible por debajo de 2%.

Topografía: No necesita ser completamente uniforme.

Disponibilidad de piedras: El abasto de piedras local deber ser adecuado.

Configuración Global

Los bordos de piedra siguen el contorno, o el contorno aproximado, a través de terrenos agrícolas y pastizales. El espaciamiento entre bordos varía normalmente entre 15 y 30 m dependiendo ampliamente en la cantidad de piedra y trabajo disponible. No hay necesidad de zanjas de derivación o instalación de vertederos.

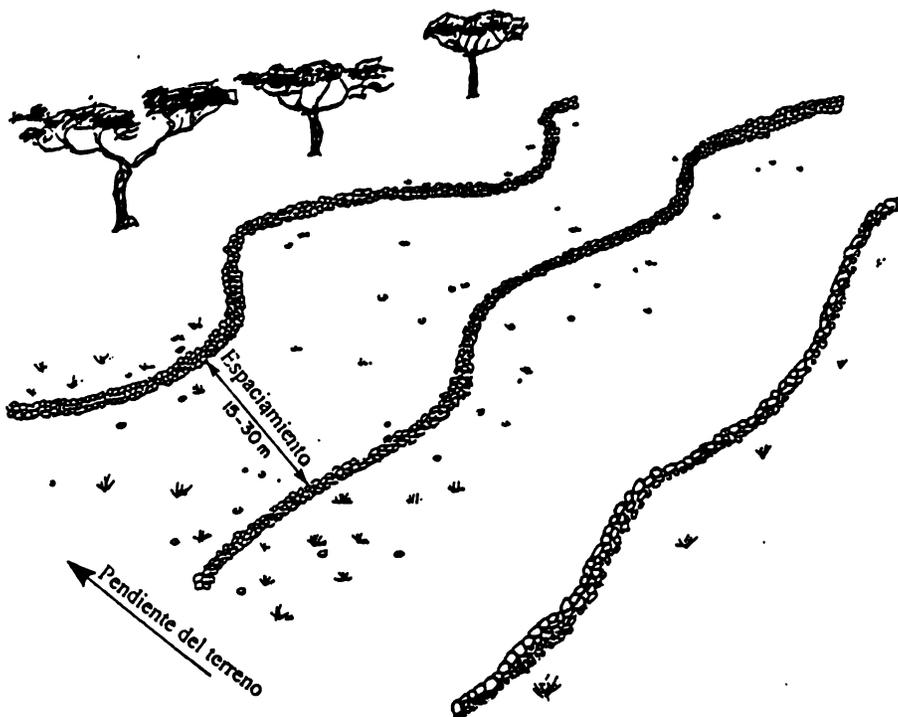


Figura 30. Bordos de piedra el contorno: Trazo en campo. (Fuente: Critchley y Reij, 1989).

Cuadro 12. Cantidades y requerimientos de trabajo para bordos de piedra al contorno.

	Tamaño del Bordo		Espaciamiento entre bordos = 15m		Espaciamiento entre Bordos=20m	
			Volumen de Piedra m ³ /ha	Personas día/ha	Volumen de Piedra m ³ /ha	Personas días/ha
Piedras disponibles En el terreno mismo	Pequeño (sección-transversal 0.05 m ²)		35	70	25	50
	Medio (sección-transversal 0.08 m ²)		55	110	40	80
Piedras transportadas localmente (p. Ej. Con carretilla)	Pequeño (sección-transversal 0.05 m ²)		35	105	25	75
	Medio (Sección-transversal 0.08 m ²)		55	165	40	120

Nota: Los requerimientos de trabajo se relacionan con la disponibilidad de piedra. Las cifras de productividad citadas anteriormente, están basadas en experiencias donde las piedras de tamaños apropiadas estuvieron disponibles en campo (productividad 0.5 m³/persona-día) o en la localidad inmediata (productividad 0.33 m³/persona-día). Estas tasas de productividad pueden disminuir significativamente si la piedra tiene que ser transportada desde mayores distancias y/o si es demasiado grande en tamaño y tiene que ser quebrada.

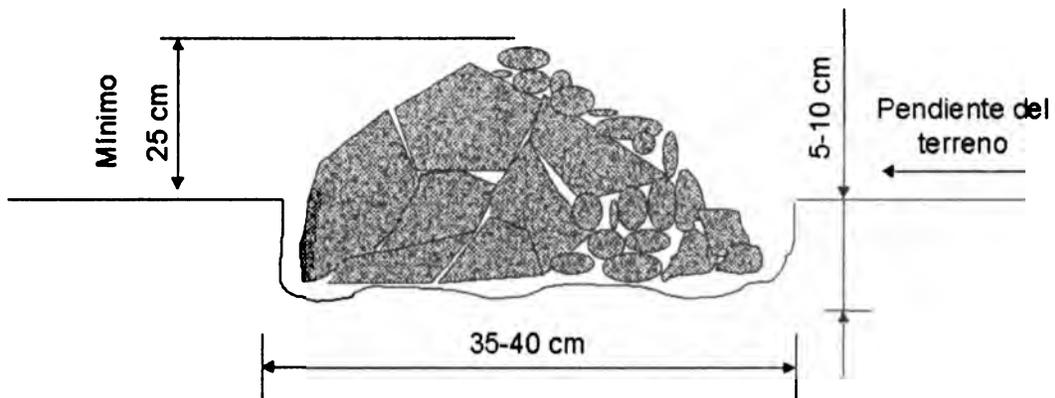


Figura 31. Bordos de piedra al contorno: Dimensiones.

Relación Área de Captación: Área Cultivada

Los bordos de piedra al contorno, representan una técnica para largas pendientes y considera una área de captación externa. El área de captación teórica; la relación área de captación: área cultivada (C/CA) puede ser calculada utilizando la fórmula dada en el capítulo 4. Inicialmente es aconsejable ser conservador en la estimación de áreas que pueden ser cultivadas bajo cualquier área de captación. El área puede extenderse ya sea aguas abajo o aguas arriba en estaciones subsecuentes si así se desea.

Diseño de bordos

Aunque simples líneas de piedra pueden ser parcialmente efectivas, una altura mínima inicial del bordo de 25 cm es recomendado, con una base ancha de 35 a 40 cm. El bordo deberá construirse poco profundo, de 5 a 10 cm de profundidad, para evitar la socavación por escurrimiento superficial. Como se explicó en los detalles de construcción, es importante incorporar una mezcla de piedras grandes y pequeñas. Un error común es utilizar solamente piedras grandes, lo que permite que el escurrimiento superficial fluya libremente a través de los espacios entre ellas. El bordo debería estar construido de acuerdo con el principio “filtro de reversa” con las piedras más pequeñas situadas aguas arriba de las mayores y así facilitar una rápida sedimentación.

El espaciamiento del bordo que se recomienda es de 20 metros para una pendiente menor de 1% y de 15 metros para pendientes de 1 a 2%.

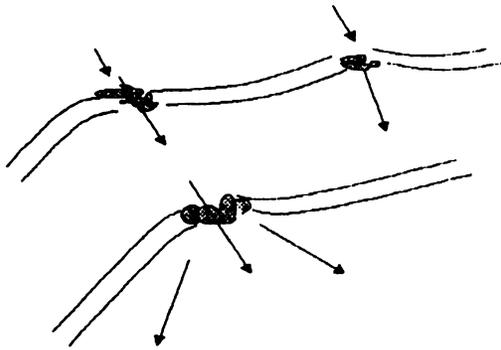
Cantidades y Trabajo

El Cuadro 24 da a detalle las cantidades de piedra involucradas en bordeo y en el trabajo requerido.

Variación de Diseño

Donde no hay material suficiente para las líneas de piedra, estas pueden ser utilizadas para formar la estructura del sistema. Los pastos, u otro material vegetativo, se plantan inmediatamente detrás de las líneas y formas, poco después de un periodo de tiempo, se establece por si misma una “barrera viva”, la cual tiene un efecto similar al de un bordo de piedra. Alternativamente, los bordos al contorno de tierra pueden ser construidos, en forma de vertederos (Figura 32).

A. Diseño de campo



B. Detalle del vertedero

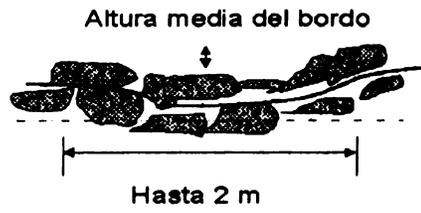


Figura 32. Variación en el diseño: Bordos de tierra al contorno con vertedores de piedra



Figura 33. Bordo de Piedra en Construcción.

Piedras grandes en la base
y en el talud aguas abajo

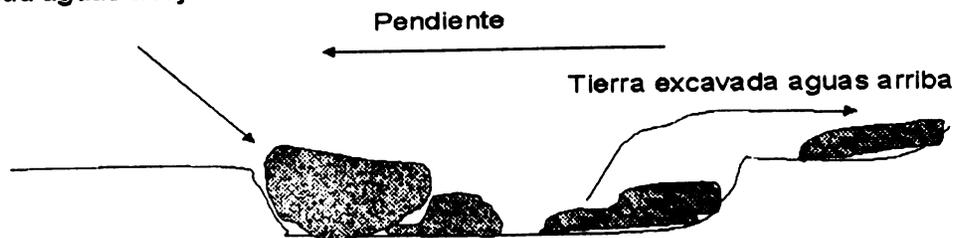


Figura 34. Construcción de bordos de piedra.

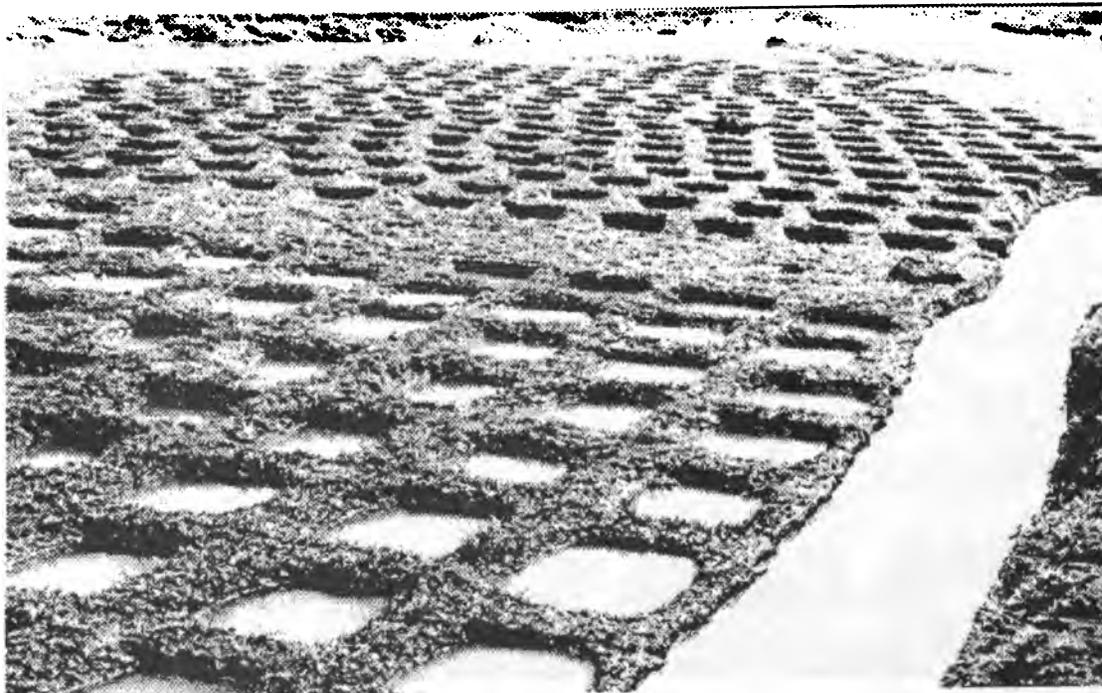


Figura 35. Sistema "Zai".

Diseño y construcción

Paso Uno

La pendiente promedio del terreno se determina con un nivel de agua o un nivel de línea (ver Apéndice) para decidir sobre el espaciamiento de los bordos. Posteriormente, cada línea de contorno se distribuye y delimita en forma individual. Un espaciamiento horizontal de aproximadamente 20 metros se recomienda para pendientes mayores de 1%, y de 15 metros para pendientes de 1 a 2%. Debido a variaciones en las pendientes, las líneas pueden estar más cerca y/o más juntas, en algunos puntos. Los espaciamientos horizontales recomendados son las distancias promedio de separación. Si el trabajo fuera un factor limitante, los productores pueden comenzar con un bordo único en la parte inferior de sus campos e ir progresivamente aguas arriba en las estaciones siguientes.

Paso Dos

Después de que el contorno exacto fue diseñado, la línea debería ser suavizada con estacados individuales aguas arriba o aguas abajo. Como un lineamiento general, para pendientes de hasta 1.0%, las estacas pueden ser movidas 2 metros aguas arriba pendiente arriba o aguas abajo, para crear una curva más suave. No solamente una curva suave apacible es más fácil de seguir mientras se está arando, sino también la cantidad de piedra utilizada para construcción puede reducirse

Paso Tres

Una trinchera poco profunda se forma a lo largo del contorno suavizado. La trinchera se hace con herramientas de mano o barbechando con bueyes y después el excavado a mano. La trinchera necesita solamente de 5 a 10 cm de profundidad e igual para la base ancha del bordo (35 a 40 cm). El suelo excavado se coloca aguas arriba.

Paso Cuatro

La construcción comienza con piedras grandes colocadas abajo de la base y al lado aguas abajo de la trinchera, después las piedras más pequeñas se colocan delante y en la parte superior de esta "ancla" alineada. Las piedras pequeñas deberán ser utilizadas para conectar espacios porosos mayores. Donde sea posible, una línea de piedras pequeñas o de grava debería correr en dirección aguas arriba del bordo para crear un filtro fino. La clave para un exitoso bordo de piedra, consiste en eliminar espacios porosos considerables entre las piedras. En algunas áreas deberán quebrarse las piedras grandes para producir los tamaños correctos de material.

Mantenimiento

Durante fuertes escurrimientos superficiales, los bordos de piedra pueden romperse y algunas piedras ser movidas de su lugar. Estas deberán ser reemplazadas. Un requisito más común se refiere al sellado de galerías con piedras pequeñas o grava, donde el escurrimiento superficial forma túneles.

Con el tiempo, los bordos se sedimentan, y su eficiencia en la captación de agua de lluvia se pierde. Normalmente se requieren de tres o más estaciones para que ocurra y esto sucede más rápidamente donde los bordos están más espaciados o con pendientes más fuertes. Los bordos deberán formarse, bajo estas circunstancias, con piedras menos empaquetadas para reducir la sedimentación y reduciendo el efecto del escurrimiento superficial.

Otra alternativa consiste en plantar los pastos a lo largo del bordo. *Andropogon guyanus* es el mejor pasto, para este propósito, en el Oeste de Africa. Puede ser sembrado y el pasto maduro será utilizado en forma mateada. El pasto complementa la estabilidad del bordo de piedra y además aumenta su altura.

ASPECTOS AGRONOMICOS

Los bordos de piedra en el Oeste de Africa son a menudo utilizados para la rehabilitación de la tierra estéril y degradada. En este contexto se recomienda que el bordo se refuerce con una técnica complementaria que se refiere a hoyos de plantación ó “zai” los que están generalmente a una separación de 0.9 m y de 0.15 m de profundidad y 0.30 m en diámetro. El estiércol se coloca en los hoyos para mejorar el crecimiento de la planta. Los hoyos concentran el escurrimiento superficial resultando especialmente útil en la fase de germinación y establecimiento de las plantas.

Como en el caso de todos los sistemas de cultivo bajo captación de agua de lluvia, un estándar mejorado de agronomía general es importante para hacer un uso eficiente del agua extra captada para los cultivos. La aplicación de estiércol (como se describe anteriormente) es muy importante en el incremento de la fertilidad del suelo. También es esencial la eliminación de malezas en áreas donde los bordos de piedra son comúnmente utilizados, el combate tardío representa frecuentemente una restricción para la producción.

FACTORES SOCIOECONOMICOS

Los bordos de piedra para la producción de cultivos son aceptados rápidamente y adoptados por los productores. Las técnicas involucradas que incluyen investigación simple, pueden ser aprendidas fácilmente. La cantidad de trabajo requerido es razonable, sobre todo donde los grupos están organizados para trabajar en turnos ya que las granjas y parcelas pueden ser transformadas rápidamente. Los beneficios de los bordos de piedra se generan frecuentemente en la primer estación, esto ayuda a que el sistema se popularice.

No obstante, algunos problemas se tienen que enfrentar. Los productores relativamente ricos pueden trabajar más rápidamente sus campos y los productores más pobres se pueden retrasar. Las disponibilidades diferentes de piedra pueden inducir desigualdades entre áreas vecinas, no

todos se pueden beneficiar de la misma forma. Esto conlleva al dilema: ¿Hasta qué punto se justifica el costo del transporte de piedra?

ANTECEDENTES

Los bordos escalonados o bordos de agua son frecuentemente aplicados en situaciones donde los bordos trapezoidales no son apropiados, generalmente donde hay altas descargas de esorrentía que dañarían a los bordos trapezoidales o donde los cultivos son susceptibles a la falta de drenaje temporal, que es una característica de los bordos trapezoidales. La característica principal de los bordos escalonados o esparcidos, como su nombre implica, es la de esparcir el agua y no la de estancarla.

Se utilizan generalmente para esparcir "crecidas" sea que hayan sido derivadas de un curso de agua o que estén inundando naturalmente un valle. Los bordos hechos generalmente de tierra, reducen la velocidad del flujo y lo esparcen sobre la tierra que va a cultivarse, permitiendo así que se infiltre.

DETALLES TECNICOS

Adaptabilidad

Los bordos derivadores de agua pueden ser utilizados bajo las siguientes condiciones:

- Lluvia: 100 mm - 350 mm; normalmente sólo en zonas áridas/hiperáridas.
- Suelos: abanicos aluviales ó terrenos planos con suelos fértiles profundos.
- Pendiente: más apropiado para pendientes de 1% ó menores.
- Topografía: uniforme.

La técnica de cultivo de inundación utilizada con los bordos esparcidos de agua es muy específica. La tierra tiene que ubicarse cerca de un "wadi" u otra corriente de agua, generalmente en un terreno plano con suelos aluviales y baja pendiente. Esta técnica es más apropiada para zonas áridas donde la inundación es la única opción realista para la producción de cultivos ó de forraje.

Configuración Global

Se presentan dos ejemplos de diseño. El primero es para pendientes menores de 0,5%, donde las estructuras son abiertas al final del bordo conformado transversalmente a la pendiente el cual esparce lentamente el flujo. El segundo, para pendientes mayores de 0,5%, consiste en una serie

* FUENTE: Critchley y Siegert (1991). Water Harvesting. FAO. Roma, Italia.

de bordos escalonados, cada uno con una ala corta simple aguas arriba, que esparce el flujo gradualmente aguas abajo. En cada caso, los cultivos o forrajes son plantados entre los bordos.

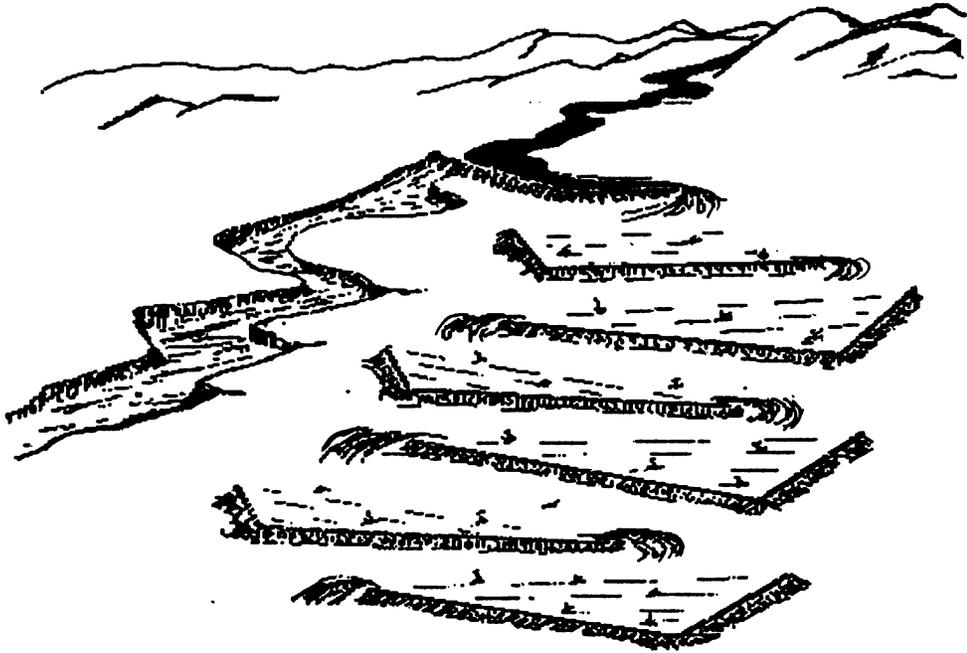


Figura 36. Sistemas de derivación de torrentes con bordos en Pakistán.

Relación Área de Captación/Área Cultivada

El cálculo preciso de una relación área de captación: área cultivada, no es practicable o necesario en el diseño de la mayoría de los bordos esparcidos de agua. Las razones son que la inundación es esparcida y no almacenada y continúa a través del sistema, y por lo tanto frecuentemente sólo parte del "wadi" o flujo se desvía al área productiva. Así, la cantidad de agua realmente utilizada no puede predecirse fácilmente del tamaño de área de captación.

Diseño del Bordo

Pendientes Menores de 0,5%

Donde el declive es menor que 0,5%, los bordos directos son utilizados para esparcir el agua. Ambos extremos se dejan abiertos para permitir que la inundación pase alrededor de los bordos, que son establecidos a 50 metros de distancia. Los bordos deberían superponerse de modo que el sobreflujo alrededor de uno sea interceptado por otro debajo de éste. La sección transversal uniforme de los bordos recomendada es de 60 cm de alto, 4.1 metros de base ancha, y unos 50 cm de ancho en la parte alta. Este lado establece un declive de 3:1. Se recomienda una longitud de bordos máxima de 100 metros.

Pendientes de 0,5% a 1,0%

En este rango de declive, los bordos nivelados gradualmente pueden utilizarse (Figura 40). Los bordos de sección transversal constante, son nivelados gradualmente a lo largo de una pendiente de la tierra de 0,25%. Cada bordo sucesivo pendiente abajo de la serie es nivelado gradualmente en los diferentes extremos. Un bordo pequeño en forma de ala se construye a 135° al fin superior de cada bordo para permitir la intercepción del flujo alrededor del bordo anterior. Este tiene el efecto de un control adicional del flujo. El espaciamiento entre bordos depende del declive de la tierra. Los ejemplos para diferente declive se dan en las figuras 39 y 40. La sección transversal del bordo es la misma que se recomendó para bordos al contorno con bajo declive. La longitud máxima de la base del bordo recomendada es de 100 metros.

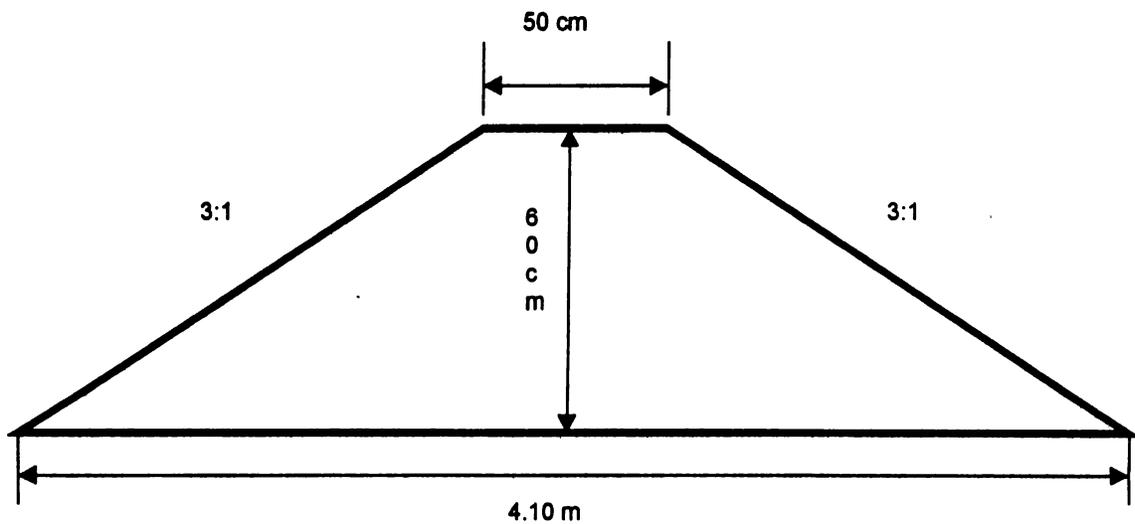


Figura 36. Dimensión de bordos.

Cantidades y Trabajo

El Cuadro 13 da detalles de las cantidades y trabajo involucrado en la construcción de bordos para esparcir agua bajo diferentes declives. Se supone una sección transversal de bordo de 1,38 metros cuadrados. El requerimiento de trabajo es alto debido al suelo requerido por estructuras de tamaño grande.

Cuadro 13. Cantidades de terraplén para bordos esparcidores de agua.

Clase de Pendiente/técnicas	Número de bordos por ha	Longitud Total del Bordo (m)	Terraplén (m ³ /ha)
Bordos a Nivel - Pendiente <0,5%	2	200	275
Bordos con Gradiente - 0,5%	3	220	305
- 1,0%		330	455

Variaciones de Diseño

Existen muchos diseños diferentes para bordos esparcidores de agua, en este manual se da un ejemplo. Mucho depende de la cantidad de agua que será esparcida, del declive de la tierra y de los tipos de suelos y la fuerza de trabajo disponible. Antes del diseño de nuevos sistemas, deben considerarse los ya existentes.

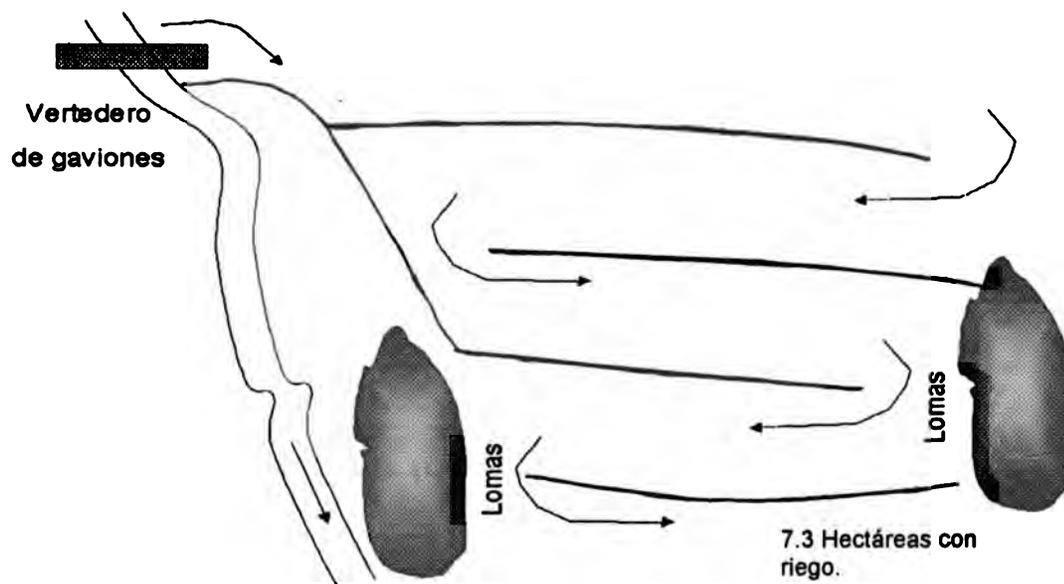


Figura 38. Esquema piloto IMPALA sobre dispersores de agua en Turkana, Kenya.

Diseño y construcción

Paso Uno

El primer paso es medir el declive de la tierra, para seleccionar el sistema de bordeado apropiado. Esto puede hacerse con un nivel Abney, o con un nivel de línea, como se describe en el apéndice.

Paso Dos

Los bordos directos se utilizan para el declive de la tierra de menos de 0.5% y están espaciados a intervalos de 50 m. Los bordos deberían, sin embargo, estar escalonados como se muestra en la Figura 39, que también ilustra el procedimiento establecido

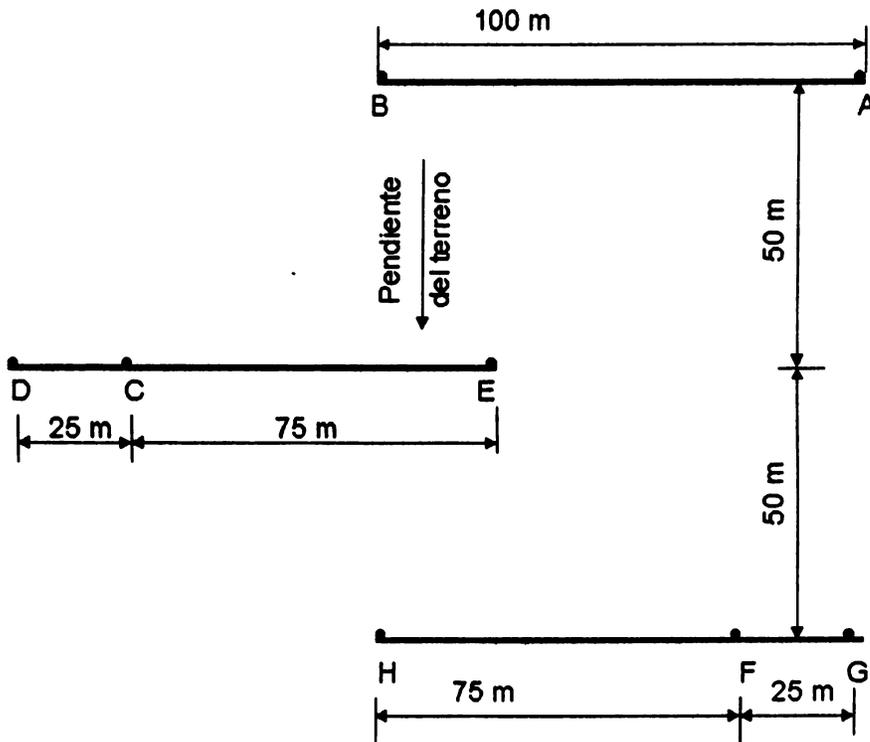


Figura 39. Trazo de bordos a nivel: pendiente < 0,5%.

Al haber seleccionado el punto de inicio al final de pendiente arriba del sistema de bordos, el punto A se marca con una estaca. Se utiliza un nivel de línea o agua y si es necesario una cinta, el punto B se delimita a 100 m de distancia del contorno A. La línea AB es entonces, el centro de la línea del primer bordo y debe marcarse con estacas o piedras.

El punto C está 50 m pendiente abajo del punto B y puede establecerse marcando un ángulo perpendicular a AB, utilizando un marco triangular con un ángulo recto (lados: 100 cm, 60 cm, 80 cm) y una cinta. El punto D se establece con nivel y cinta al mismo nivel que C, a una distancia de 25 m de C, para permitir la superposición con AB. El punto D se delimita. El punto E está también en el mismo nivel que el punto C, pero a 75 m de distancia en la dirección contraria para el punto D. La línea DE es el centro de la línea del segundo bordo, debe marcarse con estacas o piedras. El punto F es de 50 m pendiente abajo del punto E y se establece de una manera similar como el punto C. El punto G entonces se establece en el mismo nivel que el punto F pero a 25 m de distancia para permitir la superposición con DE. El punto H igualmente está al mismo nivel que el punto F pero a 75 m de distancia, en dirección contraria al punto G. Este proceso puede repetirse aguas abajo, siguiendo el diseño establecido.

Paso Tres

Para el declive mayor de 0,5%, se alinean los bordos con una pendiente de 0,25%, se les llama "bordos con pendiente".

Una vez seleccionado el punto de partida (A) al final de la pendiente arriba del sistema de bordos, se marca con una estaca. Utilizando una línea, o nivel de agua, y una cinta, la línea AB se traza con una pendiente de 0,25%. Como la distancia AB es de 100 m, el nivel en B tiene 25 cm debajo que en A. El punto B se marca con una estaca y la línea AB, la formación del centro de la línea del primer bordo, se marca con estacas o piedras.

El punto C es el centro de la línea del segundo bordo, tiene una distancia de 25 m inmediatamente aguas abajo del punto B. Se encuentra fácilmente usando un nivel de línea o agua para establecer el gradiente máximo de campo entre B y C y midiendo B a través del punto a una distancia de 25 m.

Al haber establecido C, el 0,25% de declive de la línea se establece y el punto D se localiza a lo largo de 25 m de la línea C. Obsérvese que el punto D estará en un nivel ligeramente más alto que el punto C y debería proveer una superposición con la línea AB, como se muestra en la Figura 39. La otra terminal del centro de la línea del bordo, punto E, tiene 75 m en el lado opuesto de C a lo largo de la línea de declive de 0,25%. Los puntos D y E deberían ser delimitados, cercados y marcados en el centro de la línea del segundo bordo.

El ala del bordo comienza siempre al final del bordo, en este caso del punto D. El ala del bordo tiene 25 m de largo y en un ángulo de 135° para la base del bordo. Se encuentra fácilmente extendiendo la línea ED a una distancia de 17,7 m de D para dar al punto X. El punto Y tiene entonces una distancia de 17,7 m aguas arriba del punto X y un ángulo recto para la línea XDE. Puede localizarse utilizando una cinta y un patrón de ángulo recto como se describió anteriormente.

El primer punto en el siguiente bordo, el punto F, se localiza de una manera similar al punto E y el centro de la línea de la curva HFG puede ser distribuida como se describió anteriormente. El fin de ala del bordo W, puede localizarse de una manera similar a Y. El proceso se continúa aguas abajo.

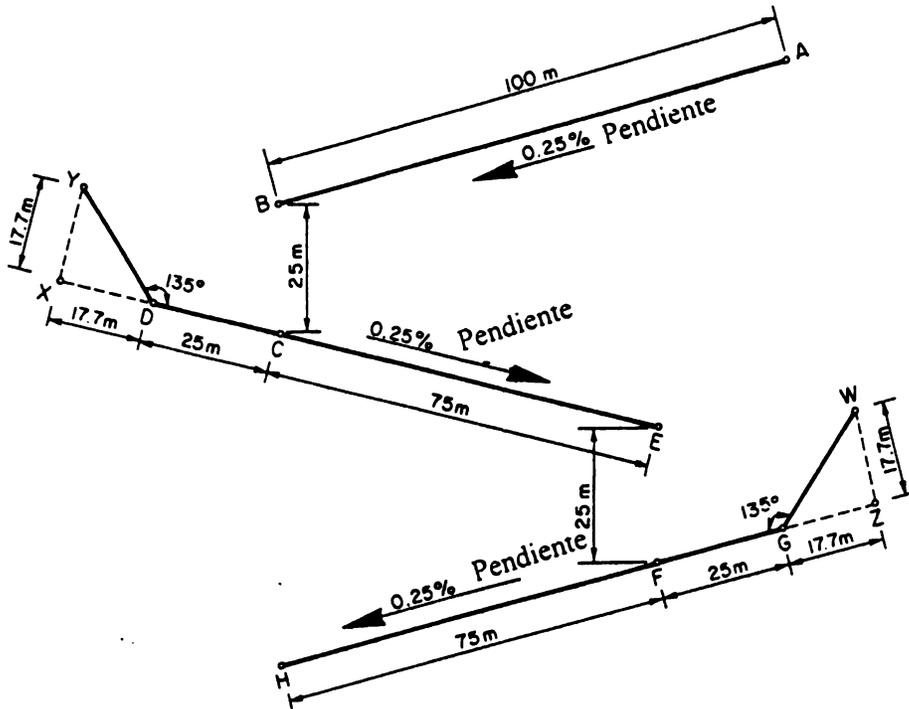


Figura 40. Establecimiento del bordo escalonado; para pendientes > 0.5%.



Figura 41. Sorgo en "Wadi" (Colinas del Mar Rojo).

Paso Cuatro

Una vez marcado el centro de la línea de los bordos, los límites de terraplén pueden marcarse con estacas o piedras situadas a una distancia de 2,05 m en cualquier lado del centro de la línea.

Paso Cinco

La construcción comienza en la parte superior del campo como en todo el sistema de captación de agua de lluvia. La tierra debe excavarse de ambos lados para formar los bordos y en zanjas poco profundas debe construirse represas en intervalos frecuentes para evitar el escurrimiento. La tierra debajo del bordo debe ser aflojada para garantizar una uniformidad en el bordo.

Los bordos se construyen en dos capas de 30 cm cada uno y la compactación a pie se recomienda en la primera etapa y de nuevo cuando el bordo esta completo.

Paso Seis

En los extremos de los bordos al contorno y en la punta del bordo en forma de ala del bordo de nivel graduado, se hacen excavaciones y se coloca piedra para reducir el potencial dañino del escurrimiento alrededor de los bordos.

MANTENIMIENTO

Como en el caso de todos los sistemas de captación de agua de lluvia basado en bordos de la tierra, las rupturas son posibles en los inicios de las etapas de la primera estación, antes de que la consolidación halla tenido lugar. Así que se tiene que estar preparado para el trabajo de reparación después de todos los eventos de escurrimiento superficial. En estaciones posteriores el riesgo de ruptura se disminuye, cuando el bordo se ha consolidado y ha permitido el desarrollo de la vegetación que ayuda a reducir el daño de la lluvia a las estructuras. No obstante con sistemas que dependen de inundación, el daño ocurrirá inevitablemente de vez en cuando, y las reparaciones pueden ser necesarias en cualquier etapa.

MANEJO DEL CULTIVO

Los bordos escalonados o esparcidores se utilizan tradicionalmente para cultivos anuales, particularmente cereales. El sorgo mijo son los más comunes. Una característica particular de este sistema, es cuando se usa en zonas áridas con lluvia errática donde la siembra de cultivos debe llevarse a cabo en respuesta a la inundación. La contribución directa de la lluvia al crecimiento es frecuentemente muy reducida. Las semillas deben diseminarse en la humedad residual después de una inundación, lo que da seguridad de germinación y establecimiento temprano. Además, los humedecimientos subsecuentes ayudan a los cultivos a llegar a la madurez. Sin embargo, si los cultivos fallan por carencia de inundación posterior o si estuvieran enterrados por sedimentos de arcilla o arena (como ocurre a veces), el productor debe estar preparado para resembrar. Se requiere tener una actitud oportunista.

Debido a que este sistema de esparcir el agua usualmente se realiza en suelos aluviales, raramente la fertilidad del suelo es una restricción para la producción de cultivos. Sin embargo, que el deshierbe temprano es particularmente importante.

FACTORES SOCIOECONOMICOS

Como la implementación de sistemas de bordos escalonados es un trabajo relativamente en gran escala, se debe dar especial atención a la organización de la comunidad. Se puede presentar un problema particular si el sitio de las obras está lejos de las viviendas de los beneficiarios, especialmente si éstos estuvieron dispersos en la zona.

En áreas donde la producción de cultivos es una novedad, puede ser riesgoso proveer incentivos tales como raciones de alimentos por trabajo a los beneficiarios en la construcción de un sistema de producción de cultivos. Frecuentemente esa gente considera la ración como una oportunidad de trabajo y pierde el interés en el esquema o sistema una vez que el proyecto (y los incentivos) han terminado. Una vez más esto resalta el peligro potencial de los incentivos que se utilizan en vez de una motivación genuina, la cual debe ser la verdadera razón que impulse la acción.

ANTECEDENTES

El aprovechamiento del agua que escurre en la superficie del suelo es una técnica de captación de agua de lluvia que data de 4,000 años atrás, siendo utilizada por los agricultores de la edad de bronce en el desierto de Negev e Israel. En ese entonces, recogían las piedras encontradas en la superficie del suelo para aumentar la cantidad de agua a escurrir; también, construían tanques de almacenamiento y diques divisorios con la finalidad de captar y conducir agua hacia las partes bajas de los campos para regar sus cultivos.

Las técnicas existentes de captación, conservación y manejo del agua de escorrentía superficial fueron, en parte, desarrolladas en la antigüedad; sin embargo, en los últimos 20 años han recibido el impulso técnico y la difusión requeridos por los técnicos de las regiones desérticas y áridas del mundo.

ASPECTOS TECNICOS

Descripción.

El Sistema de Aprovechamiento de la Escorrentía Superficial a través de Embalses de Salvación SAES-ES, es una técnica que tiene la finalidad de captar y almacenar, en reservorios superficiales, el excedente de agua que se produce en la superficie del suelo después de cada evento lluvioso, para su utilización posterior; en el periodo sin lluvias entre la época lluviosa, como riego de salvación y, en la época seca, como riego complementario. Está constituido por tres elementos básicos: Área de captación (Ac), Tanque de almacenamiento (Ta) y área de siembra (As), como se observa en la Figura 42. Esta puede variar de acuerdo a la situación socioeconómica del productor y a las características edafo-climáticas de la propiedad rural (Silva & Porto, 1982).

Área de cultivo (Ac)

Es el área destinada a captar el agua de lluvia, con pendiente variable, limitada por un dique divisorio del agua (DDa), natural o artificial (Figura 42). Esta área forma una microcuenca hidrográfica, cuya extensión media es de 3 ha pudiendo variar en función de la cantidad de agua que se necesite almacenar, del tipo de cobertura del área de captación y de la cantidad de lluvia esperada en la región.

* FUENTE: FAO (1997). Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Pág 101-122. Santiago, Chile.

Tanque de almacenamiento (Ta) o embalse

Es el componente del sistema destinado para almacenar el agua proveniente del área de captación. Su capacidad depende del tamaño del área de siembra y del déficit hídrico esperado durante el desarrollo fenológico del cultivo. El tanque de almacenamiento podrá tener diferentes capacidades, debiéndose tomar en cuenta la proporcionalidad entre los elementos del sistema: Ac/Ta/As.

Area de siembra (As)

Es el área utilizada para la siembra, principalmente de cultivos alimenticios. Debe prepararse con un sistema de surcos y camellones, para permitir la aplicación del riego de salvación y/o suplementario. El área de siembra se localiza aguas abajo del tanque de almacenamiento y su extensión debe ser sugerida por el productor, conforme a las necesidades de su familia y a su capacidad de inversión.

En la figura 43, se presenta una alternativa desarrollada por el CPATSA, para la construcción de un embalse superficial, en la que se ha introducido una pared divisoria en el tanque de almacenamiento que permite reducir las pérdidas totales de agua hasta en un 50%.

OBJETIVO

Aprovechar las lluvias de alta intensidad y almacenar la escorrentía superficial producida, para su utilización posterior como riego de salvación y/o complementario, en un intento de reducir el riesgo de pérdidas causadas por la sequía, en los cultivos.

UBICACION Y SELECCION DEL AREA

A continuación, se describen los principales requerimientos técnicos para la implantación de la técnica a nivel de unidad de producción individual o comunitaria.

Suelo

Los suelos recomendados para la implantación del área de captación son, preferentemente los no aptos para la agricultura, someros, pedregosos o rocosos; mientras que los suelos del área de siembra deben ser fértiles y con profundidad no menor de 0,5 m. En cuanto al área para el tanque de almacenamiento, los suelos no deben ser muy porosos y permitir la excavación de, por lo menos, 1,0 m.

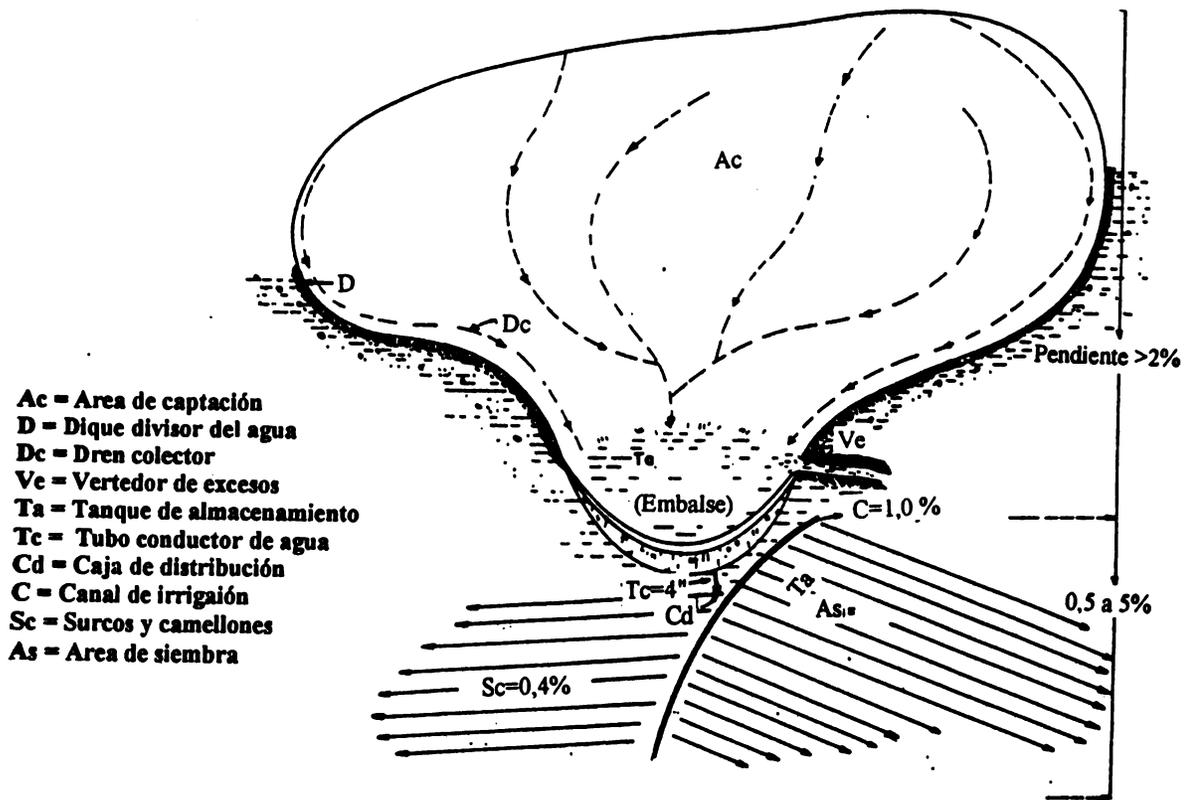


Figura 42. Modelo esquemático del sistema de aprovechamiento de escorrentía superficial en embalses.

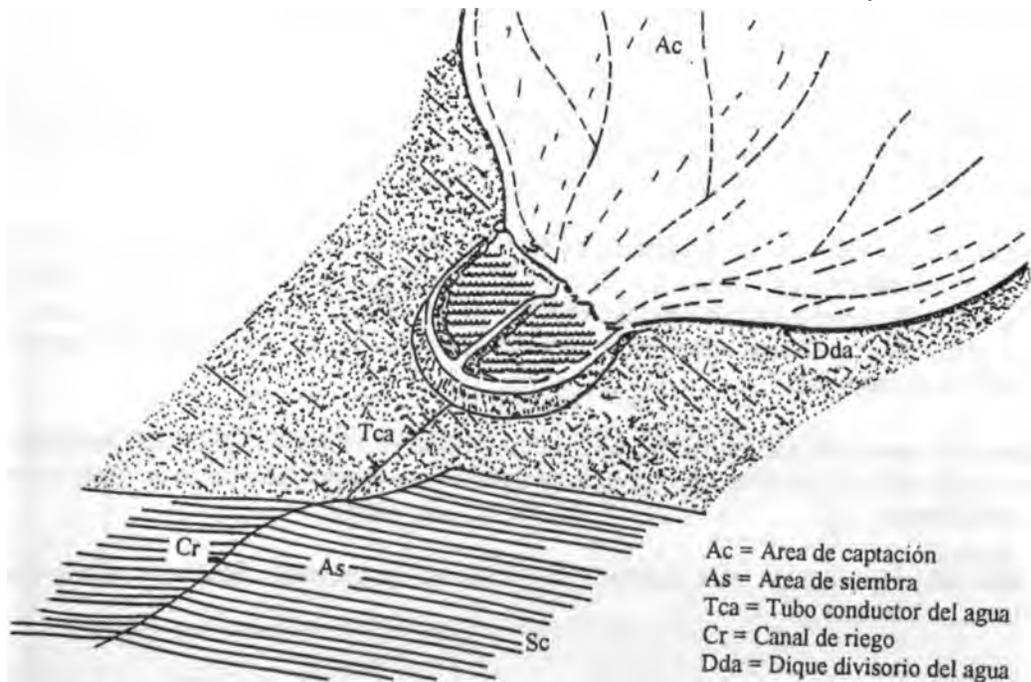


Figura 43. Embalse de tierra con doble compartimiento (Embalse SAES-ES).

Clima

Se recomienda el uso del SAES-ES en regiones de bajas precipitaciones, comprendidas entre 400 y 800 mm anuales. En estas zonas se presentan limitaciones para la agricultura dependiente de la lluvia.

Topografía

Para el área de captación, la implantación del SAES-ES exige una pendiente mínima del 2%, sin límite máximo para la misma. Las áreas del tanque de almacenamiento y de siembra deben tener una pendiente más suave, entre el 2 y 5%.

Con estos elementos en mente, se inicia la selección más apropiada para el sistema. Dentro de las diferentes etapas de implantación del SAES-ES, la selección del lugar es la más importante. Se ha observado que el funcionamiento de la técnica se optimiza, cuando el área seleccionada cumple con los requisitos exigidos por cada elemento básico del sistema (Ac, Ta y As), considerando al sistema como un todo y nunca cada parte en forma individual.

Inicialmente, se recomienda que la propiedad sea recorrida completamente, teniendo en mente la idea de un rectángulo con las dimensiones del sistema, observándose principalmente, la pendiente del terreno y tipo de suelo (Figura 44).

Se debe visualizar un terreno con pendiente suficiente para distribuir ordenadamente las áreas de captación, almacenamiento y siembra. Es importante que esta secuencia ocurra en el sentido de la pendiente, fijando el área de captación en la parte más elevada; el tanque de almacenamiento en la parte intermedia; y, el área de siembra, en la parte más baja del terreno. Esto dará la certeza de que el agua proveniente de la lluvia correrá hacia el embalse y que éste podrá irrigar el área de siembra por gravedad. No debe olvidarse que, mientras menor sea la pendiente entre el tanque de almacenamiento y el área de siembra, mayor será la distancia entre éstos.

Otro elemento que debe llamar la atención en esta fase es la proporción de arena existente en el suelo. Si el terreno es muy arenoso, no deberá utilizarse porque puede producirse un exceso de pérdidas por infiltración e inestabilidad del embalse. El SAES-ES más económico es aquel en el que los materiales arcillosos necesarios para su construcción, se encuentran en cantidades suficientes en el propio sitio.

Después de la selección preliminar del área, debe hacerse un reconocimiento más profundo del terreno, verificando a nivel detallado, el lugar destinado para el establecimiento de cada elemento básico del sistema.

Para efectuar una selección más detallada del área, se recomienda seguir los pasos que se describen a continuación:

SELECCION DEL AREA DE CAPTACION (AC)

El área de captación debe ser recorrida completamente, observando las líneas naturales de drenaje y su convergencia.

En cuanto a la topografía, es muy importante la observación de ondulaciones en el terreno. La presencia de pequeñas depresiones en esta área, provocarán una gran reducción en la cantidad de agua a captar, por empozamientos. Por otro lado, la pendiente del terreno no debe ser menor del 2%; pues, hasta el momento, no se tiene ninguna experiencia en áreas de captación con pendientes menores

Por último, se deben recorrer las líneas naturales de drenaje con el propósito de determinar el punto de convergencia de las mismas (figura 45).

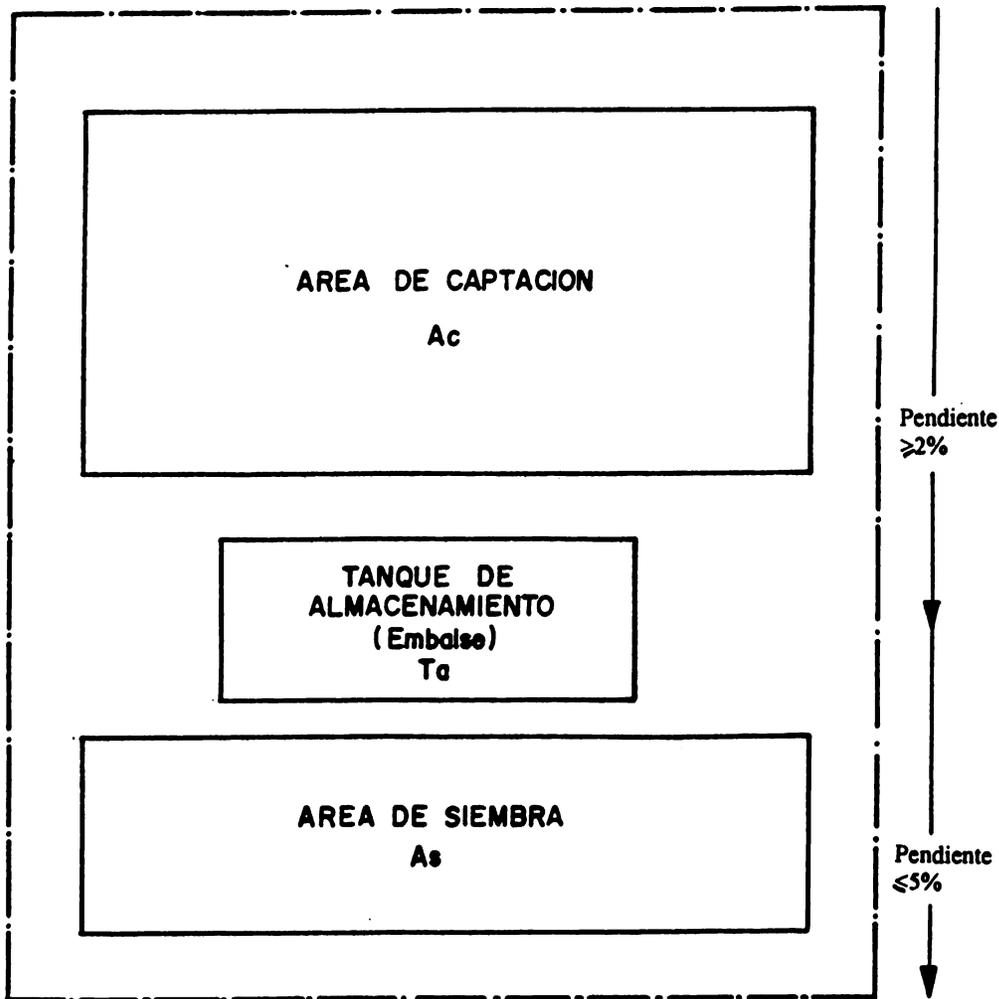


Figura 44. Disposición espacial de los elementos básicos del SAES-UA.

SELECCION DEL AREA DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO (TA) O RESERVORIO

Teniendo la idea del punto de convergencia de las líneas de drenaje, como se sugirió en el párrafo anterior, el área del embalse queda automáticamente seleccionada. De esta manera, el punto de convergencia del drenaje se convertirá en el centro del dique del embalse, tanto de largo como de ancho, en la mayoría de los casos.

En ese lugar, es conveniente hacer un muestreo del suelo, abriendo una calicata hasta la capa impermeable. Es recomendable que otras dos calicatas se abran hacia cada lado de la primera, a una distancia aproximada de 20 m cada una. Este muestreo puede hacerse también con un barreno, pero, se presenta el inconveniente de que los datos de los materiales constituyentes del suelo no son precisos (figura 45).

El muestreo es imprescindible, pues dará la idea precisa de la profundidad máxima del embalse así como de los materiales que se utilizarán en la construcción de la pared. Si al abrir las calicatas se determina que la máquina no puede excavar por lo menos hasta 1,0 m de profundidad, el área debe eliminarse.

No se recomiendan para la construcción del embalse, aquellas áreas donde hayan afloramientos de roca, suelos salinos o materiales que permitan infiltraciones excesivas como la arena y/o formaciones semejantes, generalmente muy porosas. Lo más apropiado es una capa natural de tierra de textura fina, donde la velocidad de infiltración básica en la profundidad máxima de la excavación con tractor de oruga, no sea mayor de 2 mm por día.

SELECCION DEL AREA DE SIEMBRA (AS)

El área de siembra debe estar próxima al embalse para que los costos de distribución del agua se reduzcan; también, debe ser uniforme para facilitar el establecimiento de los surcos y camellones. Deben evitarse áreas con ondulaciones acentuadas. Preferentemente, la pendiente del terreno deberá estar entre el 2 y 5% y los suelos deberán tener las siguientes propiedades:

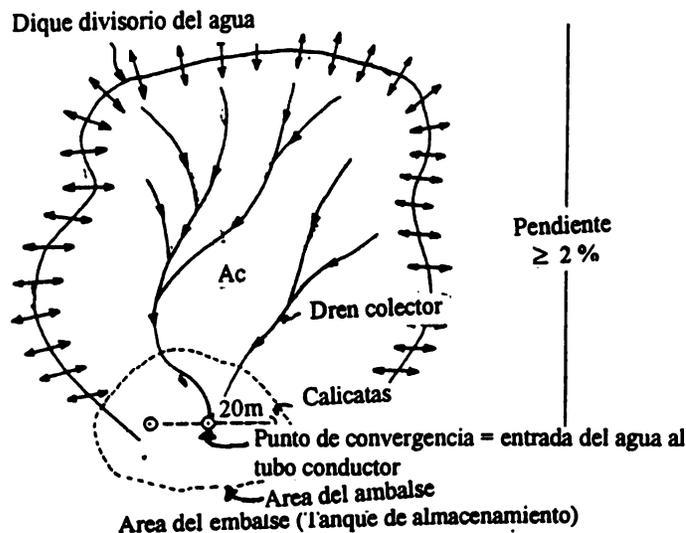


Figura 43. Localización del Área de Captación (Ac) y del Tanque de Almacenamiento (Ta) con relación al punto de convergencia natural de las aguas de escorrentía.

Textura: variando entre franco arenoso y franco arcilloso, que proporcione una mayor retención de agua en el suelo para las plantas.

Profundidad: mínima de 0,5 m. Inferior a este parámetro elimina el área seleccionada.

Las áreas con afloramientos rocosos, con problemas de sales evidentes y/o sujetos a inundación, deben ser eliminadas. Es indispensable entrevistar al propietario del terreno o a una persona que conozca bien la propiedad, para obtener información sobre la posibilidad de inundaciones durante el periodo lluvioso, entre otras informaciones.

Diseños

Para facilitar la comprensión del dimensionamiento del SAES-ES, partiremos de un ejemplo práctico, con datos obtenidos en la región semiárida de Brasil, específicamente en la localidad de Petrolina, PE. En esta región, la precipitación media anual es de 400 mm. con el 50% de probabilidad de ocurrencia, con una deficiencia hídrica promedio, para los cultivos de maíz (*Zea mays* L) y frijol caupí (*Vigna unguiculata*), provocada por la escasez de lluvia, de 100 mm durante todo el ciclo fenológico. Tomando en cuenta lo anterior, se parte de tres premisas:

1. Que 100 mm de agua almacenada por hectárea, a disposición del productor, son necesarios para reducir sensiblemente los efectos de las sequías prolongadas que acontecen durante el periodo lluvioso;
2. Que 1,5 ha sembradas con cultivos alimentarios son suficientes para que el productor tenga la alimentación básica de la familia y algún excedente que pueda vender para el financiamiento del sistema;
3. Que las pérdidas totales por infiltración y evaporación en el embalse sean correspondientes al 50% del volumen útil (Vu).

El primer paso consiste en el cálculo del volumen bruto (V_b) de agua a almacenar en el cual se incluyen las pérdidas totales de agua (PTA) en embalses durante el periodo de utilización del agua almacenada. Los datos utilizados en la fórmula, deben transformarse a metros, de la manera siguiente:

$$V_b = \frac{\text{Deficit (m)} \times \text{area de siembra (m}^2\text{)}}{\text{PTA (decimal)}}$$

$$V_b = \frac{0,1 \text{ m} \times 15000 \text{ m}^2}{0,5}$$

$$V_b = 3000 \text{ m}^3$$

El segundo paso consiste en el cálculo del área de captación que debe tener el sistema, para producir el volumen bruto de escorrentía que se necesita almacenar. La fórmula es la siguiente:

$$A_c = \frac{V_b}{C \times P}$$

donde:

- A_c = área de captación deseada (m^2);
- V_b = volumen bruto de agua que va a almacenarse en el embalse (m^3);
- C = coeficiente de escorrentía superficial, estimado para A_c . (decimal);
- P = precipitación media anual de la región o el 50% de probabilidad (m)

Por lo tanto, en el caso específico de la región mencionada anteriormente, el volumen bruto (V_b) de agua necesario para el SAES-ES, es de $3\,000 \text{ m}^3$, considerándose el coeficiente C igual a 0,20.

Por consiguiente, se tiene:

$$A_c = \frac{3\,000 \text{ m}^3}{0,20 \times 0,4 \text{ m}}$$

$$A_c = 37\,500 \text{ m}^2$$

$$A_c = 3,75 \text{ ha} \gg 38 \text{ ha}$$

El coeficiente C depende de varios factores tales como: topografía, cobertura vegetal, tamaño del área de captación, textura y profundidad del suelo, contenido de materia orgánica, grado de compactación del terreno, porcentaje de humedad en el suelo, intensidad, duración y frecuencia de las lluvias.

Para concluir con el diseño del SAES-ES, se debe calcular el tamaño del reservorio o tanque de almacenamiento. De acuerdo con los datos anteriores, se necesita construir un embalse para almacenar un volumen de 3 000 m³. En primer lugar, se debe definir la forma del mismo. En general, los reservorios para riego de salvación son construidos de forma rectangular o semicircular. De acuerdo a la experiencia que se tiene, se sugiere que sea de forma semicircular, por ser más práctico en su construcción y presentar una reducción en el movimiento de tierra que debería hacerse si se construyera de forma rectangular. En trabajos desarrollados por el CPATSA, en el semiárido brasileño, se ha comprobado una economía de 15 horas de trabajo de maquinaria en la construcción de estos embalses en comparación con los de forma rectangular.

Para determinar el área del reservorio, se divide el volumen de agua requerido, entre la altura de la lámina de agua promedio que se almacenará en el tanque.

El cálculo de la lámina de agua promedio se hace de la siguiente manera: se sabe que la altura de la pared del reservorio es de 3,0 m; también se sabe que la excavación del cajón del tanque es de 1,0 m. Por otro lado, cuando el tanque esté lleno, debe tener una altura de pared expuesta en su interior (bordo libre), igual a 0,5 m. Por lo tanto, la lámina máxima (Lx) de agua en el reservorio es igual a la altura de la pared (AP), mas la profundidad excavada (PE), menos la diferencia de nivel (DN) entre el vertedor de excesos y la parte más alta de la pared.

Intentando facilitar la selección del C más adecuado para las diferentes situaciones edafoclimáticas del semiárido brasileño, se elaboró una tabla con los valores del coeficiente de escorrentía superficial, de acuerdo con las características del terreno del área de captación (Cuadro 15)

Cuadro 14. Valores del coeficiente de escorrentía superficial (C), de acuerdo con las características del terreno.

Factores	Características del terreno que afectan C	C
Relieve	Plano; con pendiente, media de 0 a 5%	0,10
	Ondulado; con pendiente media de 5 a 30 %	
Infiltración	Elevada; textura de suelo franco-arenoso, suelos permeables	0,05
	Normal; textura de suelo media	0,10
	Lenta; textura de suelo arcilloso, suelos con capacidad de infiltración baja.	0,15
	Suelo con capacidad de infiltración no apreciable	0,20
	Excelente; aproximadamente 90% del área cubierta con pastos y arbustos u otra cubierta semejante	0,05
Cubierta Vegetal	Buena; con 50% de área cubierta de pastos o cultivos alimenticios no limpios	0,10
	Regular; vegetación nativa escasa, rala, con apenas 10% de Ac. Con buena cubierta natural o artificial	0,15
	Baja; suelo desnudo, cubierta nativa bien escasa o rala	0,20

$$Lx = AP + PE - DN$$

Sustituyendo, se tiene:

$$Lx = 3,0m + 1,0m - 0,5m$$

$$Lx = 3,5m$$

Entonces, la lámina media (Lm) de agua en el reservorio es igual a la lámina máxima (Lx), dividida entre dos; o sea:

$$Lm = \frac{Lx}{2}$$

$$Lm = \frac{3,5m}{2} = 1,75m$$

Ahora, ya se tiene el volumen de agua y la lámina media de agua que se va a almacenar, lo que permite el cálculo del área del semicírculo del reservorio, con base en la relación del volumen y área:

$$Area = \frac{Volumen (m^3)}{Altura (m^2)}$$

$$Area = \frac{3000,0 m^3}{1,75 m} \gg 1714,0m^2$$

Por otro lado, el área del semicírculo está dada por:

$$Area \text{ del semicírculo} = \frac{II R^2}{2}$$

de donde:

$$R = \sqrt{\frac{Area \times 2}{II}}$$

$$R = \sqrt{\frac{1714m^2 \times 2}{3,1416}}$$

$$R = 33,0 \text{ metros}$$

Considerando un incremento del 10%, se tiene que el reservorio debe ser un semicírculo con radio de 36 metros.

Trazo

Después de definir el área donde se localizará el sistema, debe hacerse un levantamiento topográfico plani-altimétrico simple. La experiencia del técnico y el conocimiento del sitio podrían eliminar este paso en caso de extrema necesidad; sin embargo, se deben efectuar algunas verificaciones, como la pendiente de los elementos del sistema (Ac, Ta y As).

El instrumento de nivelación debe instalarse en el punto de convergencia de las líneas de drenaje natural del área de captación, trazándose, con estacas intercaladas a 10 m entre sí, una línea básica de nivelación. Esta línea básica de referencia constituye la espina dorsal de todo el sistema, dividiendo de mejor manera el área de captación, el tanque de almacenamiento (reservorio) y el área de siembra (figura 46).

El trazo de la línea básica y la nivelación de la misma, permite que se tenga un perfil del área del sistema. Luego, se debe hacer una nivelación de las líneas perpendiculares a la línea básica, conformando una malla de 40 x 40 m. No es necesario estoquear estas líneas, efectuando las lecturas de manera simple, corriendo la cinta juntamente con la mira.

Una vez calculadas las cotas del terreno, se puede dibujar el plano de planta del terreno, con curvas a nivel espaciadas 1 m donde se colocarán los elementos del sistema. Sin embargo, para poder efectuar la localización, es necesario demarcar cada uno de esos elementos (Ac, Ta y As).

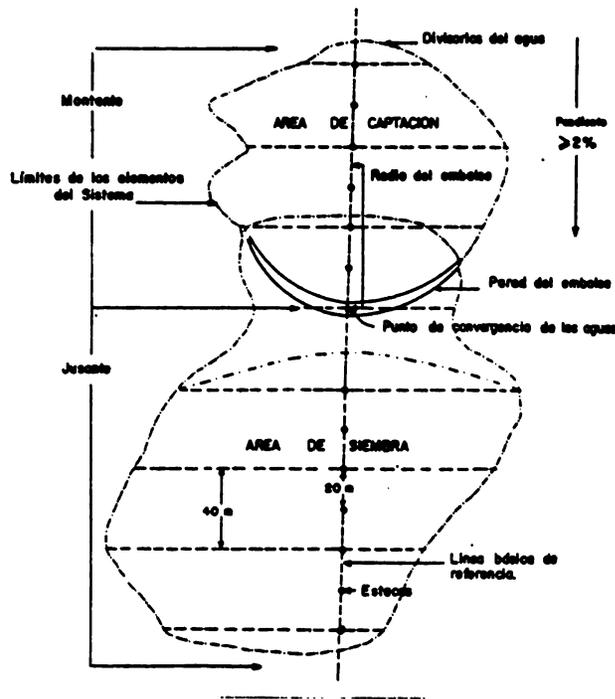


Figura 46. Modelo esquemático de la localización de los elementos básicos del SAES-ES, en campo.

Al inicio, en la estación definida como punto de convergencia, se trazan los límites laterales del elemento básico, que en este caso es el reservorio, el cual debe ser de forma semicircular. Partiendo del punto de convergencia, se demarca el largo del radio sobre la línea básica. Con una estaca en este punto y con la ayuda de una cuerda, se traza el semicírculo, colocando estacas cada 20 m a partir del punto de convergencia. Este será el extremo interno de la pared del reservorio. El otro extremo es definido por otro semicírculo paralelo al primero, a una distancia de 7 metros.

Tomando como base la altura altimétrica conseguida en el punto de convergencia de las aguas, se agrega a la misma 1 m, correspondiente al fondo del reservorio; buscando luego, en el área de siembra, el punto con cota igual a ese total. Este punto es donde la tubería que pasa por debajo de la pared del reservorio debe salir a la superficie del suelo. A partir de ese punto, por tanteo, se traza una curva de nivel con pendiente entre 0,8 y 1,0%, la cual se marca con piquetes. Esta es la dirección por donde pasará el surco principal que llevará el agua de riego a los demás surcos del área de siembra.

El último paso en lo referente al trazo del sistema, consiste en la demarcación de los límites del área de captación. Esta debe iniciar en uno de los extremos de la pared del reservorio, siguiendo los divisores naturales del agua, hasta alcanzar el otro extremo de la pared.

CONSTRUCCION

Tanque de almacenamiento (Ta)

El primer elemento a construir es el reservorio o tanque de almacenamiento. Si es necesario, toda el área destinada para el sistema debe ser desmontada; el área que se cubrirá por el agua y la pared del reservorio debe ser desmontada y destroncado, eliminándose la primera capa del suelo de 0,0 a 0,20 m. Luego, debe hacerse un paso de rastra por toda el área del reservorio. Después del rastreado se hace la fundación del reservorio, la cual consiste en abrir una zanja de 2,0 m de ancho por 0,5 m de profundidad, a todo lo largo de la pared del mismo. La profundidad deberá ser suficiente hasta encontrar un terreno que ofrezca mayor resistencia a la infiltración del agua. Como la zanja tendrá una profundidad de 0,50 m y ya se ha retirado una capa de 0,20 m, se supone que, en la mayoría de los casos, esta profundidad de 0,70 m será suficiente. El ancho de esta zanja deberá ser el mismo que el de la cuchilla de la máquina que construirá el reservorio.

Debido a la extensión de la primera zanja (figura 47), la eficiencia de la máquina en el transporte del material es muy baja. Esto quiere decir que la cuchilla de la máquina alcanza su capacidad máxima de arrastre al principio de la zanja, perdiendo mucho tiempo en el transporte de los materiales hasta el final de la misma. Una manera práctica de aumentar esta eficiencia es haciendo la excavación de la zanja en tres intervalos, transportando el material de la fundación para la base del talud aguas abajo, a medida que se van excavando cada uno de los segmentos. Como este material es de buena consistencia, puede ser utilizado para la construcción de la pared del reservorio.

El paso siguiente consiste en la colocación del tubo para retirar el agua almacenada en el reservorio cuando se efectúe el riego de salvación. Este, es instalado inmediatamente después de la abertura de la primera zanja en la pared del reservorio; es decir, en otra zanja de 16 m de largo,

0,60 m de ancho y 1,0 m de profundidad con relación al nivel del terreno, abierta perpendicularmente a la primera. El largo está en función de la pendiente del terreno.

En la Figura 47 se puede observar la disposición de las zanjas que servirán para la fundición de la pared del reservorio y para la instalación del tubo conductor del agua, respectivamente.

La segunda zanja se recomienda hacerla manualmente; pues, en la mayoría de los casos, es más económico que cuando se hace con la máquina.

Abierta la segunda zanja, se debe rellenar con un material de buena consistencia agregándole agua. Cuando el relleno haya alcanzado una altura de 0,40 m se abre otra pequeña zanja a nivel de 0,30 m de profundidad. En el medio de ésta se instala el tubo conductor de agua, el cual puede ser de hierro galvanizado o de PVC rígido de 4" de diámetro. Esto permitirá que, entre el tubo conductor de agua y el nivel del terreno original antes de haberse eliminado la primera capa de 0,20 m de espesor, exista una diferencia de nivel de 0,90 m, precisamente en el punto de convergencia de las aguas. Se debe tener cuidado especial para la instalación del tubo conductor de agua, compactando bien el material y adicionando agua. Es recomendable hacer dos o tres amarres con arcilla alrededor del tubo conductor (Figura 47).

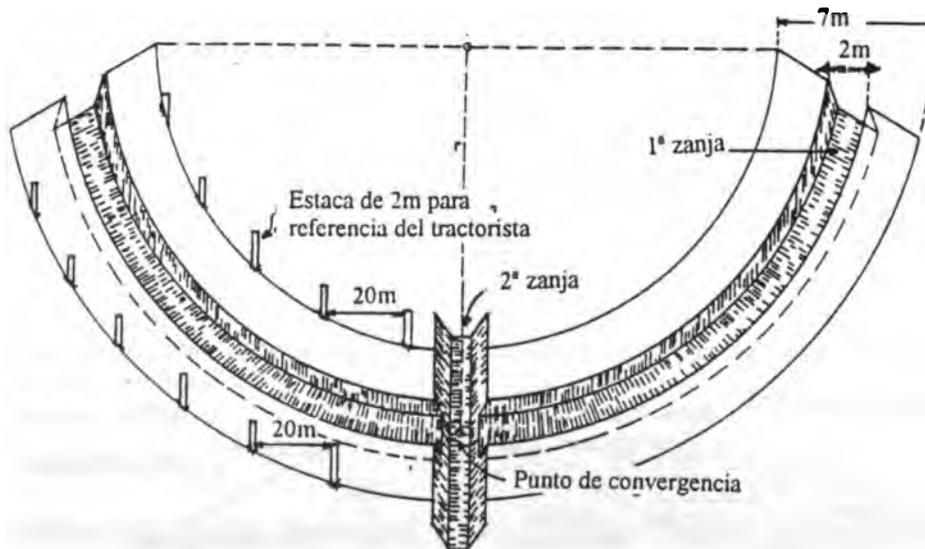


Figura 47. Modelo esquemático de las zanjas que servirán de fundición para la pared del embalse y para la instalación del tubo conductor del agua.

Para permitir la salida del agua, se puede instalar en el extremo exterior del tubo (aguas abajo), una llave de paso de 4" de diámetro, como se indica en la figura 40. Tratando de minimizar los costos del SAES-ES, esta llave puede sustituirse por tubos de PVC que conecten los dos compartimientos del embalse al tubo de salida por medio de una "T", en la que se adaptan 2 codos con rosca, las que a su vez tienen conectados 2 tubos (figura 49). Los codos con rosca permiten el movimiento de los tubos en posición horizontal y vertical; la primera, permite la

salida del agua hacia el área de siembra; y la segunda, que suspende el riego, debe asegurarse a la pared del embalse, por medio de una cuerda o alambre.

Deberán tomarse precauciones especiales con relación a la entrada y salida de agua del tubo conductor. La entrada del agua, deberá quedar a una altura mínima de 0,20 m del fondo del reservorio, para evitar que los desechos y los depósitos de sedimento producidos por las corrientadas obstruyan el tubo. Con relación a la salida del agua, se debe tener el cuidado de que el extremo del tubo descansa sobre la superficie natural del terreno, reduciendo de esta manera los costos por entubado y excavación.

Instalado el tubo conductor de agua, se inicia la construcción del dique del embalse con tierra de textura fina (del propio fondo del reservorio), sobreponiéndose capas, no mayores a 0,20 m, iniciándose por la primera zanja abierta. Estas capas finas y la máquina pasando por encima de ellas aseguran una mejor compactación. La máquina deberá excavar del "cajón" del reservorio hacia el pie del talud aguas abajo, obedeciendo las dimensiones calculadas, para que alcance la capacidad para que fue diseñado.

La corona del dique deberá tener un desnivel desde la línea central hacia los bordes, aguas arriba y aguas abajo, de por lo menos 0,15 m para evitar la acumulación de agua en la parte superior de la pared. Una vez terminada la construcción de éste, se construyen los diques divisores de agua, con la misma máquina utilizada en la construcción del dique principal. Estos diques son continuos a la pared del reservorio y construidos con un declive de por lo menos 0,5%, en dirección al dique principal y con una profundidad de 0,70 m.

El vertedor de excesos se construye en uno de los diques divisores de agua, con el menor tamaño posible. El ancho del mismo no debe ser mayor al de la cuchilla de la máquina, dejándose una diferencia de nivel de 0,50 m, entre los puntos más alto de la base del vertedor y más bajo de la corona del embalse.

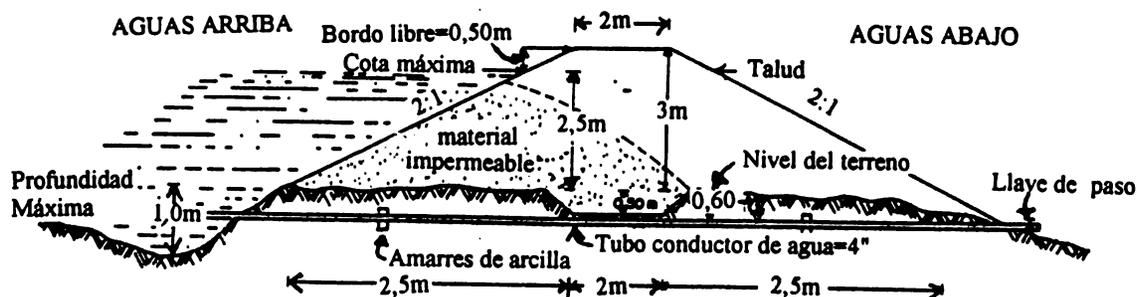


Figura 48. Modelo esquemático del dimensionamiento de la pared del embalse y colocación del tubo conductor de agua.

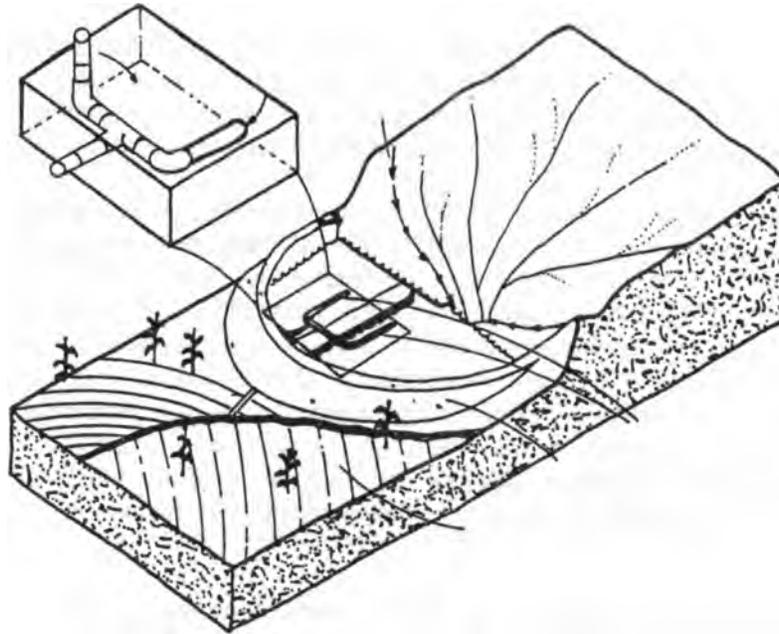


Figura 49. Modelo esquemático de la colocación de los tubos, conectados los compartimientos del SAES-ES, como sustituto de la llave de paso.

Area de siembra (As)

Esta área debe ser desmontada, destroncado, arada y rastreada. Cuando se hace el desmonte y destroncamiento, se debe tratar que la máquina remueva lo menos posible el suelo. Lo ideal es que estas prácticas agrícolas, se realicen manualmente, para evitar la eliminación de la capa superficial del suelo, particularmente cuando los suelos donde se implante el SAES-ES, sean poco profundos y de baja fertilidad.

El arado y rastreado se deben hacer en sentido perpendicular a la pendiente del terreno. En la mayoría de casos, es suficiente pasar una vez el arado y dos veces la rastra. Algunas irregularidades en el terreno tienen que eliminarse para facilitar la abertura de los surcos y camellones. En esta práctica deben tenerse las consideraciones de la labranza conservacionista.

El canal de riego

A nivel de campo, se deben estudiar varias alternativas de colocación del canal, con el objetivo de verificar cuál es la mejor opción para irrigar el área. La determinación de la pendiente del terreno se puede hacer con un nivel de manguera, con un nivel en “A” o con nivel de precisión.

La mejor localización del canal es aquella que permite, además de la cobertura de los surcos y camellones, la mayor eficiencia de riego del área de siembra. Como el canal es de tierra, la pendiente no debe ser mayor del 1 %. Vale resaltar que un surco puede, en la mayoría de los casos, funcionar como un canal de distribución, si el área seleccionada fuera un poco irregular.

Se recomienda que, al mismo tiempo que se está colocando el canal de distribución, se coloquen los niveles básicos con un 0,4% de pendiente, para el trazo de los surcos o camellones, con estacas espaciadas 20 m entre sí. Así, puede tenerse una idea de cómo quedará el área de siembra, después de implantado el canal y los surcos y camellones. Si la alternativa ejecutada no resulta la mejor (esto se verifica apenas por las estacas), se repite toda la operación anterior, en otro punto. Este proceso de tanteo, usando nada más el nivel y las estacas, permite que en poco tiempo se comprueben, a nivel de campo, varias alternativas para la implantación del sistema de riego por surcos y se escoja la más viable, principalmente con relación a la aplicación y distribución del agua en el área de siembra. La localización de los niveles básicos y líneas de contorno para la confección de surcos y camellones, sigue el método de la cuerda, descrito anteriormente.

Construido el canal de distribución, se hace la abertura de los surcos y camellones. Los camellones tienen superficie plana de 1,20 m de ancho y son limitados lateralmente, por los surcos de 0,30 m de ancho y 0,20 m de profundidad, siendo el espaciamiento entre surcos de 1,50 m, con la finalidad de aplicar agua a los cultivos, durante el riego de salvación.

Se recomienda hacer, al inicio del área de siembra, próximo a la pared del reservorio, un surco de retención con una pendiente de 0,5%, suficiente para transportar toda el agua que escurra del embalse, entre el área de siembra y el área de captación. También, se deben hacer surcos de retención a cada 30 m de distancia en el sentido de la pendiente, dentro del área de siembra, para evitar que durante lluvias de gran intensidad, el rompimiento de los surcos la puedan perjudicar. Cualquier escorrentía de agua proveniente de otras áreas hacia el área de siembra, se debe desviar.

La construcción de toda la infraestructura del SAES-ES se hace por una única vez, en vista de que en los años subsiguientes solamente se repasan los surcos y camellones.

Cuando es necesario el uso de “riego de salvación” se debe aplicar una lámina de agua de apenas 20 mm, tomando en cuenta la posibilidad de lluvias después de su aplicación. En el caso de que no ocurran lluvias dentro del período ideal esperado, se hace necesario un nuevo “riego de salvación” para complementar el anterior, y así sucesivamente.

Mantenimiento

El mantenimiento es fundamental para la sustentabilidad del sistema. Los surcos y camellones deben rehacerse todos los años en el final del período de la cosecha. El área de siembra también

debe ser supervisada en cuanto al rompimiento de algún surco de retención, los cuales deben mantenerse siempre limpios y sin obstrucciones. El área de captación también requiere de algunos cuidados; a cada dos años, es recomendable efectuar la remoción de cualquier hierba que pudiera emerger; se debe también observar el comportamiento de las líneas de drenaje, limpiándolas de obstáculos que impidan la escorrentía superficial.

Potencial de producción

El sistema no es capaz de incrementar la producción en un cien por ciento, con relación al proceso tradicional de cultivo, pero sí reduce, hasta en un 90%, los riesgos de pérdidas de las cosechas causadas por la sequía. En el semiárido brasileño, los rendimientos promedio de frijol caupí y maíz, cultivados tradicionalmente, es de 300 y 450 kg/ha, respectivamente. Con el SAES-ES, se logra un rendimiento promedio, a nivel de pequeños productores, de 1,000 kg/ha para el cultivo de frijol caupí y 1,200 kg/ha para el cultivo de maíz. Además, en casos comprobados durante un registro de 10 años, durante el 30% de este periodo (3 años), se ha logrado obtener dos cosechas por año.

Grado de complejidad

Esta técnica se considera de un grado intermedio de complejidad, pues requiere la intervención de mano de obra especializada para su diseño, trazo y construcción, además de que el agricultor aprenda qué es una curva de nivel, cómo fertilizar y cómo aplicar el riego.

Limitaciones

No se recomienda la implantación del SAES-ES, en suelos con contenidos de arcilla inferiores al 15%; tampoco puede instalarse en propiedades con extensión inferior a 10 ha. Entre las técnicas de aprovechamiento del agua de lluvia con fines agrícolas, es la que requiere mayor inversión; por lo tanto, la capacidad económica del productor puede convertirse también en una limitante.

IMPACTO SOCIOECONOMICO Y AMBIENTAL

Costos y retornos

El Cuadro 12, presenta los costos y retornos anuales de un SAES-ES, en un caso típico a nivel de productor, con una área de siembra de 1,5 ha y tanque de almacenamiento para 3,000 m³

Con una producción promedio de para los cultivos de frijol caupí y maíz de 1,000 kg/ha y 1,200 kg/ha, respectivamente, el sistema permite generar una renta neta anual de \$US 342. Este sistema particular está funcionando desde el año 1982 y, solamente durante un año, no se obtuvo cosecha por las bajas precipitaciones ocurridas. El promedio anual de precipitación en la región es de 400 mm.; pero, durante ese año, solo ocurrieron 116 mm de lluvia. Esto se complementa con que, en los doce años de funcionamiento del mismo, el agricultor ha logrado, en tres de ellos, obtener dos cosechas por año.

Generación de empleo

Para la implantación del sistema se requiere poca mano de obra, alrededor de 2 a 3 días/hombre, debido a que todos los reservorios se construyen con maquinaria, principalmente con tractor de oruga.

En cuanto al manejo de los cultivos, si es necesaria mucha mano de obra durante todo el ciclo de los mismos. Para este caso, en el Cuadro 12, puede observarse que para la explotación agrícola de 1,5 ha, se requiere un promedio de 75 días/hombre.

Sostenibilidad

El sistema es sostenible puesto que conserva el suelo, el agua, no contamina el medio ambiente y tiene una producción rentable.

Características del lugar de las técnicas aplicadas

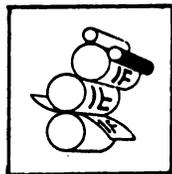
Todos los embalses fueron construidos con el apoyo del Servicio de Asistencia Técnica y Extensión Rural de cada Estado, habiendo presentado excelentes resultados, bajo regímenes pluviométricos que van de 400 a 800 mm. anuales.

Cuadro 15. Costo y rendimiento anual del sistema de envase para riego de salvación

Detalles:		<i>Area de cultivo</i>	<i>1,5 ha</i>
Cultivo: Maiz y frijol		<i>Valor dólar</i>	<i>1,0 R\$</i>
Area de captación:	<i>3,8 ha</i>	<i>Valor dólar</i>	<i>.0 -0-</i>
Capacidad del reservorio:	<i>3,000,0 m³</i>	<i>Intereses</i>	<i>8,0 %</i>
Distancia entre surcos:	<i>1,5 m</i>	<i>Repiado de gracia</i>	<i>2 años</i>
Período:	<i>15 años</i>	<i>Rendimiento del maiz:</i>	<i>1,200 kg/ha</i>
Rendimiento del frijol:	<i>1,000 kg/ha</i>		

Actividad	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (R\$)	Valor Total (R\$)	Valor Total (US\$)	Valor Total (-Q-)	
I. Costos de Inversiones:							
1.1 Mano de obra/uso de implementos:							
Selección del área							
Demarcación del sistema	hom./día	,25	1,0	,3	,3	,0	
Desmante	hom./día	1,00	1,0	1,0	1,0	,0	
Construcción de embalse	hora/trat.	30,00	28,0	840,0	840,0	,0	
Colocación del tubo	hora/trat.	35,00	28,0	940,0	940,0	,0	
Construcción del dique	hom./día	1,00	1,0	1,0	1,0	,0	
Construcción del vertedor de excesos	hora/trat.	5,00	28,0	140,0	140,0	,0	
Arado (tractor de neumáticos)	hora/trat.hora/trat.	2,00	28,0	56,0	56,0	,0	
Paso de rastra	hora/trat.	5,00	15,0	75,0	75,0	,0	
		3,00	15,0	45,0	45,0	,0	
				Sub-total	2138,3	2138,3	,0
1.2 Materiales							
Tubo alta presión PVC 4" (6,0m)	Ud.						
Tubo baja presión pVC4" (6,0 m)	Ud.	3,0	21,0	63,0	63,0	,0	
Codo con rosca PVC4"	Ud.	2,0	15,0	30,0	30,0	,0	
"T" con rosca PVC 4"	Ud.	2,0	10,0	20,0	20,0	,0	
Niple de pVC4"	Ud.	1,0	10,0	10,0	10,0	,0	
Pegamento para PVC	Tubo.	2,0	10,0	20,0	20,0	,0	
		2,0	3,5	7,0	7,0	,0	
				Sub-total	150,0	150,0	,0
Costo total de la inversión					2288,3	2288,3	,0
2. Costos Anuales:							
2.2 Insumos:							
Semilla de maíz	kg	22,5	1,0	22,5	22,5	,0	
Semilla de frijol	kg	45,0	2,0	90,0	90,0	,0	
Abono fosfatado simple	kg	300,0	2	54,0	54,0	,0	
Nuvacron	l	3,0	9,0	27,0	27,0	,0	
Total anual insumo					193,5	193,5	,0
2.3 Mano de obra/uso implementos:							
Surceado (tractor de neumáticos)	Hora/trat	2,0	15,0	30,0	30,0	,0	
Siembra/fertilización	Hom./día	7,5	1,0	7,5	7,5	,0	
Limpías	Hom./día	30,0	1,0	30,0	30,0	,0	
Aplicación de pesticida	Hom./día	7,5	1,0	7,5	7,5	,0	
Irrigación	Hom./día	15,0	1,0	15,0	15,0	,0	
Cosecha	Hom./día	15,0	1,0	15,0	15,0	,0	
Total anual insumo					105,0	105,0	,0
3. Costo:							
3.1 Total (inversión + costo año 1)					2586,3	2586,3	,0
3.2 (inversión + costo año 1)					588,0	588,0	,0

4 Rendimiento Anual	Precio kg			Kg/area cultivada				
	RS	US\$	Q	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
4.1 Producción								
Frijol	,5	,5	,0	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
Maíz	,1	,1	,0	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800
4.2 Renta bruta total								
En RS				930,0	930,0	930,0	930,0	930,0
En US\$				930,0	930,0	930,0	930,0	930,0
En moneda local -Q-				,0	,0	,0	,0	,0
4.3 Renta Neta								
En RS				342,0	342,0	342,0	342,0	342,0
en US\$				342,0	342,0	342,0	342,0	342,0
En moneda local -Q-				,0	,0	,0	,0	,0
								Total Anual
5. Generación de empleo:								
5.1 Utilización de mano de obra					Area total	Por m²		
En la implant. del sistema					hom./día	2,3	1,5	
En el mantenim. y labores culturales					hom./día	75,0	50,0	



**Esta Publicación consta de 1000
Ejemplares se imprimió en:
IMPRESIONES FUTURA
Av. Juárez No. 104
San Vicente Chicoloapan
Edo. de Méx.
Tel. 91(592) 1-58-24**

— I I C A —
CENTRO REFERENCIAL
BIBLIOTECA VENEZUELA

