

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

Informe Final /- Manual

HC1002.1

SUBCOORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA APROPIADA E INDUSTRIAL

COORDINACIÓN DE HIDRÁULICA

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

Informe final

HC1002.1

SUBCOORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA APROPIADA E INDUSTRIAL

COORDINACIÓN DE HIDRÁULICA

Luis Gómez Lugo
Nahun Hamed García Villanueva

México, 2010

Durante el año 2010, incluido en las actividades de investigación y desarrollo tecnológico, se realizó el proyecto

”INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA”

a fin de desarrollar tecnología de innovación y validar metodologías dentro del campo de la ingeniería hidroagrícola en favor del manejo sustentable del agua en México .

Vigencia del proyecto: 2010.

Clave de control asignada al proyecto: HC1002.1

México, 2010

Como producto del proyecto se desarrollo el

MANUAL

”INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA”

En el que se incluye

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE INVERNADEROS

METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE CISTERNAS DE GRAN CAPACIDAD CON FINES DE RIEGO EN INVERNADEROS.

METODOLOGÍA Y MATERIAL TÉCNICO PARA LA APLICACIÓN DE LA SUBIRRIGACIÓN EN INVERNADEROS Y PEQUEÑAS SUPERFICIES. 88

LAS ACTIVIDADES EXPERIMENTALES

México, 2010

ÍNDICE GENERAL

	página
RESUMEN EJECUTIVO.....	1
PROBLEMÁTICA GENERAL Y MOTIVACIÓN	2
ANTECEDENTES	3
1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVO.....	5
3. RESULTADOS ESPERADOS.....	5
4. AMBITO DEL PROYECTO E INFRAESTRUTURA.....	6
ÁMBITO GENERAL DEL PROYECTO.....	6
Localización del proyecto	6
Datos climatológicos	7
Identificación y definición del usuario.....	7
COMPONENTES PRINCIPALES DEL PROYECTO.....	7
CARACTERIZACIÓN DE CISTERNA DE 500 M ³	8
Descripción de la cisterna de 500m ³	8
CARACTERIZACIÓN DEL INVERNADERO.....	12
CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE SUBIRRIGACIÓN	13
Descripción del sistema de riego por subirrigación	13
5. METODOLOGÍA.....	15
PREPARACIÓN, ADECUACIONES Y MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUTURA EXPERIMENTAL.....	17
Preparaciones en el invernadero de riego por subirrigación	17
Adecuaciones en el invernadero de riego por subirrigación	18
Mantenimiento en el invernadero de riego por subirrigación	19
DISEÑO Y PLANEACIÓN DE LAS ACTIVIDADES EXPERIMENTALES	20
Diseño de las actividades experimentales	20
Planeación de las actividades experimentales.....	20
Equipamiento e insumos	22
DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES EXPERIMENTALES.....	24
Puesta en operación del Sistema de Subirrigación.....	24
Riegos subsecuentes al riego de trasplante.....	24
Subriegos en el sistema de subirrigación (riegos capilares)	26
Fertirrigación.....	29
RESULTADOS (ANÁLISIS Y DISCUSIÓN)	31
CONCLUSIONES.....	34

ANEXOS.....	36
INFORMACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA SOBRE LA APLICACIÓN DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA PARA EL RIEGO DE INVERNADEROS.....	36
A). INFORMACIÓN TÉCNICA.....	36
1. Del terreno	36
2. Del suelo	36
3. De la climatología	37
B). INFORMACIÓN ECONÓMICA	37
1. De la mano de obra	37
2. De los costos de materiales.....	38
3. De los costos de insumos (fertilizantes, insecticidas y fungicidas).	39
Resumen de costos	39
Escenarios de recuperación de la inversión	40
METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN APLICADOS A ESQUEMAS PRODUCTIVOS A PEQUEÑA ESCALA.....	42
INTRODUCCIÓN.....	42
MATERIALES Y EQUIPO UTILIZADO PARA LA INSTALACIÓN.....	44
Materiales	44
Equipo.....	44
PROCESO DE INSTALACIÓN.....	44
Trazo de módulos de Subirrigación.....	44
Movimiento de tierras.....	45
Colocación de la geo membrana.....	46
Instalación de la tubería de Subirrigación.....	47
Cantidades utilizadas de tubería y piezas especiales en cada uno de los módulos.....	48
Instalación de las líneas de abastecimiento de agua al sistema de Subirrigación.....	49
EXPERIENCIA Y RECOMENDACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA PRODUCTIVO VALIDADO	50
EXPERIENCIA	50
Descripción	50
Objetivo y alcances.....	50
METODOLOGÍA.....	51
OPERACIÓN DEL SISTEMA	51
Sistema de captación de agua de lluvia	51
Sistema de subirrigación	52
REFLEXIONES	53
RECOMENDACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA PRODUCTIVO VALIDADO	54
Información sobre el cultivo validado.....	54
Manejo del cultivo	56
RECOMENDACIONES SOBRE LAS CISTERNAS	58
RECOMENDACIONES SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN DE INVERNADEROS ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA	59
RECOMENDACIONES SOBRE SOBRE EL SISTEMA DE RIEGO POR SUBIRRIGACIÓN	60

MANUAL DE INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA	1
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
OBJETIVOS	3
METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE INVERNADEROS.....	4
Material para la instalación	4
Trazo y nivelación	4
Cimentación	5
Instalación de columnas	6
Instalación de arcos y refuerzos	7
Instalación de canaleta de recolección y conducción de agua de lluvia hacia la cisterna.	8
Instalación de hule	9
Colocación de elementos estructurales internos	10
Invernadero terminado en producción	10
METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE CISTERNAS DE GRAN CAPACIDAD CON FINES DE RIEGO EN INVERNADEROS.	12
Construcción de cisternas de 500 m ³ de capacidad	12
Características de la cisterna	12
Costo unitario de una cisterna de 500 m ³	13
Trazo y nivelación	14
Armado general de la cisterna	15
Instalación de anillo de refuerzo en paredes	16
Instalación de malla de refuerzo en contrafuertes.....	17
Colocación de armado de columnas y colado de losa de fondo.	19
Colocación de muro capuchino	20
Armado del techo de cisterna	21
Repellado interno y chaflán.	22
Repellado externo y colado de contrafuertes	24
Colado del techo de cisterna	25
METODOLOGÍA Y MATERIAL TÉCNICO PARA LA APLICACIÓN DE LA SUBIRRIGACIÓN EN INVERNADEROS Y PEQUEÑAS SUPERFICIES.	28
Descripción del sistema de subirrigación.	28
Materiales y equipo utilizado para la instalación del sistema de subirrigación.	30
Proceso de instalación.....	31
Cantidades utilizadas de tubería y piezas especiales en cada uno de los módulos.....	34
Instalación de las líneas de abastecimiento de agua al sistema de Subirrigación.	35
LAS ACTIVIDADES EXPERIMENTALES	38
Preparación, adecuaciones y mantenimiento de infraestructura experimental.....	38
Diseño y planeación de las actividades experimentales	40
Equipamiento e insumos	41
Desarrollo de las actividades experimentales - operación del Sistema de Subirrigación.	43
BIBLIOGRAFIA	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes principales para la ejecución del proyecto	8
Tabla 2. Características generales de las cisternas de 500m ³	8
Tabla 3. Participantes del proyecto	15
Tabla 4. Calendarización 2010	16
Tabla 5. Planeación de las actividades experimentales	21
Tabla 6. Lista de fertilizantes y fungicidas para el invernadero	23
Tabla 7. Riegos subsecuentes al trasplante en el sistema de riego por subirrigación	24
Tabla 8. Continuación de riegos subsecuentes al trasplante en el sistema de riego por subirrigación	25
Tabla 9. Cantidad de agua y gramos de fertilizante en la fertirrigación	29
Tabla 10. Cantidad de agua y gramos de fertilizante en la fertirrigación del primer subriego	30
Tabla 11. Ejemplo de control de fertilizantes, insecticidas y fungicidas	39
Tabla 12. Resumen de costos de los sistemas productivos	40
Tabla 13. Resumen de escenarios de recuperación de la inversión (27 toneladas)	40
Tabla 14. Resumen materiales de tubería y piezas especiales en cada uno de los módulos de subirrigación	48
Tabla 15. Descripción del cultivo – partes estructurales	54
Tabla 16. Manejo de cultivo – Labores de cultivo	57

DEL MANUAL

Tabla 17. Costos de materiales de una Cisterna tipo capuchino de gran capacidad	13
Tabla 18. Resumen repellido interno de la cisterna	22
Tabla 19. Resumen de materiales y equipo utilizado para la instalación del sistema de subirrigación	30
Tabla 20. Resumen del proceso de instalación del sistema de subirrigación	31
Tabla 21. Resumen materiales de tubería y piezas especiales en cada uno de los módulos de subirrigación	34
Tabla 22. Componentes principales para la ejecución del proyecto	40
Tabla 23. Ejemplo de planeación de las actividades experimentales	41
Tabla 24. Ejemplo de control de fertilizantes y fungicidas	42
Tabla 25. Riegos subsecuentes al trasplante en el sistema de riego por subirrigación	43
Tabla 26. Ejemplo de la cantidad de agua y gramos de fertilizante en la fertirrigación	49
Tabla 27. Ejemplo de la cantidad de agua y gramos de fertilizante en la fertirrigación de los subriegos	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del sitio del proyecto - Autopista Zacatecas - Fresnillo (Vista Noroeste-Sureste).....	6
Figura 2. Esquema de la cisterna (ubicación de contrafuertes y castillos).	9
Figura 3.- Planta de una cisterna de 500 m ³	9
Figura 4. Corte de una cisterna de 500 m ³	10
Figura 5. Detalles constructivos de la cisterna de 500 m ³ (A).	10
Figura 6. Detalles constructivos de la cisterna de 500 m ³ (B).	11
Figura 7. Detalles constructivos de la cisterna de 500 m ³ (C).	11
Figura 8. Estructura de invernadero propuesto.....	12
Figura 9. Vista de planta del sistema de subirrigación.....	14
Figura 10. Corte del sistema de subirrigación.....	14
Figura 11. Ubicación de la nave del invernadero y cisterna del sistema por subirrigación 	20
Figura 12. Cisterna e invernadero con sistema de Subirrigación	21
Figura 13. Ejemplo de programación de materiales para la implementación de una cisterna	38
Figura 14. Vista en corte transversal del sistema Subirrigación	42
Figura 15. Ejemplo - Vista en plana del sistema Subirrigación.....	43
Figura 16. Perspectiva del sistema por subirrigación terminado	49

DEL MANUAL

Figura 17. Perspectiva del invernadero y cisterna	4
Figura 18. Tensores, elementos estructurales que sostiene las plantas	10
Figura 19. Representación general de la cisterna 500,000 litros	12
Figura 20. Detalle del trazo de cisterna.....	13
Figura 21. Detalle unión tapa – anillo - losa de cimentación.....	16
Figura 22. Armado de contrafuerte	18
Figura 23. Vista en corte transversal del sistema Subirrigación	28
Figura 24. Ejemplo - Vista en plana del sistema Subirrigación.....	29
Figura 25. Perspectiva del sistema por subirrigación terminado	35
Figura 26. Ejemplo de ubicación del invernadero y almacenamiento.....	40

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Preparación del terreno bajo el invernadero	18
Ilustración 2. Tuberías de suministro de agua al sistema de subirrigación	18
Ilustración 3. Daño y reparación de hule y malla antiáfidos.	19
Ilustración 4. Podas y deshoje del cultivo de Jitomate	19
Ilustración 5. Plántula de jitomate CID y trabajos preparatorios al trasplante	22
Ilustración 6. Trasplante y riegos por goteo primer etapa	25
Ilustración 7. Primer riego capilar -avance de humedad desde el subsuelo.	27
Ilustración 8. Pozo de observación, humedecimiento capilar, medición del PH y conductividad hidráulica,	29
Ilustración 9. Tanque para Fertirrigación, tubos de observación y colocación de fertilizantes	30
Ilustración 10. Ejemplo de almacenamiento de agua de lluvia y suministro de agua al sistema de subirrigación en un invernadero.	43
Ilustración 11. Movimiento de tierras	45
Ilustración 12. Colocación de la geo membrana	46
Ilustración 13. Colocación de la red de tubería subterránea	47
Ilustración 14. Paso de maquinaria sobre el terraplén	48

DEL MANUAL

Ilustración 15. Hoyos de 45 centímetros para cimentación de columnas	5
Ilustración 16. Hoyos de 45 centímetros y columnas de soporte estructural vertical.	5
Ilustración 17. Colocación de columnas y refuerzos laterales	6
Ilustración 18. Ensamble de larguero con arco.	7
Ilustración 19. Ensamble de largueros y arcos para uniones de las columnas en ambos sentidos	7
Ilustración 20. Instalación de canaleta de recolección de agua de lluvia hacia la cisterna	8
Ilustración 21. Instalación de canaleta de recolección de agua de lluvia	8
Ilustración 22. Instalación del hule en la parte superior del invernadero (techo del invernadero)	9
Ilustración 23. Instalación de la malla antiáfidos en los laterales del invernadero	9
Ilustración 24. Invernadero terminado en producción (1)	10
Ilustración 25. Invernadero terminado en producción (2)	11
Ilustración 26. Invernadero terminado en producción (3)	11
Ilustración 27. Nivelación con hilo radialmente	14
Ilustración 28. Preparación y colocación de una capa de grava para el colado de losa de fondo	15
Ilustración 29. Armado general de la cisterna	15
Ilustración 30. Anillo de refuerzo en paredes	16
Ilustración 31. Colado de la banda perimetral para fijación y refuerzo de los contrafuertes	17
Ilustración 32. Fijación y amarre de contrafuertes al cuerpo perimetral de la cisterna	18
Ilustración 33. Armado del cuerpo de la cisterna y columnas	19
Ilustración 34. Colado de losa de fondo de la cisterna	20
Ilustración 35. Levantamiento del muro capuchino	20
Ilustración 36. Levantamiento del muro de la cisterna - muro capuchino	21
Ilustración 37. Corte y tejido de la malla con la arpilla para el armado del techo de la cisterna	21
Ilustración 38. Colocación del armado del techo de la cisterna	22
Ilustración 39. Armado del techo de la cisterna	23
Ilustración 40. Acabados internos y chaflán	23
Ilustración 41. Colado de exterior.	24

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 42. Cimbra y colado de contrafuertes	24
Ilustración 43. Armado de varillas en el techo de la cisterna	25
Ilustración 44. Colado del techo de la cisterna	26
Ilustración 45. Cisterna terminada	26
Ilustración 46. Megacisterna terminada	27
Ilustración 47. Ejemplo de almacenamiento de agua de lluvia cercano al invernadero con subirrigación	30
Ilustración 48. Movimiento de tierra	32
Ilustración 49. Colocación de la geo membrana	32
Ilustración 50. Colocación de la red de tubería subterránea	33
Ilustración 51. Ensamble de la red de tubería subterránea	33
Ilustración 52. Paso de maquinaria sobre el terraplén	34
Ilustración 53. Resumen ilustrativo de la instalación del sistema de Subirrigación	37
Ilustración 54. Preparación de las parcelas bajo los invernaderos	39
Ilustración 55. Podas y deshoje del cultivo de Jitomate	39
Ilustración 56. Ejemplo de plántula de jitomate CID	42
Ilustración 57. Ejemplo de plántula de jitomate CID y trabajos preparatorios al trasplante	42
Ilustración 58. Riegos por goteo y trasplante	44
Ilustración 59. Trasplante y riegos por goteo primer etapa	44
Ilustración 60. Primer riego capilar. Avance de humedad desde el subsuelo.	46
Ilustración 61. Pozo de observación y humedecimiento capilar	47
Ilustración 62. Pozo de observación, medición del PH y conductividad hidráulica,	48
Ilustración 63. Tanque para Fertirrigación. Tubos de observación y colocación de fertilizantes	48

RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto HC-10021.1 intitulado "INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA", esta clasificado en el rubro de investigación básica, dentro del campo de estudio de ciencias hidroagrícolas. Las actividades del proyecto fueron apoyadas por la Universidad Autónoma de Zacatecas bajo convenio de colaboración con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

En un contexto general, la propuesta del proyecto se oriento a la implementación de un estudio experimental para la producción de alimentos en pequeñas superficies bajo condiciones controladas (invernadero de 1,000 m²), con fuente de abastecimiento de agua de lluvia captada en la superficie techada del invernadero y almacenada en una cisterna de 500,000 litros.

El invernadero se equipo con un sistema de subirigación mediante una red de tubería subterránea en un estrato de 1 metro de profundidad, impermeabilizado con geo membrana para evitar pérdidas por percolación profunda.

Con la propuesta del proyecto se pretende desarrollar y ofertar una alternativa tecnológica que permita impulsar el uso eficiente del agua y de espacios cultivados a pequeña escala, a fin de contribuir en la atención del déficit alimentario y en el desarrollo sustentable de los recursos hídricos del país.

Se validará el conocimiento avanzado de un sistema de riego, siendo posible vincular y fortalecer las líneas asociadas a la captación y almacenamiento de agua de lluvia para riego, la subirrigación y el aprovechamiento eficiente de espacios para el desarrollo agrícola del país.

PROBLEMÁTICA GENERAL Y MOTIVACIÓN

En México existen miles de comunidades rurales marginadas algunas ubicadas en zonas desérticas, donde el agua es un recurso primordial para su seguridad alimentaria. En general, estas viven en condiciones de pobreza extrema - 40 millones (INEGI, 2010) con producciones de autoconsumo de maíz y frijol sin ninguna tecnología.

Por otro lado, las lluvias presenta grandes variaciones, severas sequías originan que los acuíferos vayan disminuyendo sin recuperación y lluvias torrenciales originan problemas de inundaciones y pérdidas importantes de superficies de cultivo.

Sobre la tecnificación del riego, existen al menos 100,000 hectáreas con sistemas de riego ineficientes que requieren de modernización urgente (Barrios, D., 2010)

Por lo que resulta importante:

- Validar tecnología útil que permitan solucionar los grandes retos y rezagos que enfrentan los productores de las rurales de México.
- Fortalecer de manera integral las líneas de investigación asociadas a la captación y almacenamiento de agua de lluvia para riego, la subirrigación y el aprovechamiento eficiente de espacios como son los invernaderos (Gómez L., 2010)

ANTECEDENTES

El IMTA, como parte de las acciones de investigación, desarrollo, transferencia y apropiación de tecnología en materia de agua, con apoyo de la Universidad Autónoma de Zacatecas, ha desarrollado sistemas de almacenamiento cuya aplicación ha sido orientada al almacenamiento de agua de lluvia, con esta alternativa de almacenamiento ha sido posible implementar proyectos agrícolas bajo condiciones de invernadero en zonas rurales de México, incluso, donde la precipitación puede ser limitada.

En 2008, bajo un convenio de colaboración con la Universidad Autónoma de Zacatecas, se implementó el proyecto denominado “Desarrollo experimental de un sistema de captación de agua de lluvia y subirrigación para zonas áridas” con ello se buscó potenciar la investigación básica y aplicada en materia de sistemas de almacenamiento de agua de lluvia con fines de riego. Con estos sistemas ha sido posible desarrollar esquemas productivos bajo condiciones de invernadero en zonas áridas y semiáridas, donde la precipitación es limitada, pero habilitando la superficie techada de los invernaderos como áreas de captación de agua de lluvia se han obtenido volúmenes suficientes para la producción agrícola.

Bajo este esquema, se propone utilizar la superficie techada de un invernadero de 1,000 m² como área efectiva de captación de agua de lluvia, adicionalmente, tener la mayor eficiencia del uso del agua de riego mediante sistemas de subirrigación.

La subirrigación consiste en suministrar el agua desde el subsuelo a través de una red interior de tubería subterránea perforada. La humedad llega a la raíz por ascenso capilar - Riego Capilar.

1. INTRODUCCIÓN

El uso del agua para riego resulta ser un reto especial, dado que los volúmenes utilizados para tal fin representan un alto porcentaje, situación que exige utilizar métodos y sistemas de riego que ofrezcan las más altas eficiencias.

En México, la lluvia juega un papel muy importante en la producción de alimentos, el recurso hídrico se vuelve estratégico, sobre todo en las regiones rurales del país. A falta de fuentes de agua convencionales, la captación del agua de lluvia representa una alternativa viable para el desarrollo de la agricultura en muchas regiones rurales del país, incluyendo en estas, zonas áridas y semiáridas.

Bajo el contexto anterior, en el año 2008, enmarcado en las acciones de investigación, desarrollo, transferencia y apropiación de tecnología en materia de agua que el IMTA desarrolla, bajo convenio con la UAZ se implementó el proyecto denominado “Desarrollo experimental de un sistema de captación de agua de lluvia y subirrigación para zonas áridas”, en el que se implementaron dos invernaderos de 1,000 m² c/u, sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia y sistemas de riego (TDF y subirrigación), a fin generar tecnología útil que permita el desarrollo de la agricultura en las zonas áridas, semiáridas y marginadas del país.

2. OBJETIVO

Desarrollar las bases metodológicas para el diseño y operación de sistemas de subirrigación controlada en suelos confinados mediante geomembranas dentro de invernaderos abastecidos a través de la captación de agua de lluvia.

Validar la propuesta metodológica en un invernadero piloto experimental instalado para tal fin en el Estado de Zacatecas.

3. RESULTADOS ESPERADOS

- Información técnica y económica sobre la aplicación de sistemas de captación de agua de lluvia para el riego de invernaderos.
- Metodología para la implementación de sistemas de subirrigación aplicados a esquemas productivos a pequeña escala.
- Experiencia y recomendaciones técnicas del sistema productivo validado
- Desarrollo tecnológico (manual o software)

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

4. AMBITO DEL PROYECTO E INFRAESTRUTURA

Ámbito general del proyecto

El IMTA fue el encargado de la formulación, coordinación y supervisión del proyecto y La UAZ de su desarrollo, en tanto se propuso que el proyecto fuera desarrollado en un sitio de Zacatecas. La UAZ selecciono el sitio, teniendo como primera actividad una entrevista con los representantes del Ejido La Pimienta, en Zacatecas, Zacatecas, con el fin de plantear el proyecto. Se realizaron 3 reuniones con los ejidatarios para seleccionar el sitio.

Localización del proyecto

- ✓ Lugar: Ejido La Pimienta, Zacatecas, Zacs.
- ✓ Distancia desde la ciudad de Zacatecas: 5 km
- ✓ Coordenadas geográficas: latitud $22^{\circ}47.70'$, longitud $102^{\circ}37.65'$ y altitud 2,300 msnm

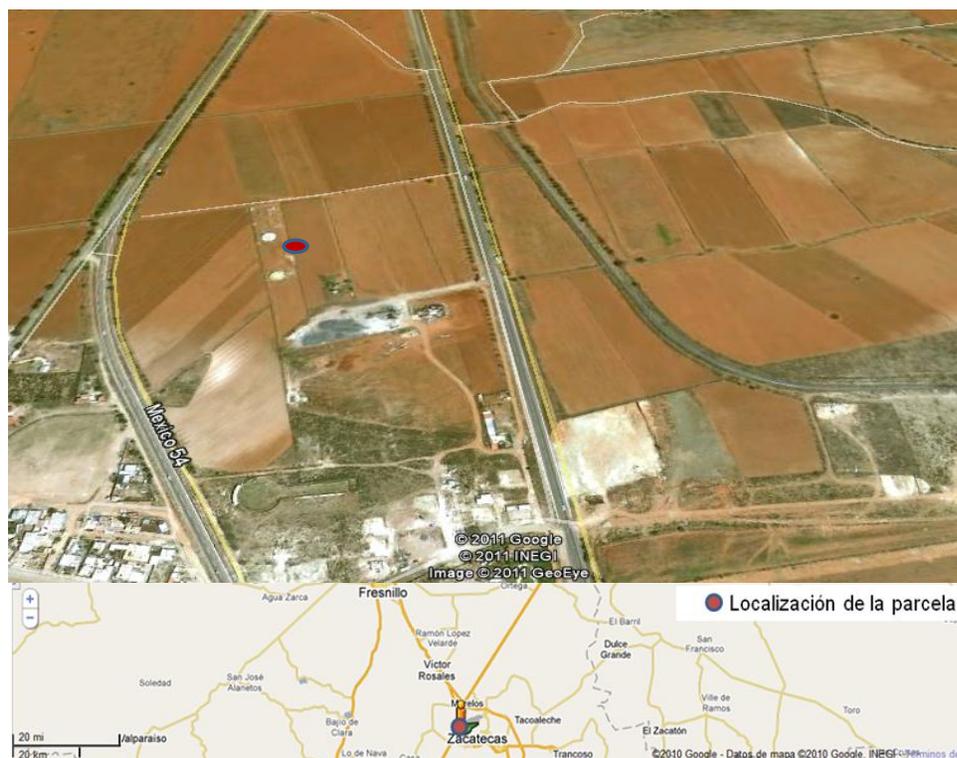


Figura 1. Localización del sitio del proyecto - Autopista Zacatecas - Fresnillo (Vista Noroeste-Sureste)

Datos climatológicos

- ✓ Velocidad del viento: 35 km/h
- ✓ Precipitación media: 420 mm
- ✓ Temperatura media anual: 18 °C
- ✓ Temperatura máxima promedio: 27°C
- ✓ Temperatura mínima promedio: 0

Tomado de la estación climatológica La Bufa, Zacatecas, Zacatecas.

Identificación y definición del usuario.

El propietario de la parcela es el Señor Manuel Escobar Valdés. Su parcela tiene las siguientes características:

- ✓ Superficie disponible: 7,000 m²
- ✓ Dimensiones: 200 m de largo por 35 m de ancho
- ✓ Pendiente del terreno: 1.5%
- ✓ Mecánica de suelos. Con el fin de contar con datos base confiables de la capacidad de carga del suelo y definir el nivel de la losa de fondo, se llevo a cabo una prueba de laboratorio, obteniendo una resistencia de 5 ton/m². Para el caso de la cisterna que nos ocupa, cuando esté llena de agua ejercerá sobre el suelo una carga de 2.5 ton/m². Para ello solo se desplantó una profundidad de 30 centímetros.

Componentes principales del proyecto

Como infraestructura experimental, en el sitio se tienen dos invernaderos con superficies de 1,000 metros cuadrados c/u, dos cisternas que almacenan 500,000 litros c/u, cuya fuente de abastecimiento es mediante la captación de agua de lluvia y un sistema de riego con una red de subirrigación en un estrato de 90 centímetros de profundidad impermeabilizado con geomembranas para evitar pérdidas por percolación profunda.

Los componentes principales del proyecto

Tabla 1. Componentes principales para la ejecución del proyecto

No	CONCEPTO	Características
1	Cisternas de almacenamiento de agua de lluvia	Capacidad 500,000 litros
2	Nave de invernadero	Superficie 1000m ²
3	Techumbre para invernadero	Protección y captación del agua de lluvia
4	Canaletas y conducciones	Recolección y conducción del agua de lluvia
5	Sistema de subirrigación	Red de tubería interna en el estrato de 1 metro

Caracterización de Cisterna de 500 m³

Descripción de la cisterna de 500m³.

La cisterna de 500m³ fue implementada mediante la técnica de muro capuchino. Esta técnica es muy atractiva, con gran potencial de uso, pues la reducción en costos y tiempos de implementación es considerable comparada con las otras técnicas convencionales; además, se facilitan los procedimientos constructivos. Es una cisterna provista de contrafuertes externos colocados a cada 2 metros de longitud sobre la periferia de la cisterna.

Tabla 2. Características generales de las cisternas de 500m³.

Diámetro de la cisterna	16.64 m
Diámetro hasta el anillo de refuerzo (con banda perimetral a la cisterna)	19.04m
Ancho de la banda perimetral donde cimentan los contra refuerzos	1.2m
Diámetro para cisterna y maniobras en el proceso constructivo	22m
Altura de nivel del agua	2.3 m
Volumen almacenado	503 m ³
Radio para la distribución de columnas	4.22 m
Número de columnas	8 ^(*)
Separación de columnas en todos sentidos	4 m
Altura de las columnas	3 m
Número de contrafuertes	27

(*)7 en el círculo interior y 1 al centro

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

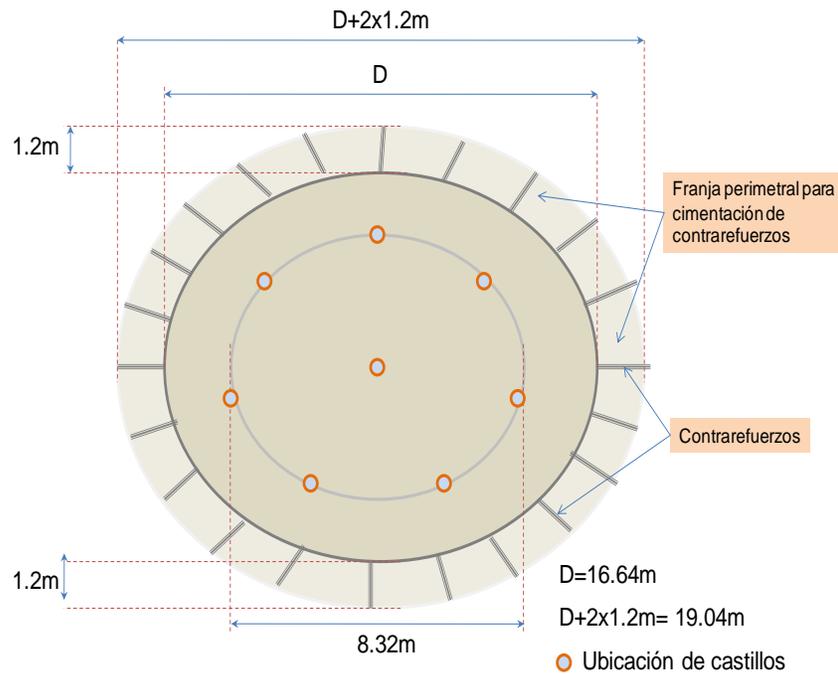


Figura 2. Esquema de la cisterna (ubicación de contrafuertes y castillos).

Son cisternas cilíndricas tipo capuchino, con diámetro de 16.64 m y altura de 2.4 metros, de fácil y rápida implementación, cuyos materiales principales (malla electro soldada, tabique, cemento, arena y grava) se encuentra disponibles en la región.

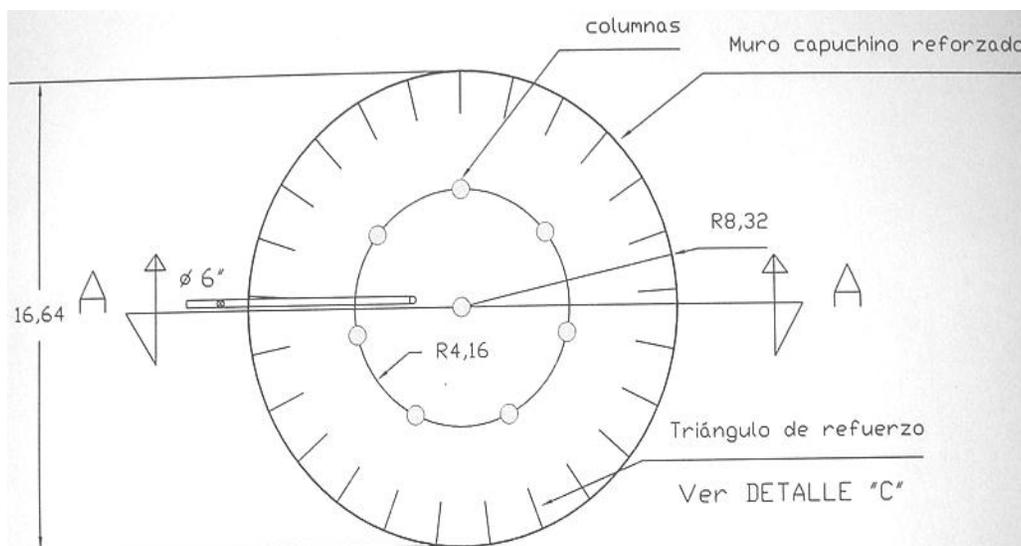


Figura 3.- Planta de una cisterna de 500 m³

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

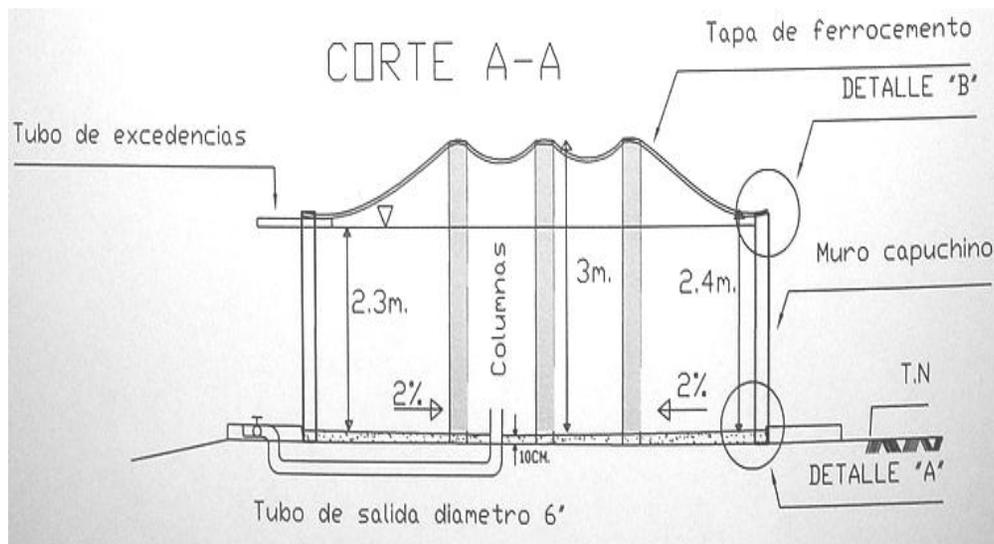


Figura 4. Corte de una cisterna de 500 m³

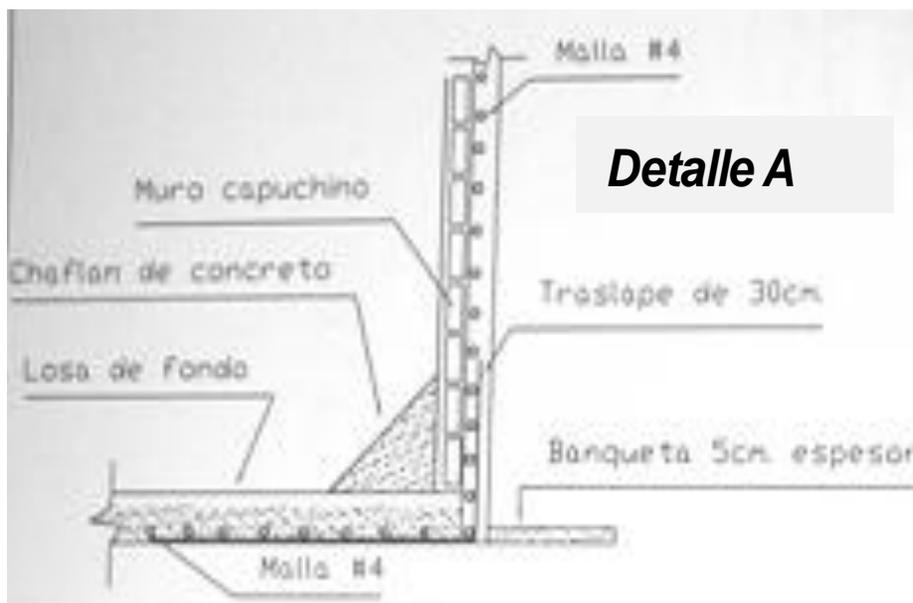
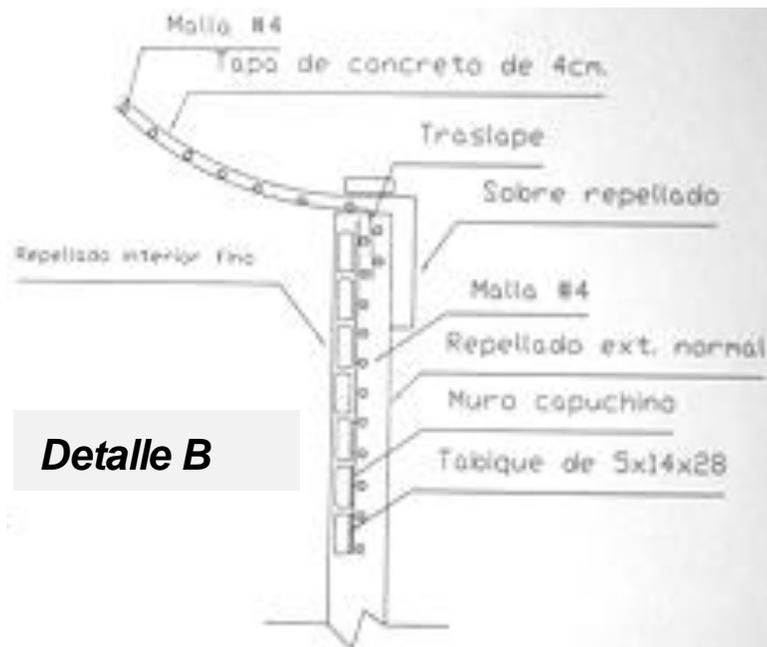


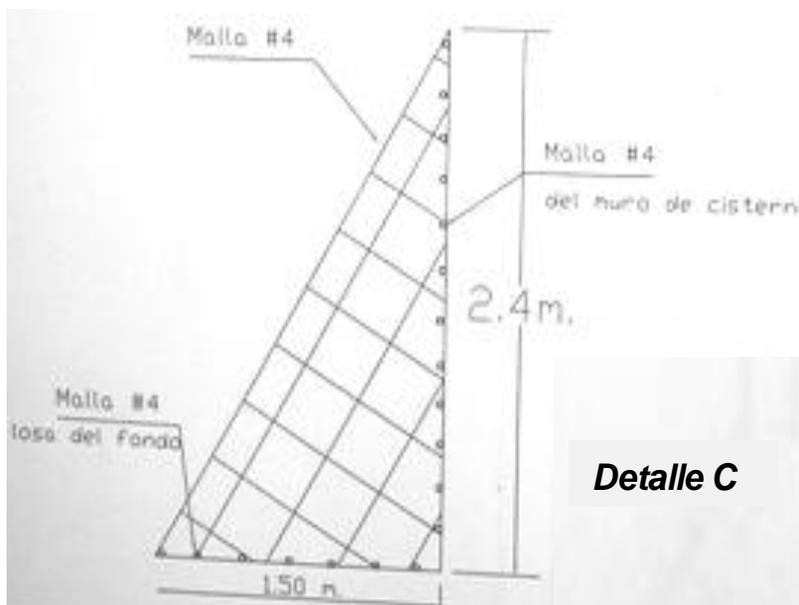
Figura 5. Detalles constructivos de la cisterna de 500 m³ (A).

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA



Detalle B

Figura 6. Detalles constructivos de la cisterna de 500 m³ (B).



Detalle C

Figura 7. Detalles constructivos de la cisterna de 500 m³ (C).

Caracterización del invernadero

Es un invernadero de dos módulos, con un área interna total de 1000 m², con dimensiones de 20 metros de ancho X 50 metros de largo. Adicionalmente, se dispone de una banda perimetral de 1 metro que sirve como área de circulación.

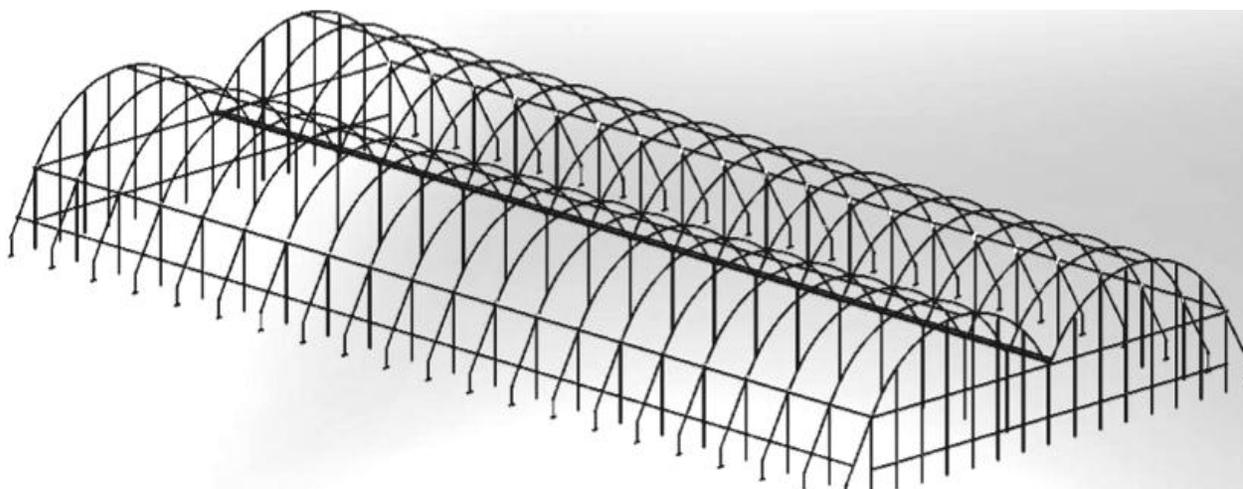


Figura 8. Estructura de invernadero propuesto.

A continuación los datos generales del invernadero

- ✓ Invernadero tipo familiar con ambiente semi controlado (insolación, viento y temperatura)
- ✓ Dimensiones: 20 x 50 m
- ✓ Superficie: 1000 m²
- ✓ Pendiente del terreno 1.5%
- ✓ Fuente de abastecimiento de agua: captación de agua de lluvia
- ✓ Área bajo el invernadero: 20 X 50 m (1000 m²)
- ✓ Altura de columnas en la parte alta del terreno: 2.5 m
- ✓ Altura de columnas en la parte baja del terreno: 4.5 m
- ✓ Ancho del túnel: 10 m de columna a columna
- ✓ Espaciamiento entre columnas: 2.5 m

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

- ✓ Altura de la malla antiáfidos (virus): 1.8 m
- ✓ Techo de plástico: C720UV2
- ✓ Canaleta de lámina galvanizada de sección trapecial con taludes 1:1 y base de 20 cm
- ✓ Pendiente de la canaleta hacia la cisterna: 1.5 %

Caracterización del sistema de subirrigación

Descripción del sistema de riego por subirrigación

La subirrigación consiste en la aplicación del agua a los cultivos a través de tubos enterrados en el subsuelo, de manera que la humedad llega a la raíz por ascenso capilar.

Consiste en el riego de plantas por medio del ascenso capilar, suministrando el agua desde el subsuelo. Para ello es necesario colocar tuberías subterráneas desde donde se suministra el agua.

El sistema de riego por Subirrigación permite evitar pérdidas de agua por percolación profunda; es decir, se trata de un sistema cerrado en el estrato inferior del suelo. Para evitar estas pérdidas de agua hacia los estratos inferiores del suelo, se colocó una frontera impermeable a 1 metro de profundidad mediante la instalación de una geo membrana impermeable en fondo y paredes. Esta barrera impermeable evita la pérdida de agua por percolación profunda y mantiene la humedad del suelo en el sistema radicular.

Con el sistema de subirrigación, el riego de cultivos se suministra desde el subsuelo a partir de una red interna de tubería subterránea en el estrato impermeable. El suministro del agua a la zona radicular se presenta por medio de ascenso capilar

Para el invernadero con el sistema de Subirrigación, se definieron dos módulos de 9x 49 metros. El sistema se compone por:

- ✓ Capa de suelo de 1 metro de profundidad para la zona radicular
- ✓ Red de subirrigación a través de tubería de drenaje con calcetín
- ✓ Geomembrana para detener las pérdidas por percolación profunda
- ✓ Tubos de observación del subriego
- ✓ Tuberías para suministro de agua conectadas a la cisterna

En las figuras siguientes se muestra el esquema y corte del sistema de Subirrigación.

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

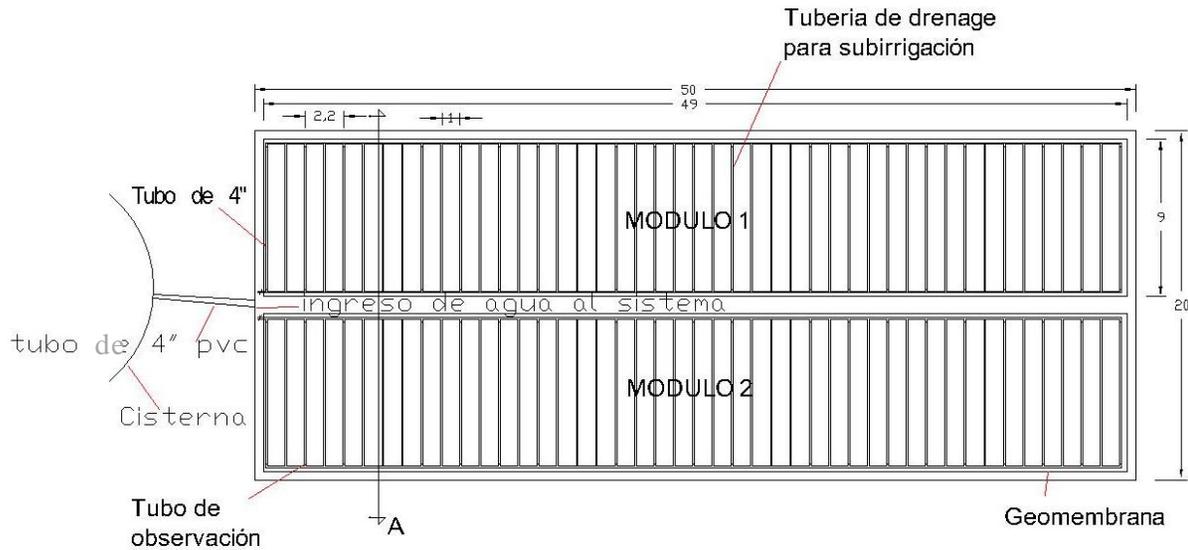


Figura 9. Vista de planta del sistema de subirrigación.

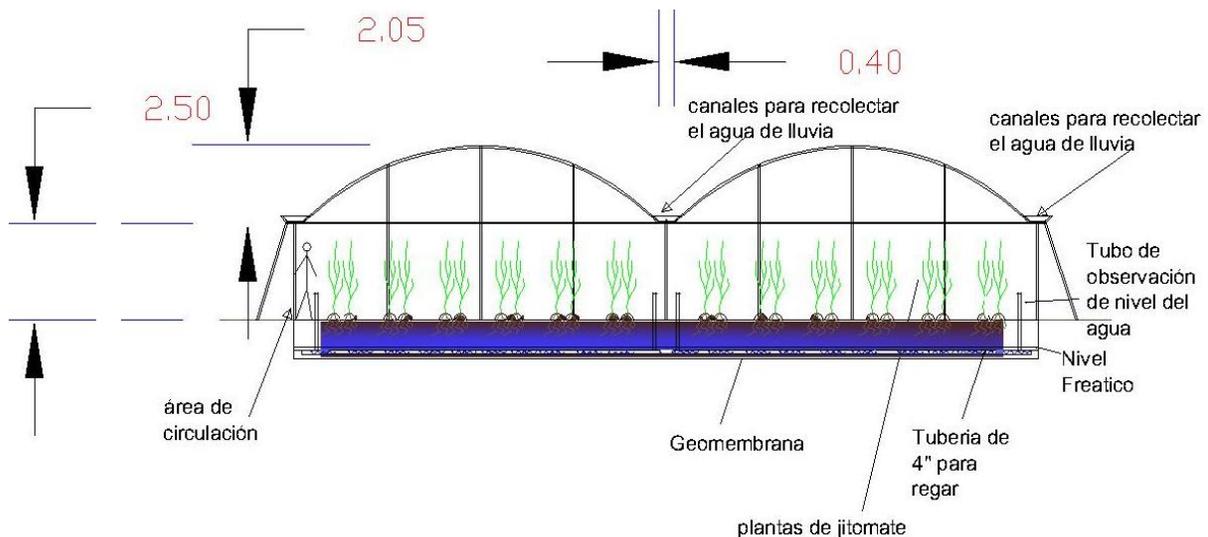


Figura 10. Corte del sistema de subirrigación

La fuente de abastecimiento de agua esta compuesta por una cisterna de 500 m³ que se encuentra cercana al invernadero. Esta cisterna ha sido llenada de agua mediante un sistema de captación y conducción de agua de lluvia desde los techos del invernadero. El agua para regar el invernadero se conduce y distribuye a las áreas de cultivo a través de una tubería de 4 pulgadas.

5. METODOLOGÍA

El proyecto se desarrolló en el estado de Zacatecas, con la participación de la Universidad Autónoma de Zacatecas “UAZ”, bajo la coordinación, asesoría y supervisión del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua “IMTA”.

El sitio seleccionado para la implementación del proyecto fue localizado siguiendo los siguientes criterios.

- ✓ Con fácil acceso para la supervisión
- ✓ Cercano a la Ciudad de Zacatecas con el fin de dar seguimiento durante el periodo de instalación y pruebas
- ✓ Con usuario dedicado a las labores del campo y dispuesto a que su predio fuera utilizado para hacer experimentación por un período de al menos 2 años vegetativos.

Para llevar a cabo el proyecto experimental se tuvo la siguiente participación.

Tabla 3. Participantes del proyecto

PARTICIPANTES EN EL PROYECTO:		
Nombre	Institución	Cargo
Dr. Nahun H García Villanueva	IMTA	Coordinador de hidráulica
M en I Luis Gómez Lugo.	IMTA	Jefe de Proyecto
M en I J Natividad Barrios Domínguez.	UAZ	Jefe proyecto

Las actividades del proyecto se desarrollaron bajo el siguiente protocolo y calendarización.

1. Preparación, adecuaciones y mantenimiento de infraestructura experimental
2. Diseño y planeación de las actividades experimentales
3. Desarrollo de las actividades experimentales
4. Resultados (análisis y discusión)
5. Elaboración de informes y materiales técnicos.

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

Tabla 4. Calendarización 2010

Actividad	Meses, 2010											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1			XXXX	XX								
2			XX	XXXX	XXXX							
3				XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XX		
4									XXXX	XXXX	XXXX	
5							XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX

Preparación, adecuaciones y mantenimiento de infraestructura experimental

La puesta en operación del sistema de Subirrigación fue el día 3 de mayo de 2010.

Personal requerido para su operación fue compuesto por:

- A. Coordinador responsable de la UAZ
- B. especialista en la producción del jitomate, Ing. Agrónomo
- C. becarios - tesistas
- D. personas de campo contratadas para el proyecto
- E. personas usuarios de los sistemas

Preparaciones en el invernadero de riego por subirrigación

Previamente a la puesta en operación del sistema se llevaron a cabo trabajos de movimiento y colocación de fertilizante orgánico (estiércol).

Se trazaron surcos a cada 1.7 m de ancho con cal, distribuyendo estiércol a razón de 200 kilogramos por cada 10 metros lineales. Posteriormente se revolvió homogenizando la mezcla.

Después de la mezcla de estiércol, se procedió a trazar de nueva cuenta y finalmente a preparar las líneas para la plantación ya que en el sistema por subirrigación no se utilizaron camas para el trasplante.

Por otro lado, se procedió, bajo recomendación del Ing. Agrónomo, a fumigar todos los rincones del invernadero con FURADAN, a través de un aspersor de mano libre. Esto con el fin de esterilizar y evitar presencia de plagas dentro del invernadero.

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA



Ilustración 1. Preparación del terreno bajo el invernadero

Adecuaciones en el invernadero de riego por subirrigación

Adecuaciones en el invernadero

En el invernadero se adecuaron las tuberías para el suministro de agua al sistema de Subirrigación colocando sus válvulas de control.



Ilustración 2. Tuberías de suministro de agua al sistema de subirrigación

Mantenimiento en el invernadero de riego por subirrigación

El día 10 de abril de 2010 una ráfaga de vientos rompió el hule del techo del invernadero del lado sur, poniéndolo inservible e imposibilitando con ello la puesta en operación en la fecha planeada. Las reparaciones se llevaron a cabo del 20 al 30 de abril de 2010.

Como parte del mantenimiento se llevaron a cabo trabajos de restauración de la malla antiáfidos y del hule del invernadero.



Ilustración 3. Daño y reparación de hule y malla antiáfidos.

Se llevaron a cabo trabajos de reemplazamiento de hule de techo de la nave, debido a que este fue deteriorado totalmente por una ráfaga de fuertes vientos ocurridos a principios de abril de 2010.



Ilustración 4. Podas y deshoje del cultivo de Jitomate

Como parte de las actividades de manejo de la plantación del cultivo de jitomate, se realizaron permanentemente trabajos de deshoja y poda. Esto para evitar la reducción drástica de la producción.

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

Diseño y planeación de las actividades experimentales

Diseño de las actividades experimentales

La ubicación de la nave del invernadero y la cisterna de 500 m³, se muestran en la siguiente figura de distribución.

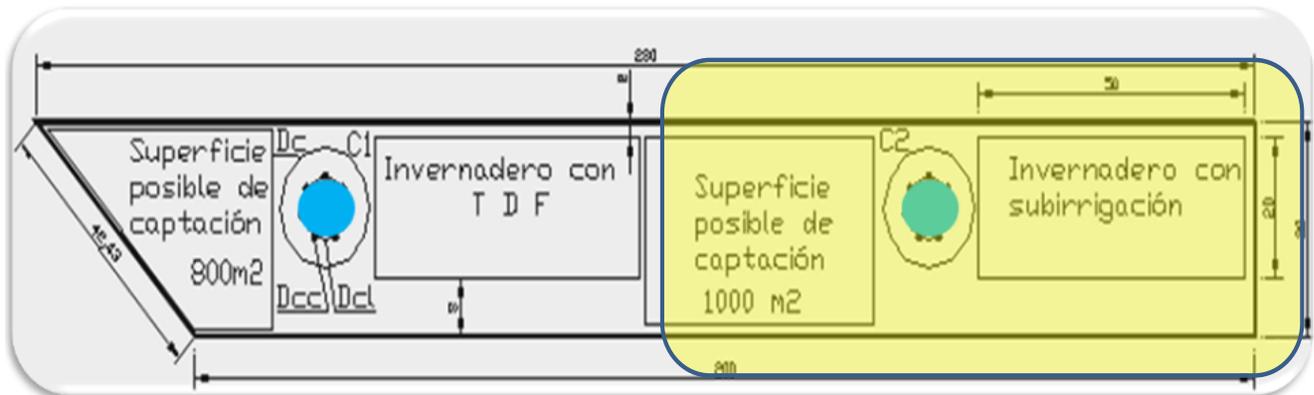


Figura 11. Ubicación de la nave del invernadero y cisterna del sistema por subirrigación

Planeación de las actividades experimentales

Se propuso que este proyecto se desarrollará en un sitio de Zacatecas, las actividades se definieron considerando los componentes principales del proyecto.

- Cisterna de 500 m³
- Invernadero de 1000 m²
- Sistema de subirrigación

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

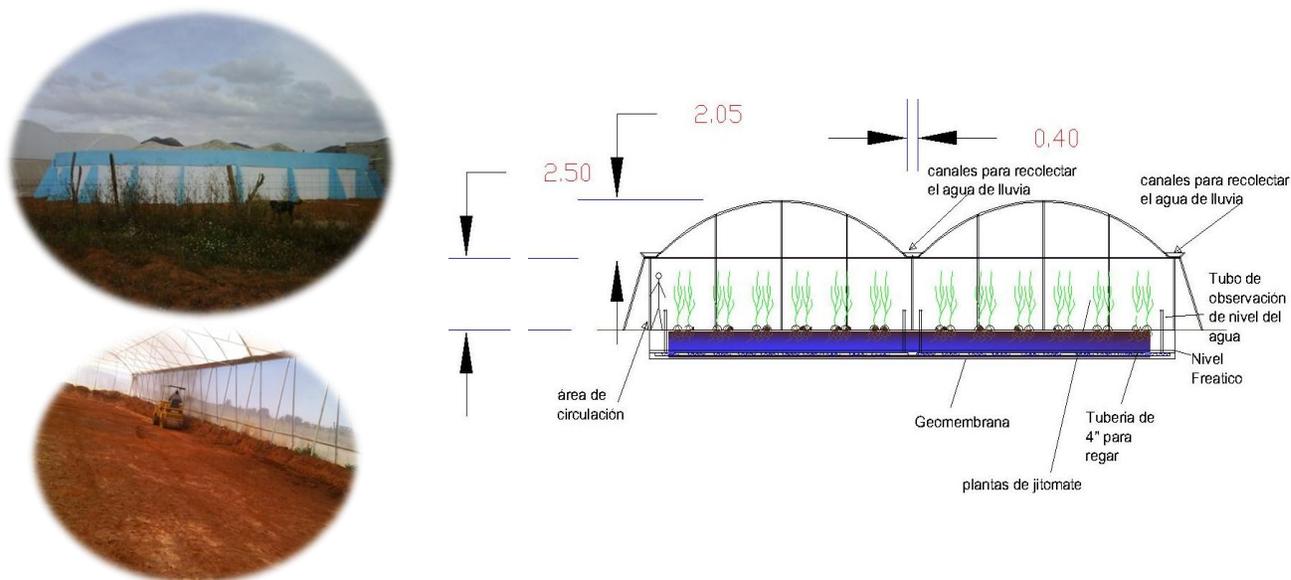


Figura 12. Cisterna e invernadero con sistema de Subirrigación

Tabla 5. Planeación de las actividades experimentales

Sistema	líneas	largo	Plántulas	Separación entre plantas	Caracterización
Subirrigación	12	48	3,400	40 cm	Dos módulos de 10 X 49 Frontera impermeable a 1 metro de profundidad con geo membrana y red de tubería interna

Equipamiento e insumos

Plántula

Con base en la planeación del proyecto, el cultivo que se utilizó fue el jitomate, por ser redituable y tener posibilidad de generar ingresos. Se mandó preparar este material con la empresa INV MEX constructora de Invernaderos y productora de hortalizas.

El total de plántulas utilizadas fueron 3,500 con las siguientes características.

- ✓ Planta: Jitomate CID Saladette
- ✓ Fecha de puesta de germinación: 19 de Marzo de 2010
- ✓ Lugar: Cuernavaca, Morelos
- ✓ Forma de germinación: En charola



Ilustración 5. Plántula de jitomate CID y trabajos preparatorios al trasplante

Fertilizantes e insumos

Por recomendaciones del especialista en manejo agrológico, se adquirieron los siguientes fertilizantes y fungicidas.

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

Tabla 6. Lista de fertilizantes y fungicidas para el invernadero

LISTA DE PRODUCTOS - INVERNADEROS DE LA PIMIENTA, ZACATECAS				
PRODUCTO	DESCRIPCION	INGREDIENTES ACTIVOS	INGREDIENTES INERTES	OBSERVACIONES
ROTAM	Fungicida sistémico y de contacto/Polvo humectable	Metalaxil, Clorotalonil	Portador, Dispersante.	
FURADAN	Insecticida y nematocida agrícola/Suspensión acuosa	Carbofuran	Agua, portadores sólidos, dispersantes, adherentes, agente espumante y colorantes.	
Kocide 2000	Fungicida y/o bactericida agrícola/Granulos dispersables	Hidroxido Cúprico	Diluyentes, Dispersantes, Surfactante, Control de PH, antiespumante y desintegrante	
Confidor	Insecticida agrícola/ suspensión concentrada	Imidacloprid	Diluyente, Dispersante, Espesante	
Foliar Calciboro	Evita necrosis, muerte de ápices; contrarresta pudriciones apicales durante el desarrollo de los frutos.	Calcio elemental 8% y Boro elemental 0,25%		
Proplant 720	Fungicida sistémico agrícola/ solución concentrada.	Propamocarb clorhidrato	agua	
INEX-A	Surfactante penetrante/Solución acuosa	Eter de polietilenglicol, Glicol con oxido de etileno, Dimetil polisiloxano	Diluyentes	
Tirano 200 C.E.	Insecticida/acaricida de uso agrícola/Concentrado emulsionable.	Cipermetrina	Solventes, emulsificantes	No indica que sea para jitomate
YODAL	Activador fisiológico	Yodo libre, surfactante	Diluyentes, acondicionadores	
ACROBAT	Fungicida de acción preventiva y antiesporante	Dimetomorf, Clorotalonil	Dispersante, Estabilizante, Antiespumante, Diluyente, Agente de suspensión	
Talstar Xtra	Insecticida-acaricida agrícola/concentrado emulsionable	Bifentrina, Abamectina	Solvente, Emulsificante	
Rooting	Biogenerador radicular/formulación líquida	Extractos de origen vegetal(Auxinas, vitaminas, citocininas, fósforo asimilable		
MAXIQUEL	Fertilizante quelatado de alto rendimiento para uso agrícola/ polvo soluble			
VIRUS STOP	Complejo inductor de resistencia anti-viral en plantas/solución líquida			
Agry-Gent Plus 800	Bactericida agrícola/polvo humectable	Sulfato de gentamicina, oxitetraciclina	Diluyentes, Humectantes, Dispersantes.	
Cercobin M	Fungicida agrícola/polvo humectable	Tiofanato metílico	Humectantes, Dispersantes	No indica que sea para jitomate
RALLY 40W	Fungicida agrícola/polvo humectable	Myclobutanil	Diluyente, portador, dispersante, humectante, bolsa soluble en agua	
MICRO FOS 700	Fertilizante foliar/cristales 100% solubles	Acido fosfórico neutralizado reforzado con Ácidos húmicos y extractos de origen vegetal		
Multi-Protek	Fertilizante sólido soluble	Fósforo 31% y Potasio 36%		No indica que sea para jitomate

Desarrollo de las actividades experimentales

Puesta en operación del Sistema de Subirrigación.

El Inicio de la operación del invernadero con Subirrigación fue el día 3 de mayo de 2010

Riego de Trasplante

Durante la planeación de la puesta en operación del sistema se decidió dar un riego ligero previo al trasplante de las plantas de jitomate ya que la planta en los primeros días requiere bajas cantidades de agua.

El día 1 de mayo de 2010, se colocaron cintillas en parejas, en cada cama de 1.5 metros. Aprovechando la carga hidráulica de la cisterna, de 2.4 m se llevó a cabo el riego de arranque del sistema.

NOTA: En el caso de hacer un riego ordinario se entregaría unos 100 m³ para humedecer todo el suelo confinado dentro de la geomembrana; es decir, todo el espesor del suelo de 1 metro, situación realmente innecesario por la pequeñez de la planta.

Trasplante de plántula de jitomate

Posterior al humedecimiento del suelo el día 1 de mayo de 2010 se realizó el trasplante del primer módulo del invernadero. El día 2 de mayo de 2010, se continuó con el trasplante en el segundo modulo habiendo terminado el día lunes 3 de mayo de 2010.

Riegos subsecuentes al riego de trasplante

Después del riego de trasplante, se llevaron a cabo los siguientes riegos diarios:

Tabla 7. Riegos subsecuentes al trasplante en el sistema de riego por subirrigación

Periodo	Tipo de riego y duración	Litros aplicados
4 al 9 de mayo de 2010	goteo durante 15 min	560
10 al 20 de mayo de 2010	goteo durante 30 min	1,115
21 al 25 de mayo de 2010	goteo durante 30 min	1,115

NOTA: Fueron riegos diarios durante el periodo mencionado

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

Estos riegos diarios originaron humedad excesiva, por ello el día 26 de mayo de 2010, fueron suspendidos durante tres semanas.

Se continuó con el riego hasta el día 19 de junio de 2010.

Tabla 8. Continuación de riegos subsecuentes al trasplante en el sistema de riego por subirriación

Periodo	Tipo de riego y duración	Litros aplicados
19 de junio al 5 de julio de 2010	goteo durante 40 min	1,490
6 al 18 de julio de 2010	goteo durante 1 hora	2,230

NOTA: Fueron riegos diarios durante el periodo mencionado



Ilustración 6. Trasplante y riegos por goteo primer etapa

Subriegos en el sistema de subirrigación (riegos capilares)

Primer riego capilar

A partir del 19 de julio de 2010, una vez de revisar la profundidad radicular de las plantas estando estas a una altura de 1.5 metros de crecimiento se consideró que era el momento de llevar a cabo el primer subriego.

Este riego se llevó a cabo durante el periodo del 19 al 23 de julio, suministrando a cada módulo del sistema la cantidad de 65 m³ de agua. Esto es, 130 m³ de agua para el sistema de subirrigación. Con este volumen se logró que la humedad ascendiera hasta la superficie del suelo.

El procedimiento utilizado para dar el primer subriego fue el siguiente:

1. Primero se abrieron totalmente las válvulas durante 15 min, para llenar la red de tuberías del sistema. Una vez llena,
2. Se cerro la válvula de cada modulo con el fin de encontrar experimentalmente, a base de prueba y error, el gasto que consume el suelo a través del humedecimiento capilar, manteniendo un nivel del agua en los tubos de observación de 40 centímetros debajo de la superficie del suelo. Esto se logró abriendo la válvula de 4 pulgadas solo una vuelta. El gasto promedio correspondiente a esta apertura fue de 1 l/s, calculado con base al volumen desalojado en la cisterna.
3. Una vez determinada la apertura de la válvula, se entregó permanentemente el gasto al sistema hasta que la humedad ascendiera por capilaridad hasta la superficie del suelo, en cantidad suficiente sin que se observara humedecimiento excesivo.

Para verificar el nivel freático, se cavaron 2 hoyos en cada módulo de 50 centímetros de profundidad como se observa en la siguiente ilustración.

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA



Ilustración 7. Primer riego capilar -avance de humedad desde el subsuelo.

Se pudo observar y comprobar que una vez establecido el nivel del agua en el subsuelo de 40 centímetros abajo de la superficie, se alcanzó el humedecimiento total del suelo.

Para avanzar en el conocimiento del comportamiento del riego capilar y en apoyo para controlar la humedad en el suelo, se instalaron tensiómetros a 30 centímetros de profundidad. En el momento en el que registra una tensión de cero la condición del suelo es conocida como suelo saturado, condición límite superior de humedad para el medio.

Segundo riego capilar

Se llevó a cabo durante el periodo del 12 al 14 de agosto repitiendo el procedimiento aplicado en el primer subriego. El llenado de la red de tubos se logró a los 15 minutos.

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

Posteriormente, para mantener el nivel del agua de 40 centímetros debajo de la superficie del suelo, el gasto suministrado fue de aproximadamente de 0.75 l/s correspondiente a una abertura de la válvula de 3/4 de vuelta.

El volumen aplicado por módulo fue de 45 m³, por lo que el volumen total consumido en el segundo riego fue de 90 m³ aproximadamente. El tiempo de riego de un módulo fue de aproximadamente 18 horas.

Los módulos se regaron por etapa, primero uno y después el otro por lo que el riego se llevo a cabo en dos días. El volumen de agua aplicado fue de 40 m³ menor que el primero riego, debido a que en el primero el suelo estaba prácticamente seco. En cambio, en el segundo, el suelo aún disponía de humedad, aunque no la suficiente para el crecimiento normal de las plantas, ya que se empezaban a observar señales de estresamientos.

Obsérvese que el tiempo transcurrido entre el primer subriego y el segundo, fue de 22 días (tres semanas), durante este periodo se realizaron observaciones del estado físico de las plantas y condiciones de humedad del suelo, además de relacionarlas con las lecturas del tensiómetro, al registrarse el valor de tensión superior a 40 es necesario proceder a dar el siguiente riego.

Las observaciones a las plantas permitieron detectar el momento en que se iniciaba un estado de stress hídrico derivado de la escasez de humedad del suelo. Con esta situación el momento para realizar el siguiente subriego. La experiencia durante este periodo fue que a los 22 días se presento un ligero estresamiento de la planta.



INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA



Ilustración 8. Pozo de observación, humedecimiento capilar, medición del PH y conductividad hidráulica,

Por la experiencia observada en el primero y segundo subriego, el tercer riego capilar fue realizado el día 28 de agosto de 2010, siguiendo el mismo protocolo del primer y segundo riego capilar.

Fertirrigación.

La fertilización se llevo a cabo diariamente a través de un inyector por gravedad que consiste simplemente en un tanque de 200 litros instalado de manera que la carga hidráulica proporcionado por este sea mayor de la carga hidráulica del flujo en las tuberías proporcionado por la cisterna.

La cantidad de fertilizantes que se aplicaron fue de 1.5 gr por litro de agua suministrada en cada riego. Por lo tanto durante los riegos se aplicaron las siguientes cantidades de fertilizantes.

La cantidad de agua y gramos de fertilizante se presentan en la tabla siguiente

Tabla 9. Cantidad de agua y gramos de fertilizante en la fertirrigación

Duración de riego	Litros aplicados	Cantidad total de fertilizante (gr)	Cantidad de fertilizante por modulo (gr)
15 min	560	840	420
30 min	1,115	1,673	836
60 min	2,230	3,345	1,673

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA



Ilustración 9. Tanque para Fertirrigación, tubos de observación y colocación de fertilizantes

Fertirrigación durante el primer subriego

Para aplicar los fertilizantes en el subriego se utilizaron los tubos de observación, con el fin de distribuir de mejor manera los fertilizantes en el subsuelo, la cantidad aplicada guardó la misma proporción de 1.5 gramos por litro de agua aplicada. Así, para el primer y segundo subriego:

Tabla 10. Cantidad de agua y gramos de fertilizante en la fertirrigación del primer subriego

Subriego	Litros aplicados	Cantidad total de fertilizante (gr)	Cantidad de fertilizante por modulo (gr)	Gramos por tubo
Primero	130,000	195,000	97,500	2,031
Segundo	90,000	135,000	67,500	1,406

NOTA: Se tienen 48 tubos de observación por módulo

Resultados (análisis y discusión)

Durante el 2010 se trabajó en una nave de invernadero de 1,000 m². El Invernadero conto con una red de subirrigación en un estrato de 90 centímetros de profundidad, impermeabilizado con geomembranas para evitar pérdidas por percolación profunda.

El proyecto experimental bajo condiciones controladas cuya fuente de abastecimiento fue el agua de lluvia, mediante la utilización de la superficie de captación del invernadero de 1,000 m² y un almacenamiento con capacidad de 500,000 litros, busco potenciar la investigación básica y aplicada en materia de sistemas de almacenamiento de agua de lluvia con fines de riego.

Con este sistema es posible desarrollar esquemas productivos bajo condiciones de invernadero en zonas áridas y semiáridas donde la precipitación es limitada, pero habilitando las superficies techadas de los invernaderos como áreas de captación de agua de lluvia se obtienen volúmenes suficientes para las necesidades hídricas de los cultivos.

El proyecto como desarrollo ofrece los elementos técnicos y económicos para implementar proyectos productivos en zonas áridas y semiáridas, cuyos resultados pueden resaltar la experiencia técnica y económica sobre la aplicación de sistemas de captación de agua de lluvia para el riego de invernaderos, la metodología de diseño para implementar cisternas de gran tamaño (500m³) y la metodología de diseño para implementar sistemas de subriego de pequeñas superficies bajo condiciones controladas.

Con el proyecto se tiene una alternativa tecnológica que permite impulsar el uso eficiente del agua y de espacios cultivados a pequeña escala, a fin de contribuir en la atención del déficit alimentario y en el desarrollo sustentable de los recursos hídricos del país.

Se obtuvo una producción de 27 ton/nave equivalente a 270 ton/ha.

Validando el conocimiento avanzado del sistema de riego, fue posible vincular y fortalecer las líneas asociadas a la captación y almacenamiento de agua de lluvia para riego, la subirrigación y el aprovechamiento eficiente de espacios para el desarrollo agrícola del país.

Con el proyecto bajo el concepto de producción bajo espacios protegidos, se visualizan las siguientes ventajas:

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

- Permite la producción a nivel familiar con baja inversión
- Permite ingresos a la familia rural propiciando su integración
- Evita la emigración de los habitantes rurales
- Evita la sobreexplotación de cuerpos de agua como los acuíferos permitiendo su recarga o la recuperación de lagos o lagunas
- Los costos del sistema de producción, invernadero- cisterna es más económico que los del sistema invernadero-pozo profundo.
- Se garantiza el llenado de la cisterna con el establecimiento de cuencas de captación aledañas implementando superficies impermeables móviles.
- Se puede programar un aprovechamiento parcial del invernadero, en caso de llenado parcial de la cisterna.
- No se requiere personal técnico especializado para la operación de los sistemas de riego, el de subirrigación y el de riego intermitente.
- La aplicación de fertilizantes no requiere de sistemas sofisticados para su inyección. El riego capilar aplica los fertilizantes por los pozos de observación.
- El agua de lluvia, antes de caer al suelo, no tiene propietario, después de caer si, lo que constituye un obstáculo para su aprovechamiento.

Implementar un proyecto de producción de este tipo tiene las siguientes fortalezas:

- El sistema de almacenamiento (cisterna con capacidad de 500 m³) es fácil de construir por los propios usuarios
- El invernadero puede ser construido con empresas de la región a costos accesibles
- Los costos globales del sistema son sustancialmente menores que cualquier otro con fuente de abastecimiento diferentes al agua de lluvia.
- Existen programas estatales y federales desde donde se puede apoyar el desarrollo de estos sistemas de producción.
- Se promueve la cultura de la pequeña empresa y con ello la de generación de empleos.

Algunas debilidades que se detectan son las siguientes:

- En caso de lluvia nula, se tiene volumen cero. En este caso extremo, se suspende la producción.
- Se requiere personal técnico especializado para el manejo agronómico del cultivo.
- Existe poca difusión del sistema productivo.

Se tienen más fortalezas que debilidades, es un sistema altamente FACTIBLE de aplicar en zonas áridas y semiáridas de México, y por supuesto en aquellas regiones de mayor precipitación.

CONCLUSIONES

Como parte de la investigación, el desarrollo, la transferencia y apropiación de nuevas tecnologías en materia de agua y producción de alimentos, el IMTA, en coordinación con la Universidad Autónoma de Zacatecas, ha logrado generar tecnología útil para solucionar los grandes retos y rezagos que enfrentan los productores de las zonas áridas y semiáridas de nuestro país.

Un sistema de captación de agua de lluvia en invernaderos constituye una alternativa técnica y económicamente viable para utilizarse como solución a la problemática de la escasez de agua, es una de las oportunidades de inversión para zonas áridas cuyo potencial agrícola ha sido considerado por muchos años muy limitado. Sin embargo, un proyecto de inversión en esta línea, debe incluir todos los elementos que el exigente mercado internacional está fijando, para retribuir con los precios adecuados los productos de esta actividad.

Así mismo, podemos concluir que es factible construir invernaderos en cualquier zona, el resultado de este experimento demuestra que es altamente factible la construcción de invernaderos rurales (familiares) y con ello la generación de empleos.

Con respecto a lo ecológico, esta alternativa tecnológica ofrece grandes posibilidades de eliminar la perforación de pozos y permitir la recuperación de acuíferos.

Como conclusiones del estudio se destacan los siguientes puntos:

- El sistema de almacenamiento cisterna de gran capacidad es fácil de construir por los propios usuarios
- El invernadero puede ser construido con empresas de la región a costos accesibles
- Los costos globales del sistema son sustancialmente menores que cualquier otro con fuente de abastecimiento diferentes al agua de lluvia.
- Existen programas estatales y federales desde donde se puede apoyar el desarrollo de estos sistemas de producción.
- Se promueve la cultura de la pequeña empresa y con ello la de generación de empleos.

Algunas recomendaciones que deben contemplarse para ampliar los estudios desarrollados son las siguientes:

- Es importante mencionar que no se debe descuidar en un proyecto de este tipo, el aspecto del mercado donde se colocará el producto, con el fin de lograr el éxito total.
- Es conveniente seguir investigando el aspecto arquitectónico y estructural del invernadero con el fin de desarrollar alternativas económicas sin descuidar la seguridad estructural.
- Se recomienda seguir trabajando sobre el uso y manejo del agua en un invernadero con el fin de consolidar alternativas técnicamente mejores que las actuales. Se puede experimentar con distintos sistemas de riego para hacer una comparación entre ellos y establecer cuál sería el mejor según las conveniencias de cada proyecto.

ANEXOS

INFORMACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA SOBRE LA APLICACIÓN DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA PARA EL RIEGO DE INVERNADEROS.

A). INFORMACIÓN TÉCNICA

Como parte de la información técnica se debe contar con información general del sitio sobre los siguientes aspectos

1. Del terreno

Se debe de contar con un plano en planta de la parcela de donde se implementará el sistema de captación con techo de invernadero, a escala lo suficientemente grande para que sea clara su interpretación, por ejemplo, 1:500 o 1:200.

El plano debe estar debidamente referenciado (norte magnético). Se debe contar además, con un plano con la topografía del lugar, con curvas de nivel a cada 20 centímetros, debido a que la pendiente del suelo debe ser fácilmente identificable, para caso en estudio se recomienda no sobrepasar el 3%.

2. Del suelo

El suelo debe ser apto para la plantación de hortalizas, tales como jitomate, calabacita, chile, pepino, etc. Para ello, debe realizarse un estudio del suelo identificándolo en alguna clasificación de suelos, caracterizarlo según el triángulo de texturas y obtención de parámetros físicos.

También se debe determinar el contenido de nutrientes como fosforo, potasio, hierro, manganeso, etc. Para ello se puede contratar los servicios de laboratorios especializados de las escuelas de agronomía y empresas técnicas para realizar en análisis de fertilidad de los suelos.

Se requiere conocer la curva de infiltración para el diseño agronómico y programación de riegos.

3. De la climatología

Los datos climatológicos como la precipitación es información importante para el diseño de un sistema de captación de agua de lluvia, los vientos y temperatura es información importante para el diseño del invernadero y sistema productivo.

Aunque en el medio rural se tiene terrenos suficientes para considerarlo como área de captación. La idea es que el techo del invernadero sea suficiente para captar el agua necesaria para llevar a cabo, al menos un periodo vegetativo. Así por ejemplo, si se aplica la tecnología a un sistema de captación para la producción de jitomate, se requiere de al menos una precipitación media de 450 mm al año para almacenar en la cisterna de 500 m³. Entre el techo del invernadero y de la cisterna se completa la superficie de captación mínima requerida para implementarse un invernadero de 1000 m², como el implementado en Zacatecas.

Por lo anterior, los datos climatológicos importantes para el diseño son los siguientes

- Velocidad del viento.
- Precipitación media mensual y anual.
- Evaporación media mensual.

Nota: datos representativos de la zona

B). INFORMACIÓN ECONÓMICA

La información requerida para el análisis de costos, factibilidad y escenarios de recuperación es la siguiente.

1. De la mano de obra

- Maestro albañil y peones (implementación de cisternas)
- Armadores y soldadores (implementación del invernadero)
- Operadores del invernadero (mantenimiento, labores de cultivo y cosecha)

Los salarios de la mano de obra en cada rubro deben ser investigados y depende de cada región.

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

2. De los costos de materiales

Deben ser investigados los costos de los siguientes materiales:

- Cemento
- cal
- arena
- grava
- pintura
- tabique rojo
- válvula de 2 pulgadas
- Tuberías y elementos de PVC
- malla electro soldada del No. 4

Se puede hacer una programación de materiales en función de la etapa de implementación como la figura que se presenta a continuación

Etapas constructivas	Porciones de material por etapa							Rendto	Cantidades de material por etapa							
	Mortero		Cemento		Arena Botes		Tabique		Mortero	Cemento		Arena Botes		Grava Botes		Tabique
	Bultos	Bultos	LI	LS	LI	LS	Pieza	m2	Bultos	Bultos	LI	LS	LI	LS	Pieza	
Colado de Piso - losa	0	1	4	6	3	5	0	0.60		25.5	101.8	152.7	76.4	127.3		
Pegado de Tabique	1	0	4	6	0	0	0	0.20	11.1		44.3	66.5	0.0	0.0	1699.0	
Repellado interno 1er capa	1	0.25	4	6	0	0	0	0.15	8.3	2.1	41.6	62.3	0.0	0.0		
Repellado interno 2da capa	1	0.25	4	6	0	0	0	0.15	8.3	2.1	41.6	62.3	0.0	0.0		
Lechada interna 3er capa	0	1	0	0	0	0	0	0.15		8.3	0.0	0.0	0.0	0.0		
Repellado interno 4ta capa	0	1	4	6	0	0	0	0.15		8.3	33.3	49.9	0.0	0.0		
Lechada interna 5ta capa	0	1	0	0	0	0	0	0.15		8.3	0.0	0.0	0.0	0.0		
Repellado externo 1er capa	1	0.25	4	6	0	0	0	0.15	8.3	2.1	41.6	62.3	0.0	0.0		
Repellado externo 2da capa	1	0.25	4	6	0	0	0	0.15	8.3	2.1	41.6	62.3	0.0	0.0		
Colado del castillo central (sonotubo)	0	0	4	6	3	5	0	1.30		3.9	15.6	23.4	11.7	19.5		
Colado del techo	0	0	4	6	3	5	0	0.40		17.0	67.9	101.8	50.9	84.9		
										44.3	79.6	429.2	643.7	139.0	231.6	1699.0
										2.2	4.0	8.6	12.9	2.8	4.6	1699
										Ton	Ton	M ³	M ³	M ³	M ³	pieza

Figura 13. Ejemplo de programación de materiales para la implementación de una cisterna

Nota: Se deben investigar mediante cotizaciones el costo de las cisternas e invernaderos de las dimensiones requeridas.

El costo de un invernadero de 1000 m² oscila entre \$ 200,000 Y \$ 300,000 dependiendo de la región.

3. De los costos de insumos (fertilizantes, insecticidas y fungicidas).

Se debe investigar los costos de los fertilizantes e insecticidas que sean necesarios de aplicar en el invernadero.

Tabla 11. Ejemplo de control de fertilizantes, insecticidas y fungicidas

Nombre del producto	Dosis recomendada	\$ unitario	Cantidad utilizada	\$ total	Datos del proveedor
X	Lt/ha	\$\$\$.\$\$	Lt	,\$\$\$\$.\$\$	Ing. Contreras. Col. Solidaridad 450, delegación Gustavo Madero. DF. 55 512 41 18
Y	Kg/ha	\$\$\$.\$\$	Kg	,\$\$\$\$.\$\$	
Z	Kg/ha	\$\$\$.\$\$	Kg	,\$\$\$\$.\$\$	

Los costos del sistema productivo incluyendo la cisterna, los elementos de captación y conducción del agua de lluvia, el invernadero y la operación y mantenimiento son los siguientes:

Resumen de costos

➤ Costo de la cisterna sin M de O:	\$ 138,420.00.00
➤ Costo de la Mano de Obra:	\$ 60,000.00
➤ Costos del agua:	\$ 0.0
➤ Costo del invernadero de 1000 m ² :	\$ 200,000.
➤ Costo Cisterna y sistema SCALL:	\$ 198,420.00
➤ Costo del invernadero de 1000 m ² :	\$ 200,000.00
➤ Costo del invernadero:	\$ 200,000.00
➤ Excavación y terraplén:	\$ 80,000.00
➤ Geomembrana:	\$ 65,000.00
➤ Tubería de subirrigación:	\$ 90,000.00
➤ Tubería, válvulas y bombas:	\$ 15,000.00
➤ Total del sistema de subirrigación:	\$250,000.00

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

- Costo de plántula: \$ 8,000.00
- Costo de fertilizantes químicos y estiércol: \$ 30,000.00
- Costo de asesoría técnica: \$ 30,000.00
- **Operación y mantenimiento \$68,000.00**

Producciones:

- Cosechada en sistema de subirrigación: 27 ton
- Precio del jitomate en promedio del ciclo: \$ 7.00/kg.
- Recuperación de la inversión por sistema de riego: \$ 189,000

Tabla 12. Resumen de costos de los sistemas productivos

Sistema	Cisterna y M. O.	Invernadero	Costos del sistema de riego	Costo Subtotal
Subirrigación	\$ 198,420	\$ 200,000	\$ 250,000	\$ 648,420
Operación y mantenimiento (ambos sistemas)				\$ 68,000
Costo total del sistema				\$ 716,420

Escenarios de recuperación de la inversión

Considerando el rendimiento obtenido 27 toneladas y el precio del jitomate de \$7/kg, la inversión se recuperaría en 3.8 ciclos. ($3.8 \times \$189,000 = \$716,420$).

Tabla 13. Resumen de escenarios de recuperación de la inversión (27 toneladas)

Precio/kg	Ingreso	No de ciclos para recuperación
7	189,000	3.8
8	216,000	3.3
9	243,000	2.9
10	270,000	2.7
11	297,000	2.4
12	324,000	2.2
13	351,000	2.0
14	378,000	1.9
15	405,000	1.8

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

Sin embargo, un análisis de factibilidad requiere la amortización del sistema, obtener la relación beneficio costo y hacer proyecciones considerando la inversión inicial.

Como este proyecto es experimental y tiene una componente altamente social, las variables sociales deben tomarse en cuenta para determinar la factibilidad del proyecto.

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN APLICADOS A ESQUEMAS PRODUCTIVOS A PEQUEÑA ESCALA.

INTRODUCCIÓN.

La Subirrigación consiste en el riego de cultivos por medio del ascenso capilar, suministrando el agua desde el subsuelo.

Para evitar pérdidas de agua hacia los estratos inferiores del suelo, se debe colocar una frontera impermeable a un metro de profundidad mediante la instalación de una geomembrana en fondo y paredes. Esta pantalla impermeable evita la pérdida de agua por percolación profunda. Al interior del estrato y encima de la geomembrana se coloca una red de tubería subterránea a fin de suministrar el agua a las plantas que se cultivaran en el invernadero (riego por capilaridad).

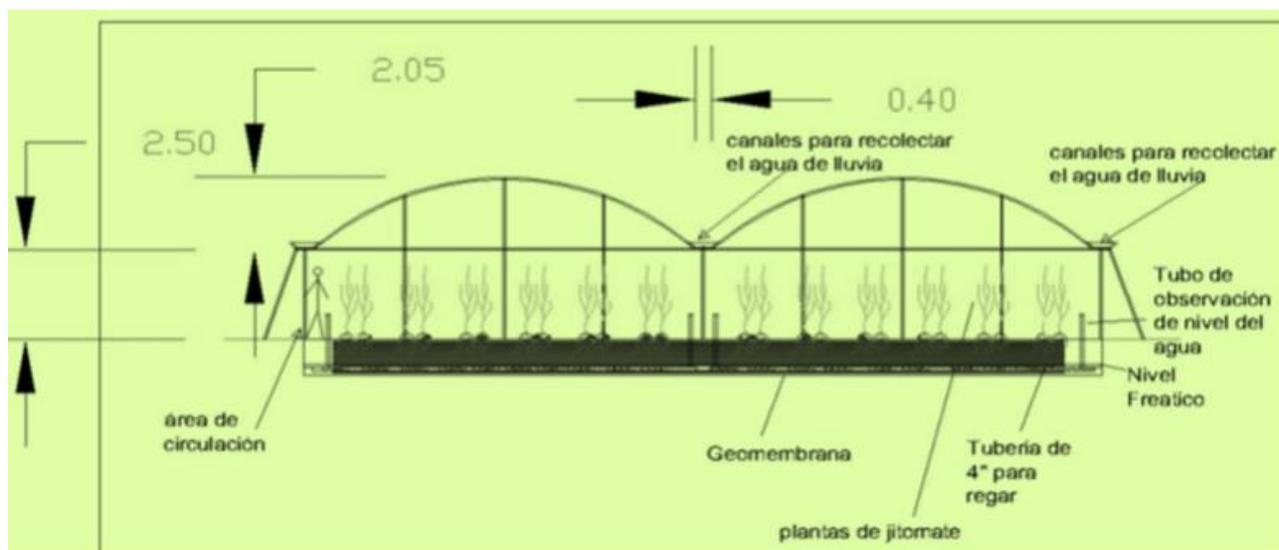


Figura 14. Vista en corte transversal del sistema Subirrigación

La fuente de abastecimiento de agua debe ser un almacenamiento ubicado cercano al invernadero.

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA



Ilustración 10. Ejemplo de almacenamiento de agua de lluvia y suministro de agua al sistema de subirrigación en un invernadero.

Se pueden hacer divisiones en módulos o secciones al interior del invernadero con la finalidad de distribuir el agua de manera adecuada y con mayor facilidad; además, de tener un manejo de cultivo mas eficiente.

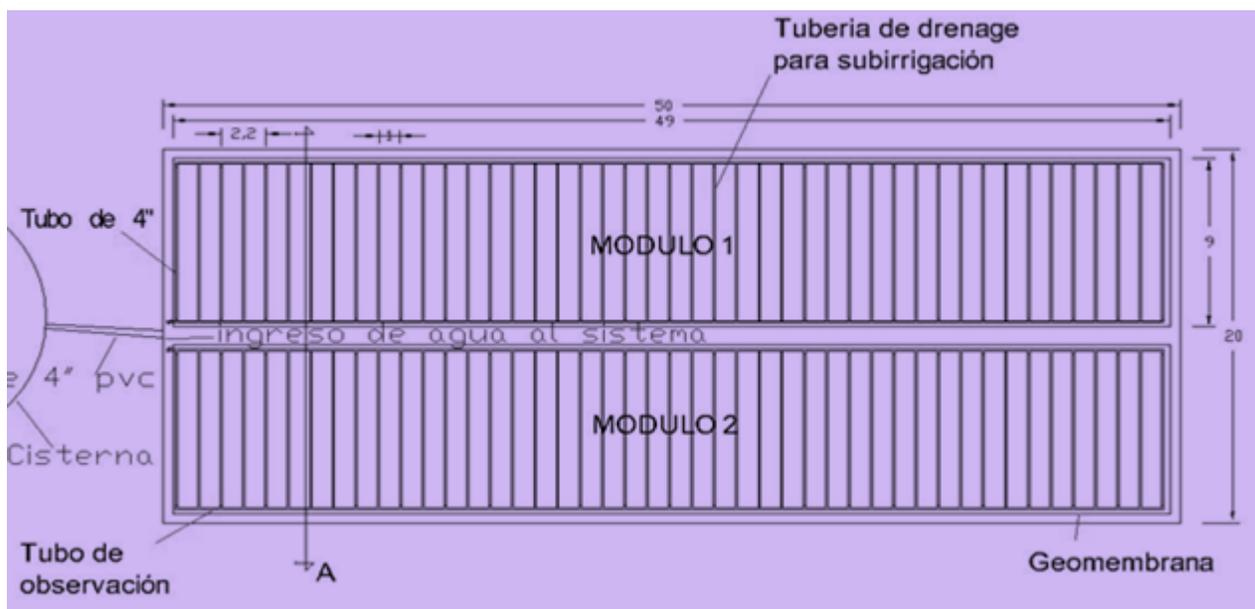


Figura 15. Ejemplo - Vista en plana del sistema Subirrigación

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

En la figura anterior se muestra la división de un invernadero de 1,000 m² en dos módulos de 49 X 9 metros. A un costado se muestra un almacenamiento que recoge el agua de lluvia captada en la superficie del techo del invernadero.

MATERIALES Y EQUIPO UTILIZADO PARA LA INSTALACIÓN.

Materiales

- 6 tramos de Tubería sanitaria reforzada de 4 pulgadas y piezas especiales
- 3 válvulas de compuerta de 4 pulgadas
- 1000 m de tubería de drenaje agrícola con calcetín
- 1 rollo de cintilla para goteo de baja carga
- 18 m³ de estiércol para fertilización
- 2 geo membrana de 51 m de largo por 11 de ancho

Equipo

- Equipo topográfico, tránsito y nivel
- Cargador frontal para movimiento de grandes volúmenes de tierra
- Rodillo para apisonamiento
- Camiones para traslado de tierra y estiércol

PROCESO DE INSTALACIÓN

Trazo de módulos de Subirrigación.

Con el fin de llevar a cabo el movimiento de tierras dentro del área del invernadero, se delimitan los módulos al interior del invernadero, esos deben ser definidos en función del arreglo longitudinal y transversal, así como del número de columnas que soportan la estructura del invernadero. En el contorno de cada modulo se recomienda dejar 0.5 metros con el fin de no afectar la cimentación de las columnas.

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

Movimiento de tierras.

La pendiente del suelo debe ser plana dentro del invernadero.

A continuación la descripción de caso de estudio (estudio experimental de Zacatecas, 2010).

Pendiente a lo largo del invernadero: 1.5%

Por lo tanto una diferencia entre los dos extremos de 0.75 metros, para lograr una plantilla uniforme en toda el área del módulo de 49 por 9 fue necesario cortar 1.0 metro en el extremo mas alto y 0.25 metro en el extremo mas bajo. Con lo anterior, se forma una capa de suelo 1 metro de profundidad. En este caso, el volumen excavado fue de 275 m³ de tierra, equivalentes a 358 m³ considerando un coeficiente de abundamiento de 30 por ciento aproximadamente.

Se debe realizar un desplazamiento temporalmente del suelo del modulo 1 al modulo 2, necesario para dar oportunidad a la colocación de la geo membrana sobre la superficie horizontal afinada perfectamente y sobre ella la tubería de Subirrigación.



Ilustración 11. Movimiento de tierras

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

Una vez desplazado, nivelado y afinado el fondo y paredes del módulo 1, se procede a la colocación de la geo membrana y sobre esta, la tubería de Subirrigación. Así mismo, después de colocar y nivelar la geo membrana, el material desplazado temporalmente al módulo 2, se traslada al modulo 1 ya con geo membrana y tubería de Subirrigación.

Una vez terminado de terraplenar con el mismo suelo del invernadero sobre la geo membrana del módulo 1, se procede a repetir el proceso en el módulo 2, por la uniformidad de la parcela las cantidades de corte y terraplén son aproximadamente las mismas en cada modulo.

Colocación de la geo membrana.

Una vez preparada el área a impermeabilizar, considerando que las paredes verticales a impermeabilizar son de 1 metro, la geo membrana a utilizar debe ser 2 metros mas larga y 2 metros mas ancha que las dimensiones del área a impermeabilizar, estas dimensiones garantizan el recubrimiento de las paredes sobre el contorno del sistema de Subirrigación.

Las piezas de geo membrana deben ser adquiridas con una empresa especializada en la fabricación de este tipo de materiales, se recomienda un espesor de 0.8 mm, con una duración garantizada a la intemperie de 15 años y en el subsuelo de unos 30.

Una vez desenvuelta la geo membrana, sólo es necesario tirar a lo largo del piso afinado y con un hilo y nivel, se ajusta y nivela perfectamente.



Ilustración 12. Colocación de la geo membrana

Instalación de la tubería de Subirrigación.

Una vez colocada la geo membrana sobre el piso, se procede a instalar la tubería de Subirrigación. Se recomienda utilizar tubería para drenaje agrícola con calcetín de 4 pulgadas, el calcetín sirve para evitar el taponamiento de las perforaciones que tiene el tubo a lo largo de su longitud por el mismo suelo cuando se recubre o se terraplena sobre él. Con este calcetín permeable se garantiza el ingreso y egreso del agua sin obstrucciones durante los años de funcionamiento.

La tubería de Subirrigación se instala a lo largo del invernadero, colocando los tubos a un metro de separación uno de otro para garantizar el ascenso capilar de manera uniforme, estos tubos transversales se conectan a través de Tees especiales a la tubería perimetral del sistema. También se deben instalar con el mismo material y a cada 2 metros de separación tubos verticales de observación de los niveles del agua en el sistema subterráneo.



Ilustración 13. Colocación de la red de tubería subterránea

A través de estos tubos se calibra el gasto que se debe aplicar sin que se derrame el agua y se monitorea el nivel freático dentro del sistema para mantener en óptimas condiciones de humedad a las plantas.

Cantidades utilizadas de tubería y piezas especiales en cada uno de los módulos

En el caso del experimento de Zacatecas un invernadero de 1,000 m² con 2 módulos de 49 x 9 c/u, las cantidades recomendadas son:

Tabla 14. Resumen materiales de tubería y piezas especiales en cada uno de los módulos de subirrigación

Concepto	Cantidad	Posición
Tubería de drenaje con calcetín de 4 pulgadas	441 m	sentido transversal
Tubería de drenaje con calcetín de 4 pulgadas	116 m	perimetral
tees especiales de 4 pulgadas	88	para la red
tees especiales de 4 pulgadas	90	tubos de observación a 2 metros

El procedimiento de instalación del tubo de Subirrigación es sencillo, requiere solamente un ensamblaje de la piezas. Con un ligero empuje manual se enganchan las piezas especiales con los tramos de tubo.

A pesar que la resistencia a la deformación de la tubería es buena, es débil a la compresión externa excesiva, por ello es necesario tener especial cuidado al colocar la tierra sobre los tubos cuando se lleva cabo con maquinaria.

No obstante, para eliminar riesgo de colapso de la tubería al pasar el cargador frontal durante los trabajos, se deben hacer pruebas de resistencia cuando se pasa un equipo pesado sobre el terraplén con tubería enterrada, y comprobar que una capa de suelo de 70 centímetros es suficiente para circular sobre el tubo sin que registre deformaciones.



Ilustración 14. Paso de maquinaria sobre el terraplén

INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

Instalación de las líneas de abastecimiento de agua al sistema de Subirrigación.

Los módulos del invernadero deben tener sistemas de Subirrigación independientes de manera que la aplicación de agua durante un subriego puede llevarse a cabo simultáneamente o de manera independiente. Esto se logra controlando el agua mediante válvulas de control de flujo instaladas para cada sistema. El agua se debe extraer desde un almacenamiento implementado para tal fin a través de un tubo de 6 pulgadas. Mediante una reducción de 6 a 4 pulgadas se entrega el agua a través de un tubo de 4 pulgadas controlado por las válvulas mencionadas.

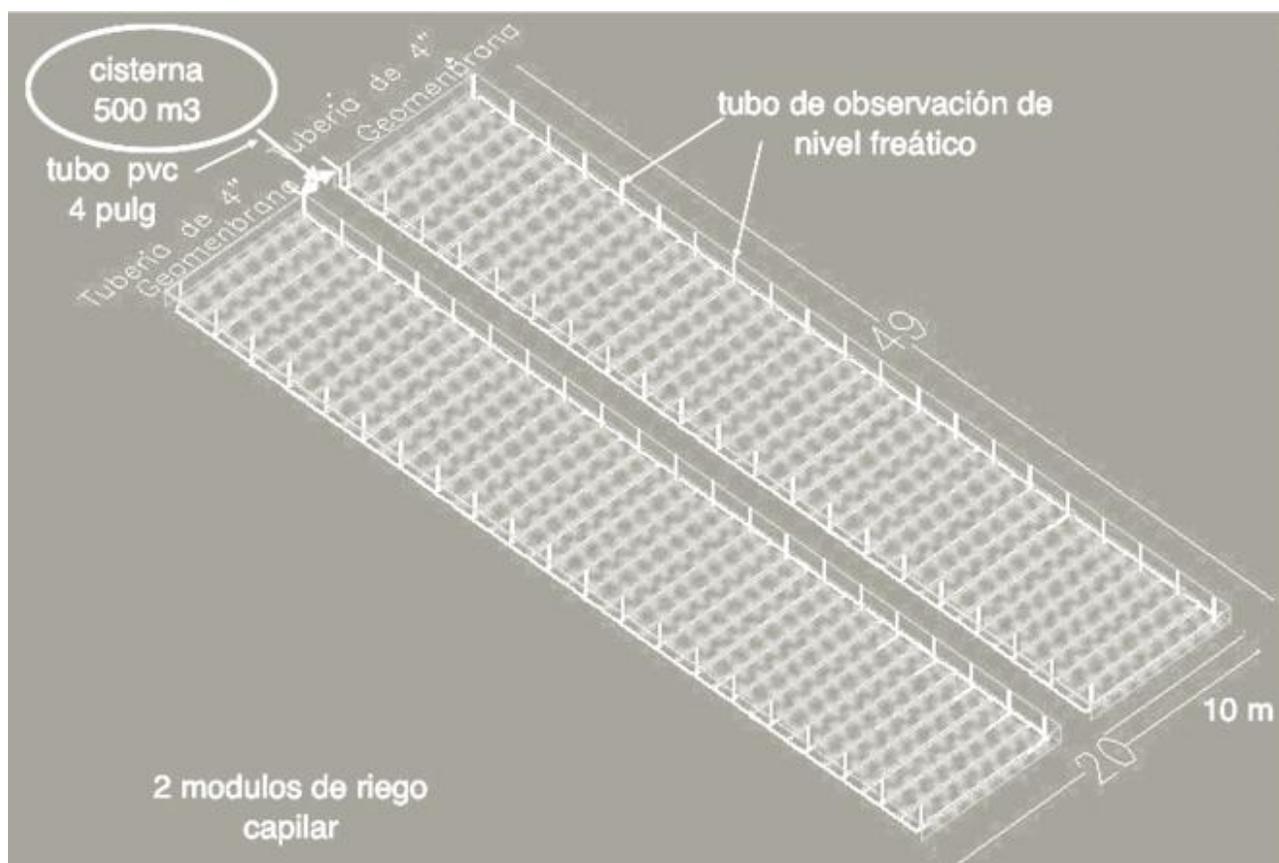


Figura 16. Perspectiva del sistema por subirrigación terminado

EXPERIENCIA Y RECOMENDACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA PRODUCTIVO VALIDADO

EXPERIENCIA

Descripción

El documento del proyecto Invernaderos rurales abastecidos con Agua de lluvia y equipados con sistemas de subirrigación controlada presenta la información asociada a los trabajos experimentales realizados en Zacatecas, Zacatecas. En el sitio, se han construido dos invernaderos de 1,000 m² cada uno y dos cisternas de 500 m³ de capacidad. La superficie techada de cada invernadero es aprovechada como área de captación de agua de lluvia. El agua recolectada se conduce y almacena en estas grandes cisternas para el cultivo intensivo de jitomate. Ambos invernaderos cuentan con sistemas de riego controlado.

Un invernadero y una cisterna fueron utilizados para desarrollar el proyecto con sistema de riego por subirrigación, que constituye un sistema que busca obtener las más altas eficiencias del uso del agua para riego.

Objetivo y alcances

El objetivo del trabajo se ha orientado a potenciar la investigación básica y aplicada en materia de sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia con fines de riego eficiente para invernaderos en zonas áridas y semiáridas de México. Asimismo, desarrollar las bases metodológicas para el diseño y operación de invernaderos equipados con sistemas de subirrigación y abastecidos con sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia.

Los alcances del proyecto son de la mayor relevancia en tanto que dos terceras partes de nuestro país están consideradas como áridas o semiáridas, principalmente en el centro y norte de México.

METODOLOGÍA

Se desarrollaron las siguientes actividades durante el año 2010

1. Preparación, adecuaciones y mantenimiento de infraestructura experimental
2. Diseño y planeación de las actividades experimentales
3. Equipamiento e insumos
4. Desarrollo de las actividades experimentales
5. Resultados (análisis y discusión)
6. Elaboración de informes y materiales técnicos

Estas actividades se han desarrollado en apartados anteriores del documento.

OPERACIÓN DEL SISTEMA

Sistema de captación de agua de lluvia

La superficie techada de los invernaderos fue aprovechada para recoger el agua de lluvia que se almacena en una cisterna de 500 m³, posteriormente se utilizó en el riego controlado del jitomate - Subirrigación.

El invernadero cuenta con 120 canaletas de lámina galvanizada de sección trapecial

- Taludes 1:1
- Base 20 cm
- Tramos de tres metros de longitud
- Pendiente de 1.5%) y
- Tubería de PVC de 6 pulgadas de diámetro para conducir el agua a la cisterna.

Sistema de subirrigación

El sistema de riego por subirrigación consiste en suministrar el agua desde el subsuelo a través de una red interior de tubería subterránea perforada.

“En este invernadero hemos propuesto la aplicación de un nuevo método de riego, pensando igualmente que pueda proporcionar al agricultor, al productor del campo de baja escala, una tecnología de fácil acceso y de comprensión. Consiste en aplicar el agua a los cultivos no como se hace tradicionalmente a través de riego por surco o riego por goteo, sino proporcionando el agua a través del subsuelo y de manera que por capilaridad se pueda ascender en los niveles de humedad hasta la zona radicular” (Barrios, D., 2010).

“El procedimiento que llevamos a cabo para un subriego consiste simplemente en abrir las válvulas, de manera que a través de estas dos tuberías podamos inyectar el agua al subsuelo. Las dejamos abiertas durante quince minutos para llenar la red subterránea que está a un metro de profundidad, debajo de la cual tenemos una capa impermeable, a través de una geo membrana de un milímetro de espesor que nos permite almacenar el agua formando una especie de acuífero local. De esta manera, con el agua en el subsuelo, asciende la humedad por capilaridad y se proporciona el agua a las raíces. Una vez que ya llenamos la red bajamos el gasto de manera que los niveles de humedad vayan ascendiendo muy suavemente y en cosa de unas 18 horas llevamos a cabo un subriego.” (Barrios, D., 2010).

REFLEXIONES

“La idea es hacer una propuesta que aporte al agro mexicano tecnología de riego novedosa, económica, barata que pueda ser aplicada y adaptada por los agricultores del semi desierto en principio y para México en general” (Barrios, D., 2010).

“La integración del sistema de captación y almacenamiento de agua de lluvia con la subirrigación en el invernadero de Zacatecas, muestra contundentemente que sin esta alternativa productiva que ofrece el proyecto, no sería posible producir nada en la región de estudio. Con esta alternativa de producción se tiene un potencial productivo de 27 toneladas de jitomate en una nave de 1,000 metros cuadrados” (Gómez, L. 2010).

“El sistema que estamos describiendo aquí muestra claras evidencias de que puede formar una propuesta concreta de un sistema de producción enteramente sustentable, dado que es implementado a base de cosecha de lluvia y además su operación no requiere de energía adicional. Todo es por gravedad, de manera que el usuario, el agricultor de México puede adaptarlo sin ningún problema” (Barrios, D., 2010).

El desarrollo de esquemas integrados como el presentado plantea un panorama alentador para la gestión sustentable del agua y la producción de alimentos, por ello, es imprescindible seguir fortaleciendo de manera integral las líneas de investigación asociadas a la captación y almacenamiento de agua de lluvia para riego, la automatización fluidica (aplicación TDF), la subirrigación y el aprovechamiento eficiente de espacios como son los invernaderos (Gómez L., 2010)

RECOMENDACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA PRODUCTIVO VALIDADO

Información sobre el cultivo validado

Por ser el tomate el cultivo mas rentable en la producción bajo invernaderos, en este anexo se describe en forma sucinta las características generales de esta hortaliza.

Mediante la aplicación de estos conceptos y conocimientos mínimos, el usuario puede entender mejor el manejo del cultivo.

- Origen

El tomate, cuyo nombre científico es "Lycopersicon esculentum" pertenece a la familia de las solanáceas. Es pariente cercano de la patata, el pimiento y la berenjena, y se considera una verdura debido a sus diversos usos culinarios. Es originario de los bajos Andes, y fue cultivado por los Aztecas en México. La palabra azteca "tomatl" significaba "fruta hinchada", y los conquistadores españoles lo llamaron "tomate".

- Descripción botánica

Tabla 15. Descripción del cultivo – partes estructurales

Parte estructural	Descripción
Raíz	El sistema radical consta de una raíz principal típica de origen seminal y numerosas raíces secundarias y terciarias; la raíz principal puede alcanzar hasta 60 cm de profundidad.
Tallo	El tallo es el eje sobre el cual se desarrollan las hojas, flores y frutos; el diámetro puede ser de 2 a 4 cm y el porte puede ser de crecimiento determinado e indeterminado.
Hojas	Las hojas son de limbos compuestos por 7 a 9 folíolos con bordes dentados, el haz es de color verde y el envés de color grisáceo. La disposición de nervaduras en los folíolos es penninervia. En general, la disposición de las hojas en el tallo es alterna
Estructura floral	El tomate es una planta hermafrodita que presenta flores bisexuales en forma de racimo simple, en la base de la planta o ramificado en la parte superior. Las flores son pequeñas, pedunculadas de color amarillo, formando corimbos axilares.
Semillas	La semilla del tomate es de forma lenticular, con dimensiones aproximadas de 5x4x2 mm y está constituida por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal.

- Requerimientos de temperatura

A la planta de tomate le favorece el clima caliente, sin embargo, bajo condiciones de baja luminosidad, las temperaturas de la noche y el día se deben mantener bajas, de lo contrario, se tendrá una planta raquítica y débil de floración pobre, como consecuencia de que la energía que proporciona la fotosíntesis es inadecuada para la velocidad de crecimiento. Una planta joven utiliza productos disponibles de la fotosíntesis, en primer lugar; para mantenimiento y crecimiento; segundo, para las raíces y tercero para formar el fruto. A temperaturas altas, con relación a los niveles de luminosidad, el cultivar utiliza toda la energía en su mantenimiento y muy poca queda disponible para raíces y frutos.

La temperatura de desarrollo oscila entre 20 a 30° C durante el día y entre 13 y 17° C durante la noche; temperaturas superiores a los 30 – 35° C afectan la fructificación por mal desarrollo de óvulos y el desarrollo de la planta en general y del sistema radical en particular. Temperaturas inferiores a 12 - 15° C también originan problemas en el desarrollo de la planta. A temperaturas superiores a 25° C e inferiores a 12° C la fecundación es defectuosa o nula. Las temperaturas óptimas para tomate son de 24 y 16° C durante el día y la noche respectivamente. La maduración del fruto está muy influida por la temperatura en lo referente tanto a la precocidad como a la coloración, de forma que valores cercanos a los 10° C así como superiores a los 30° C originan tonalidades amarillentas. No obstante, los valores de temperatura descritos son meramente indicativos, debiendo tener en cuenta las interacciones de la temperatura con el resto de los parámetros climáticos.

- Humedad relativa

Por lo que respecta a la humedad relativa óptima oscila entre 60 a 70%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades y agrietamiento del fruto, además dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores. El rajado del fruto igualmente puede tener su origen en un exceso de humedad edáfica o riego abundante tras un periodo de estrés hídrico. También una humedad relativa baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor.

- Luminosidad

Valores reducidos de luminosidad pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de la floración, fecundación así como el desarrollo vegetativo de la planta. En los momentos críticos durante el periodo vegetativo resulta crucial la interrelación existente entre la temperatura (diurna y nocturna) y la luminosidad.

- Suelo y medio de desarrollo

La planta de tomate no es muy exigente en cuanto a suelos, excepto en lo que se refiere al drenaje, aunque prefiere suelos sueltos profundos de textura arcillosa y ricos en materia orgánica.

En cuanto a pH los suelos pueden ser desde ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos 6.5 a 7.5 Es la especie cultivada en invernadero que mejor tolera las condiciones de salinidad tanto del suelo como del agua de riego, sin embargo, en la mayoría de las variedades, la presencia de cloruro sódico reduce el tamaño de los frutos.

Manejo del cultivo

- Preparación de suelo

La preparación del suelo tiene como finalidad, mejorar su estructura, evitando la compactación y formación de costras que son los factores más negativos para los cultivos hortícolas. La preparación del suelo puede ser realizada con equipo especialmente diseñado para trabajar dentro del invernadero tales como motocultores o mini tractores.

- Densidad de plantas

Se sugiere utilizar una densidad de población de 20 mil a 30 mil plantas/ha, la cual se puede lograr trasplantando en camas meloneras en arreglo a doble hilera, con distancia entre camas de 1.80 a 2.0 m. y espaciamiento entre plantas dentro de la misma hilera: de 40 a 50 cm. El espaciamiento entre hileras dentro de la misma cama puede ser de 40 cm.

- Manejo de cultivo

Tabla 16. Manejo de cultivo – Labores de cultivo

Actividad	Descripción
Podas	<p>La poda de la planta de tomate es una práctica que necesariamente hay que hacer cuando se cultiva en invernadero. La poda a un tallo es la más común a lo largo de todo el ciclo para obtener frutos de máximo calibre y se inicia cuando la planta tiene de 3 a 4 hojas contadas desde el primer racimo de flores.</p> <p>La poda consiste en quitar los pequeños brotes axilares llamados vástagos, que de no eliminarse, llegarán a formar brotes laterales que le van a quitar energía a la planta y se va a reducir su producción. Es de suma importancia eliminar los brotes axilares cuando están pequeños (5 cm de largo), estos se pueden eliminar fácilmente con la mano.</p>
Deshojado	<p>En la poda de hojas, se van eliminando todas aquellas hojas inferiores senescentes por debajo del último racimo que se va cosechando. El corte de la hoja debe ser limpio y a ras del tallo principal para evitar entrada de patógenos (Botritis). Con el deshojado se consigue una mayor ventilación y mejora el color de los frutos. El deshojado se hace periódicamente no quitando más de dos o tres hojas en una sola vez para no estresar la planta en su balance hídrico y energético.</p>
Polinización	<p>El polen es liberado abundantemente en días brillantes con temperaturas que exceden los 20° C. La temperatura ideal en el invernadero no debe bajar en la noche a menos de 15.5° C y no exceder a 29.4° C durante el día. A altas o bajas temperaturas, la germinación y el crecimiento del tubo del polen se reducen grandemente. La temperatura de la noche es particularmente importante.</p> <p>Algunos reguladores de crecimiento pueden ser utilizados para inducir el desarrollo del fruto a temperaturas más bajas que las deseables en la noche (10° C).</p> <p>La polinización se puede mejorar mediante movimientos de las inflorescencias que pueden ser por métodos variados, pero el que se ha impuesto es el movimiento de la planta con un chorro de aire con máquinas de mochila o con golpes vibrantes al emparillado de los hilos que sostiene la planta.</p>
Cosecha	<p>Los frutos de tomate pueden recolectarse después de haber alcanzado su madurez fisiológica. La recolección del tomate tiene mucha importancia, pues una cosecha defectuosa puede destruir un buen rendimiento obtenido.</p> <p>Los tomates deben ser recolectados en diferentes grados de madurez dependiendo de su destino. Si son para emplearlos en su transformación para la industria deben estar completamente maduros; si el destino final de los tomates es para abastecer los mercados locales pueden estar rojos, pero no completamente maduros, o sea, con la zona peduncular amarillenta; y si su destino es para la exportación, deben presentar ligeros indicios de coloración.</p>

RECOMENDACIONES SOBRE LAS CISTERNAS

El proceso constructivo de cisternas de 500 m³ mantiene prácticamente el mismo grado de dificultad que el de las de 100 m³. La colocación de las mallas, aunque son más pesadas y más grandes, resulta igualmente sencilla, debido a que se dispone también de un número mayor de trabajadores.

Por el grosor de la malla, resulta resistente a la deformación cuando se lleva a cabo el proceso de armado y colocación en piso y paredes (anillo), por lo que queda aceptablemente nivelada en la vertical, no obstante es necesario corregir algunas desnivelaciones que puedan quedar mediante tensores.

El muro capuchino se lleva a cabo rápido y seguro dado que la malla es lo suficientemente rígida.

Los costos de materiales son de alrededor de 140 mil pesos y la mano de obra corresponde a un 60% de los materiales, esto es, unos 60 mil pesos

Lo más importante es que con el costo de las cisternas de 500 m³ considerando materiales se tiene un costo de 30 centavos por litro agua almacenada, costo muy por debajo de otras alternativas que se manejan en México, lo cual obedece tanto a los materiales que se usan, como a los procesos constructivos.

Es posible bajar el costo del litro almacenado a unos 20 centavos por litro.

RECOMENDACIONES SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN DE INVERNADEROS ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA

Los invernaderos con captación de agua de lluvia como fuente de abastecimiento como los implementados en Zacatecas, vienen a revolucionar el concepto de producción bajo espacios protegidos.

Un sistema de captación de agua de lluvia en invernaderos es, sin lugar a dudas, una alternativa técnica y económicamente viable para utilizarse como solución a la problemática de la escasez de agua, de igual manera es una de las oportunidades de inversión más rentable y de mayor futuro en México y especialmente en sus zonas áridas.

Sin embargo, un proyecto de inversión en esta línea, indudablemente ganadora, debe contener todos los elementos que el exigente mercado internacional está fijando, para retribuir con los precios adecuados los productos de esta actividad.

Así mismo, podemos concluir que es factible construir invernaderos en cualquier zona, el resultado de este experimento demuestra que es altamente factible la construcción de invernaderos rurales (familiares) y con ello la generación de empleos.

Con respecto a lo ecológico, esta alternativa tecnológica ofrece grandes posibilidades de eliminar la perforación de pozos y permitir la recuperación de acuíferos.

RECOMENDACIONES SOBRE SOBRE EL SISTEMA DE RIEGO POR SUBIRRIGACIÓN

El sistema de riego de cultivos por Subirrigación se da por medio del ascenso capilar, el agua se suministra a la zona radicular desde el subsuelo a partir de una red de tubería subterránea.

Para áreas con cultivo masivo es necesaria una red de tubos que mantenga los niveles freáticos según lo requiera el cultivo.

Para los frutales es suficiente con dejar un punto con perforación adecuada para el suministro de la humedad a cada planta.

Este sistema permite evitar pérdidas de agua por percolación profunda y mantener la humedad del suelo en el sistema radicular mediante una frontera impermeable a 1 metro de profundidad con geo membrana impermeable en fondo y paredes.

El agua se extra desde la Megacisterna de 500 m³ a través de un tubo de 6 pulgadas y, mediante una reducción se entrega el agua a través de un tubo de 4 pulgadas controlado por válvulas.

El riego capilar mediante el subriego es una alternativa viable para la producción en invernaderos, su costo inicial es alto; sin embargo, muestra tener grandes ventajas respecto a otros sistemas, por ejemplo, hay periodos largos en los que no se aplica agua al sistema, hay mejor crecimiento radicular debido a la uniformidad de humedad en el suelo, la fertilización es desde el subsuelo de manera sencilla - mejor distribución de fertilizantes.

Este sistema tiene su aplicación a nivel invernadero a fin de tener la mayor eficiencia del uso de agua para riego y esta orientado a esquemas productivos para zonas áridas y semiáridas de México.

MANUAL DE INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

RESUMEN

El presente manual es resultado del estudio experimental para la producción de alimentos en pequeñas superficies bajo condiciones controladas, mediante el uso de invernadero cuya fuente de abastecimiento puede ser el agua de lluvia. En este caso se utilizó una superficie de captación de 1,000 m² y un almacenamiento de 500,000 litros. Es producto de un trabajo realizado en un invernadero equipado con una red de subirrigación en un estrato de 1 metro de profundidad, impermeabilizado con geo membrana para evitar pérdida de agua por percolación profunda.

El IMTA con colaboración de la Universidad Autónoma de Zacatecas “UAZ”, realizan actividades de investigación, desarrollo, transferencia y apropiación de nuevas tecnologías en materia de agua y producción de alimentos.

En el año 2010, se desarrollo una alternativa tecnológica útil para impulsar el uso eficiente del agua y de espacios cultivados a pequeña escala, a fin de contribuir en la atención del déficit alimentario y en el desarrollo sustentable de los recursos hídricos del país.

Resultado de ese desarrollo se presenta el siguiente manual asociado a INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

INTRODUCCIÓN

En México, existen miles de comunidades marginadas ubicadas en zonas áridas y semiáridas, donde el agua juega un papel muy importante en la producción de alimentos y representa un recurso estratégico. En estas comunidades, es necesario contar con opciones productivas para la generación de alimentos con fines de autoconsumo y micro comercialización. En general, sobre la problemática en materia hídrica, alimentaria y de tecnificación del campo se destaca lo siguiente: la precipitación presentan grandes variaciones espaciales y temporales, el agua de riego ha ido disminuyendo, 40 millones de mexicanos están inmersos en una situación de pobreza extrema, los campesinos y agricultores tienen pocas posibilidades de producción (quedan limitados a producir con fines de subsistencia - maíz y frijol), existen no menos de 100,000 hectáreas con sistemas rudimentarios de riego que requieren ser tecnificados, la producción agrícola bajo condiciones de invernadero obedece a tecnología extranjera, costosa y con alto grado de dependencia, finalmente resaltar que es necesario promover un cambio de cultura a fin de producir cultivos más rentables

Bajo el contexto anterior, se establecen las recomendaciones para esquemas y proyectos de producción agrícola en zonas áridas y semiáridas bajo condiciones de riego en invernadero teniendo como única alternativa de suministro de agua, la captación y el almacenamiento de agua de lluvia.

OBJETIVOS

El objetivo del presente manual es presentar un material donde se pueda consultar:

1. METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE INVERNADEROS
2. METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE CISTERNAS DE GRAN CAPACIDAD CON FINES DE RIEGO EN INVERNADEROS.
3. METODOLOGÍA Y MATERIAL TÉCNICO PARA LA APLICACIÓN DE LA SUBIRRIGACIÓN EN INVERNADEROS Y PEQUEÑAS SUPERFICIES.
4. LAS ACTIVIDADES EXPERIMENTALES

METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE INVERNADEROS

Para la implementación del invernadero y cada uno de los elementos que lo componen:

1. Se adquiere previamente el material, los perfiles y demás elementos de acero.
2. Las piezas de mando se elaboran en un taller de herrería.
3. Se contrata al personal especializado para llevar a cabo la instalación.

Material para la instalación

- Columnas para soporte vertical de la estructura
- Arcos de 11 metros
- Refuerzos laterales cimentados en tramos de 0.6 metros de largo
- Refuerzos laterales superiores en tramos de 2.5 metros de largo
- Canaletas en tramos de 3 metros
- Largueros horizontales en tramos de 2.5 metros.

Trazo y nivelación

Antes de la instalación se procede a trazar los invernaderos según el proyecto general elaborado y tomando en cuenta la altura máxima de la cisterna donde descargará el agua captada en el invernadero.

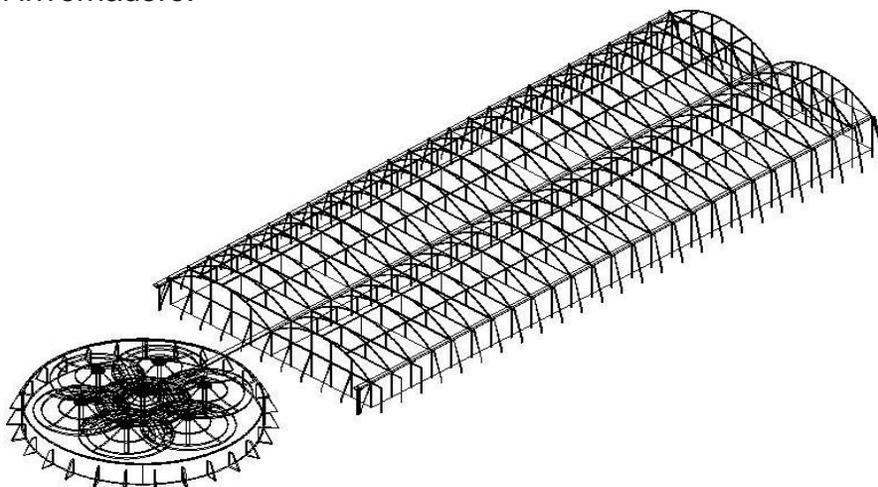


Figura 17. Perspectiva del invernadero y cisterna

Cimentación

Para la cimentación se cava hoyos de 45 centímetros de profundidad para llevar a cabo el colado de la cimentación de las columnas.



Ilustración 15. Hoyos de 45 centímetros para cimentación de columnas

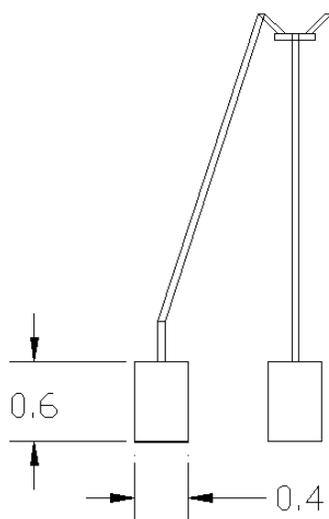


Ilustración 16. Hoyos de 45 centímetros y columnas de soporte estructural vertical.



Instalación de columnas

Se colocan las columnas del invernadero cuidando la cuadratura y el alineamiento.

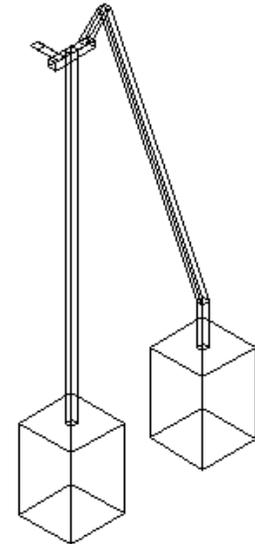


Ilustración 17. Colocación de columnas y refuerzos laterales

Instalación de arcos y refuerzos

Una vez colocados las columnas, se continua con las uniones laterales mediante largueros de 2.5 m de longitud.

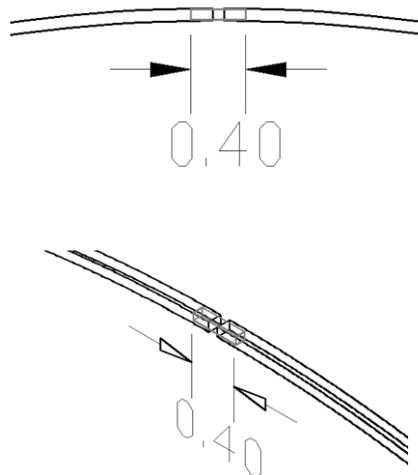


Ilustración 18. Ensamble de larguero con arco.

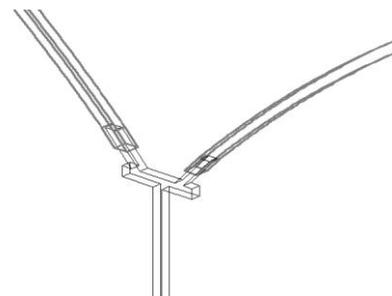


Ilustración 19. Ensamble de largueros y arcos para uniones de las columnas en ambos sentidos

Instalación de canaleta de recolección y conducción de agua de lluvia hacia la cisterna.

Una vez unidos todos los elementos de la estructura de acero se precede a colocar la canaleta de captación de agua, debidamente sellada en las juntas.



Ilustración 20. Instalación de canaleta de recolección de agua de lluvia hacia la cisterna



Ilustración 21. Instalación de canaleta de recolección de agua de lluvia

Instalación de hule

Finalmente se lleva a cabo la instalación de hule y malla anti virus sobre el techo y laterales respectivamente.



Ilustración 22. Instalación del hule en la parte superior del invernadero (techo del invernadero)



Ilustración 23. Instalación de la malla antiáfidos en los laterales del invernadero

Colocación de elementos estructurales internos

Finalmente, se colocan los tensores en el interior del invernadero, a fin de que sirvan como soporte para las plantas y a su vez como refuerzos estructurales.

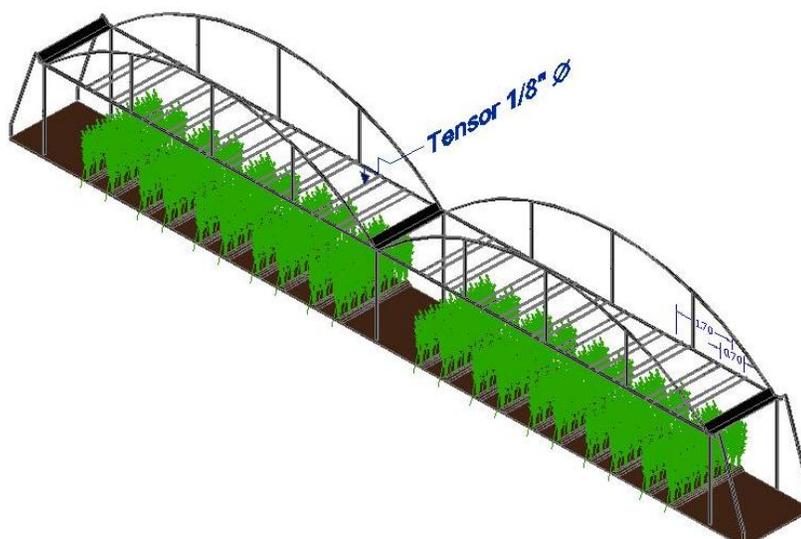


Figura 18. Tensores, elementos estructurales que sostiene las plantas

Invernadero terminado en producción

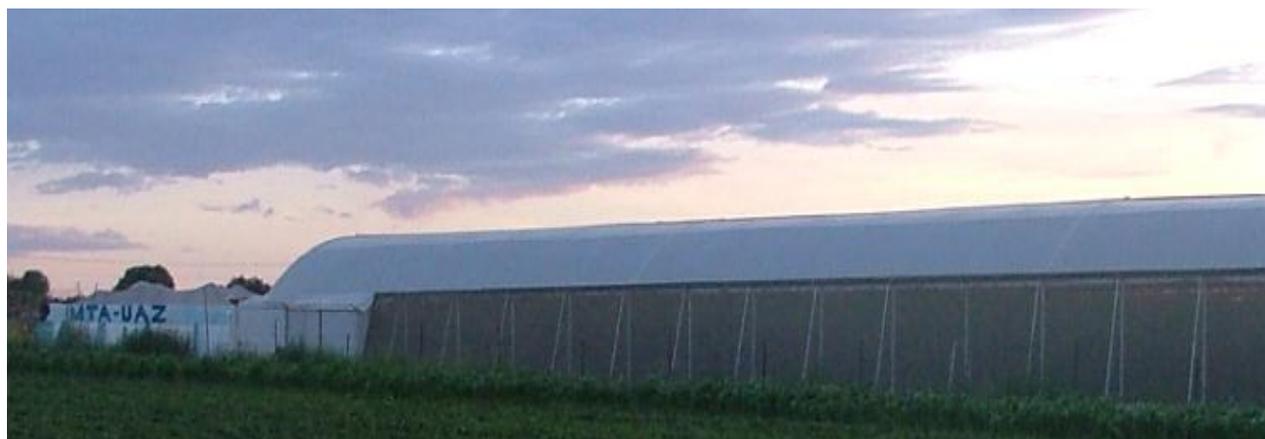


Ilustración 24. Invernadero terminado en producción (1)

MANUAL DE INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS
CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA



Ilustración 25. Invernadero terminado en producción (2)



Ilustración 26. Invernadero terminado en producción (3)

METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE CISTERNAS DE GRAN CAPACIDAD CON FINES DE RIEGO EN INVERNADEROS.

Construcción de cisternas de 500 m³ de capacidad

La técnica de construcción utilizada es la de muro capuchino (Barrios et al, 2007). Es una cisterna de gran diámetro provista estructuralmente de contrafuertes externos colocados a cada 2 metros uno de otro.

Características de la cisterna

- ✓ Diámetro de la cisterna: 17.0 m.
- ✓ Diámetro hasta el anillo de refuerzo (malla Lac): 17.18 m
- ✓ Diámetro con anillo periférico de un 1 metro para la fijación de contrafuertes: 19 m
- ✓ Altura de nivel del agua: 2.3 m
- ✓ Volumen almacenado: 500 m³
- ✓ Radio para la distribución de columnas: 4.3 m
- ✓ Número de columnas: 7 (6 en el círculo interior y 1 al centro)
- ✓ Separación de columnas en todos sentidos: 4 m
- ✓ Altura de las columnas: 3 m
- ✓ Número de contrafuertes: 27

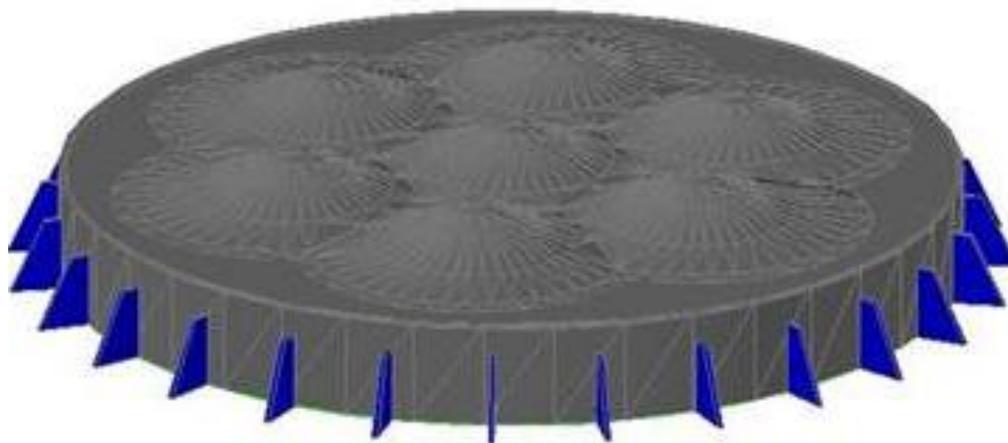


Figura 19. Representación general de la cisterna 500,000 litros

MANUAL DE INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS
CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

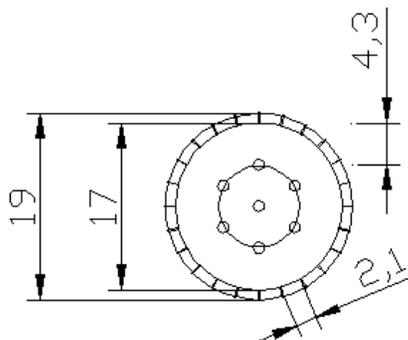


Figura 20. Detalle del trazo de cisterna

Costo unitario de una cisterna de 500 m³

A manera de referencia, las cantidades de materiales requeridos para implementar una cisterna de 500m³.

Tabla 17. Costos de materiales de una Cisterna tipo capuchino de gran capacidad.

Cantidad	Unidad	Descripción	Precio Unitario \$	Importe
5500	Pieza	Ladrillo (14x24x5 cm)	1.5	8250
320	Bulto	Cemento	100	32000
42	m ³	concreto premezclado	1000	42000
12	m3	Grava	230	2760
20	m3	Arena	230	4600
25	Pza	varilla de 3/8"	100	2500
50	Kg	Alambre recocido	40	2000
9	Rollo	Malla electrosoldada # 4	4000	36000
8	Pza	sonotubo 30 de diámetro	120	960
7	Pieza	castillo armex de 15x20	150	1050
1	Pieza	Válvula de mariposa 6"	3500	3500
1	Pieza	Tapa registro	480	480
1	Tramo	Tubo de PVC (2 Pulgs)	300	300
1	Pieza	Niple (5 Pulgs.)	15	15
1	Lote	Pintura	2000	2000
1		Cal	5	5
Costo total materiales				\$138,420.00

Nota: Los costos son referenciados al mes de julio de 2009 en Zacatecas (sin tomar en cuenta la mano de obra).

Trazo y nivelación

A fin de cimentar la cisterna en terreno firme con una resistencia de al menos 3 ton/m^2 , resistencia suficiente para el soporte de la carga que tendrá el suelo una vez llena de agua la cisterna, que será aproximadamente de 2.3 ton/m^2 , se realiza un desplante de aproximadamente 30 centímetros eliminando en principio toda de la capa vegetal del suelo.

El corte se lleva a cabo con una retroexcavadora.

La nivelación, apisonado y el trazo se lleva a cabo a mano.

Se tiene un radio de desplante de 8.94 m y por lo tanto una superficie de 251 m^2 y un volumen de 75 m^3 de tierra vegetal.

Como preparación para el colado de fondo, para un mejor control, se coloca una capa de grava de 2 centímetros y la nivelación se utilizando hilos colocados radialmente.



Ilustración 27. Nivelación con hilo radialmente

MANUAL DE INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS
CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA



Ilustración 28. Preparación y colocación de una capa de grava para el colado de losa de fondo

Armado general de la cisterna

Una vez nivelado el terreno, compactado y revestido de grava, se procede a colocar la malla del número 4 colocándola en un diámetro de 17.88m, dejando en todo el perímetro 30 cm adicionales de malla para doblado y traslape.



Ilustración 29. Armado general de la cisterna

MANUAL DE INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS
CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

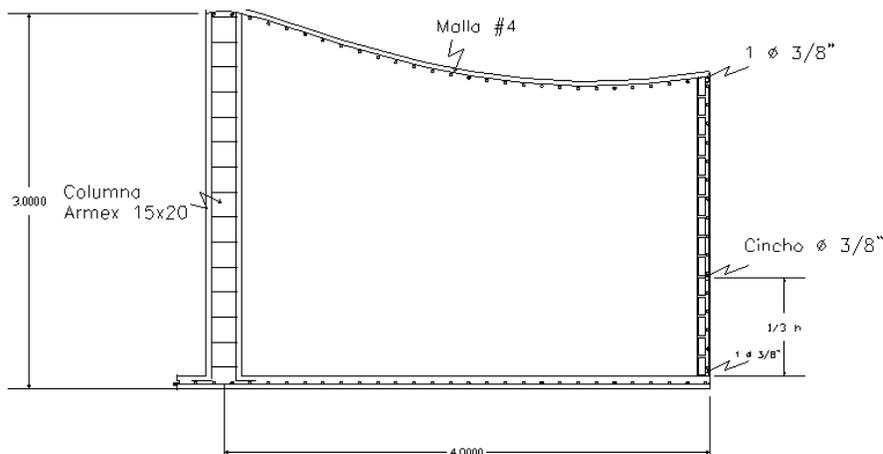


Figura 21. Detalle unión tapa – anillo - losa de cimentación.

Instalación de anillo de refuerzo en paredes

La longitud de malla que forma el anillo es de 52.46 m, dado que la malla mide 40 m de longitud, se requieren dos tramos, uno de 40 m y otro de 12 .46 más 0.60 de traslapes, esto es, 13.06 metros. Ambos tramos se unen y se coloca para formar el anillo. Para sujetarlo a la malla del piso, previamente se traza el círculo con cal para facilitar la fijación ya que solo se va siguiendo dicho círculo y amarrando para asegurarlo.



Ilustración 30. Anillo de refuerzo en paredes

Instalación de malla de refuerzo en contrafuertes

El proceso de amarrado de la malla para contrafuertes tiene tres etapas:

- ✓ La primera se lleva a cabo cuando la malla del contrafuerte se fija y amarra a la losa de fondo.
- ✓ La segunda que consiste en colar la banda perimetral que queda fuera de la cisterna y que servirá de apoyo de los contrafuertes. Esta se lleva a cabo un día antes de fijarlos a la malla de pared o anillo de la cisterna.
- ✓ La tercera, al día siguiente, cuando ha endurecido el concreto, se procede a fijar la malla al anillo y fijar también la verticalidad perimetral.



Ilustración 31. Colado de la banda perimetral para fijación y refuerzo de los contrafuertes

MANUAL DE INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

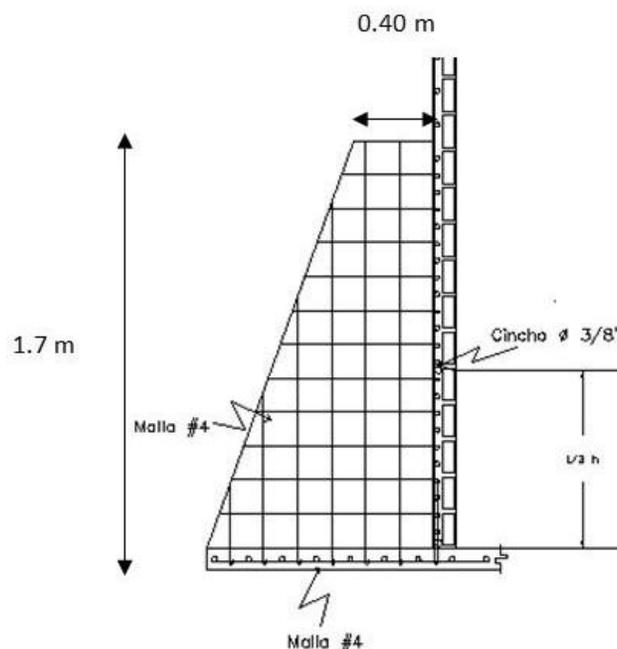


Figura 22. Armado de contrafuerte

El corte de malla para el contrafuerte tiene forma trapecial de 1 metro de base mayor, 0.40 metro de base menor, 1.7 metro de altura y 0.1 metro de ancho.



Ilustración 32. Fijación y amarre de contrafuertes al cuerpo perimetral de la cisterna

Colocación de armado de columnas y colado de losa de fondo.

Simultáneamente se pueden amarrar los castillos tipo armex a la malla de fondo en los puntos definidos sobre el círculo auxiliar concéntrico de 4.22 metros de radio dentro de la cisterna. Con esta etapa se tiene preparado el esqueleto de la cisterna, lista para llevar a cabo, el colado de fondo, muro capuchino y repellado.



Ilustración 33. Armado del cuerpo de la cisterna y columnas

Después de haber fijado contrafuertes y la verticalidad de la malla de pared circular, se procede a realizar el colado de fondo de la cisterna de 10 cm de espesor con concreto de una $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$.

Se propone esta resistencia con el fin de asegurar posibles fatigas del concreto debido a asentamientos diferenciales, resultado de posibles compactaciones de mala calidad.

MANUAL DE INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS
CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA



Ilustración 34. Colado de losa de fondo de la cisterna

Colocación de muro capuchino

Después de terminar de colar la losa de fondo se procede al levantamiento del muro capuchino – colocación de tabique en forma de canto.



Ilustración 35. Levantamiento del muro capuchino

Para llevar a cabo la colocación rápida del tabique de canto, se utiliza un embudo para la colocación de la mezcla, así, en un proceso de aplicación de mezcla y colocación de tabique se puede tener un avance de 10 a 15 tabiques por minuto.



Ilustración 36. Levantamiento del muro de la cisterna - muro capuchino

Armado del techo de cisterna

El armado del techo de la cisterna se realiza con la malla tejida con arpilla.



Ilustración 37. Corte y tejido de la malla con la arpilla para el armado del techo de la cisterna

MANUAL DE INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS
CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA



Ilustración 38. Colocación del armado del techo de la cisterna

Una vez tejida se coloca sobre las columnas y periferia de la cisterna.

Esta es una de las etapas más difíciles de la construcción ya que se trata de piezas muy pesadas, es por ello que se deben apoyar entre unas 8 personas para tejer y después colocar la malla. Se consume la misma cantidad de malla de la losa de fondo, mismos tramos y longitudes.

Repellado interno y chaflán.

Una vez colocada la malla de techo con arpillera se realiza el repellado, que se debe realizar a la sombra a fin de evitar fracturas del repellado originada por las altas temperaturas debido a la radiación solar y el aire.

El repellado interno se lleva a cabo mediante 5 capas intercaladas:

Tabla 18. Resumen repellado interno de la cisterna

Capa	Componentes - mezcla	Finalidad
1	Arena y cemento	suavizar el muro capuchino
2	Arena y cemento	sellar el muro
3	Agua y cemento (lechada)	para reforzar el sellado
4	Arena y cemento	asegurar la impermeabilización y el refuerzo del repellado
5	Agua y cemento (lechada)	Imposibilita las posibles fisuras que vayan resultando durante el proceso.

Nota: Todas las capas se realizan mediante llana de lámina fina, comprimiendo con la mano.

MANUAL DE INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS
CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA



Ilustración 39. Armado del techo de la cisterna

En la junta del muro con el piso, se pone un chafalán para evitar posibles fugas.



Ilustración 40. Acabados internos y chafalán

Repellado externo y colado de contrafuertes

El repellado externo es rústico, con el único fin de tapan la malla y darle mayor resistencia al muro capuchino, sin embargo, un acabado de 2 centímetros es suficiente.



Ilustración 41. Colado de exterior.



Ilustración 42. Cimbra y colado de contrafuertes

Al igual que los acabados interiores, los externos se pueden llevar a cabo mediante cuchara común o utilizando algún medio mecánico o compresoras.

También se colocan y repellan tres cinturones de varilla que refuerzan el cuerpo cilíndrico de la cisterna, uno en el fondo, otro en 1/3 de la altura que ayuda a resistir la resultante hidrostática y uno más en la parte alta del muro que ayuda a resistir el empuje que el techo imprime sobre este y también para amarrar la malla de techo.

Colado del techo de cisterna

En el armado para el techo de la cisterna se coloca una forma una estrella de varillas del No. 3 unida a la varilla que une a las columnas.



Ilustración 43. Armado de varillas en el techo de la cisterna

Una vez colocada la malla y una estrella de varillas, se procede al colado del techo.

Cabe mencionar que no se requiere de puntales para el colado debido a que cuando la malla carga el concreto fluido ésta se tensa por el peso, después del fraguado se vuelve rígida, como una losa común.

Es importante aclarar que en cada bajo local que resulta del colado de techo, debe dejarse una perforación para el ingreso del agua de lluvia, tanto de la propia cisterna como de la que es interceptada y conducida en el techo del invernadero. En estas perforaciones a fin de evitar el ingreso de sólidos a la cisterna, es necesario instalar un atrapa sólidos.

MANUAL DE INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS
CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA



Ilustración 44. Colado del techo de la cisterna



Ilustración 45. Cisterna terminada

MANUAL DE INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS
CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

Una vez terminada la cisterna y lista para el almacenamiento del agua pluvial es recomendable pintar su exterior.



Ilustración 46. Megacisterna terminada

METODOLOGÍA Y MATERIAL TÉCNICO PARA LA APLICACIÓN DE LA SUBIRRIGACIÓN EN INVERNADEROS Y PEQUEÑAS SUPERFICIES.

Descripción del sistema de subirrigación.

La Subirrigación consiste en el suministro del agua a las plantas cultivadas desde el subsuelo. El riego se presenta por medio del ascenso capilar.

Para ello se debe colocar una frontera impermeable a un metro de profundidad (geo membrana en fondo y paredes), que evita la pérdida de agua por percolación profunda.

Al interior del estrato y encima de la geomenbrana se coloca una red de tubería subterránea a fin de suministrar el agua a las plantas que se cultivaran en el invernadero (riego por capilaridad).

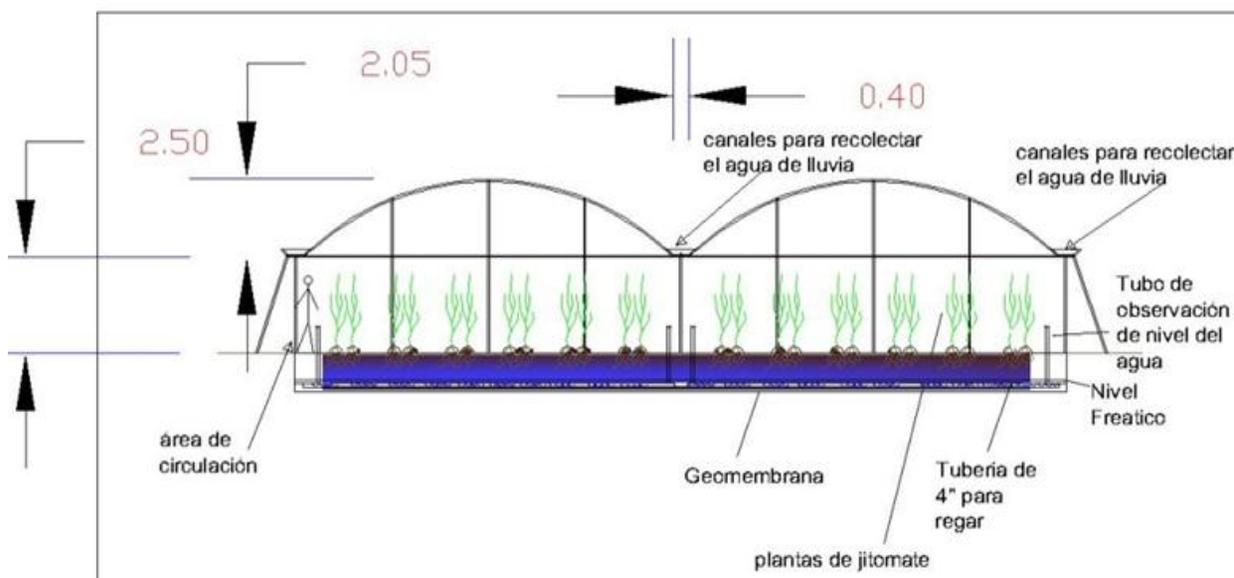


Figura 23. Vista en corte transversal del sistema Subirrigación

Con la finalidad de distribuir el agua de manera adecuada y tener un manejo de cultivo mas eficiente, Se recomienda dividir el invernadero en módulos o secciones.

MANUAL DE INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

En la figura siguiente se muestra la división de un invernadero de 1,000 m² en dos módulos de 49 X 9 metros.

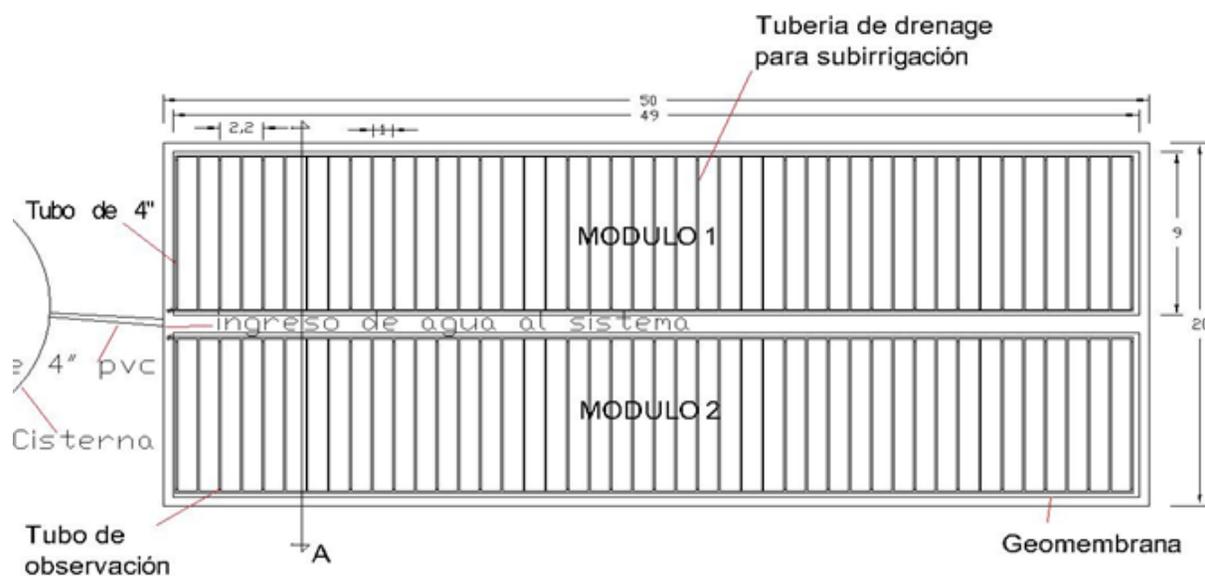


Figura 24. Ejemplo - Vista en plana del sistema Subirrigación

En la misma figura, a un costado se muestra un almacenamiento que recoge el agua de lluvia captada en la superficie del techo del invernadero, la fuente de abastecimiento de agua es un almacenamiento ubicado cercano al invernadero.

MANUAL DE INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS
CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA



Ilustración 47. Ejemplo de almacenamiento de agua de lluvia cercano al invernadero con subirrigación

Materiales y equipo utilizado para la instalación del sistema de subirrigación.

Tabla 19. Resumen de materiales y equipo utilizado para la instalación del sistema de subirrigación

Concepto	Características	Cantidad
Tubería sanitaria reforzada	4 pulgadas	6 tramos
piezas especiales	4 pulgadas	Varios
válvulas de compuerta	4 pulgadas	3
tubería de drenaje agrícola	con calcetín	1000
rollo de cintilla	para goteo de baja carga	1 rollo
estiércol	para fertilización	18 m ³
Geo membrana	51 m de largo por 11 de ancho	2
Equipo		
Equipo topográfico, tránsito y nivel		
Cargador frontal para movimiento de grandes volúmenes de tierra		
Rodillo para apisonamiento		
Camiones para traslado de tierra y estiércol		

Proceso de instalación

Tabla 20. Resumen del proceso de instalación del sistema de subirrigación

Actividad	Descripción
Trazo de módulos de Subirrigación.	Previo al movimiento de tierras se delimitan los módulos al interior del invernadero, estos deben ser definidos en función del arreglo longitudinal y transversal, así como del número de columnas que soportan la estructura del invernadero.
Movimiento de tierras	La pendiente del suelo debe ser plana, por ejemplo para preparar un espacio de un metro de profundidad para poner la geo membrana y red de tubería. Teniendo una pendiente de 1.5% a lo largo de un invernadero de 49 metros, se tiene una diferencia de 0.75 metros entre los extremos, por tanto, para obtener una plantilla plana es necesario cortar 1.0 metro en el extremo mas alto y 0.25 metro en el extremo mas bajo y así, se forma una capa de suelo 1 metro de profundidad. Se debe realizar un desplazamiento temporalmente del suelo del modulo 1 al modulo 2 para dar oportunidad a la colocación de la geo membrana sobre la superficie horizontal afinada perfectamente y sobre ella la tubería de Subirrigación.
Colocación de la geo membrana	Una vez desenvuelta la geomembrana, sólo es necesario tirar a lo largo del piso afinado y con un hilo y nivel se ajusta y nivela perfectamente. Las piezas de geomembrana deben ser adquiridas con una empresa especializada en la fabricación de este tipo de materiales, se recomienda un espesor de 0.8 mm, con una duración garantizada a la intemperie de 15 años y en el subsuelo de unos 30.
Instalación de la tubería de Subirrigación.	Una vez colocada la geo membrana sobre el piso, se procede a instalar la tubería de Subirrigación. La tubería de Subirrigación se instala a lo largo del invernadero, colocando los tubos a un metro de separación uno de otro para garantizar el asenso capilar de manera uniforme, estos tubos transversales se conectan a través de tees especiales a la tubería perimetral del sistema. También se deben instalar con el mismo material y a cada 2 metros de separación tubos verticales de observación de los niveles del agua en el sistema subterráneo. Se recomienda utilizar tubería para drenaje agrícola con caletín de 4 pulgadas, el caletín sirve para evitar el taponamiento de las perforaciones que tiene el tubo a lo largo de su longitud por el mismo suelo cuando se recubre o se terraplana sobre él.

El procedimiento de instalación del tubo de Subirrigación es sencillo, requiere solamente un ensamblaje de la piezas. Con un ligero empuje manual se enganchan las piezas especiales con los tramos de tubo.

MANUAL DE INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS
CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA



Ilustración 48. Movimiento de tierra



Ilustración 49. Colocación de la geo membrana

MANUAL DE INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS
CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA



Ilustración 50. Colocación de la red de tubería subterránea



Ilustración 51. Ensamble de la red de tubería subterránea

A través de estos tubos se calibra el gasto que se debe aplicar y se monitorea el nivel freático dentro del sistema para mantener en óptimas condiciones de humedad a las plantas.

Cantidades utilizadas de tubería y piezas especiales en cada uno de los módulos

Para un invernadero de 1,000 m² con 2 módulos de 49 x 9 c/u, las cantidades recomendadas son:

Tabla 21. Resumen materiales de tubería y piezas especiales en cada uno de los módulos de subirrigación

Concepto	Cantidad	Posición
Tubería de drenaje con caletín de 4 pulgadas	441 m	sentido transversal
Tubería de drenaje con caletín de 4 pulgadas	116 m	perimetral
tees especiales de 4 pulgadas	88	para la red
tees especiales de 4 pulgadas	90	tubos de observación a 2 metros

Como la tubería es débil a la compresión externa excesiva, es necesario tener especial cuidado al colocar la tierra sobre los tubos cuando se lleva cabo con maquinaria.

A fin de eliminar el riesgo de colapso de la tubería por el paso de maquinaria o equipo pesado sobre el terraplén con tubería enterrada, es necesario realizar pruebas de resistencia y comprobar que espesor de suelo es suficiente para circular sobre la tubería sin que registre deformaciones.



Ilustración 52. Paso de maquinaria sobre el terraplén

Instalación de las líneas de abastecimiento de agua al sistema de Subirrigación.

El agua se debe extraer desde un almacenamiento cercano al invernadero mediante tubería de 6 y 4 pulgadas para entregar el agua controlando el gasto con válvulas de control de flujo.

Se recomienda que los módulos del invernadero tengan sistemas de Subirrigación independientes, de manera que la aplicación de agua durante un subriego puede llevarse a cabo simultáneamente o de manera independiente. Esto se logra controlando el agua mediante válvulas instaladas para cada sistema.

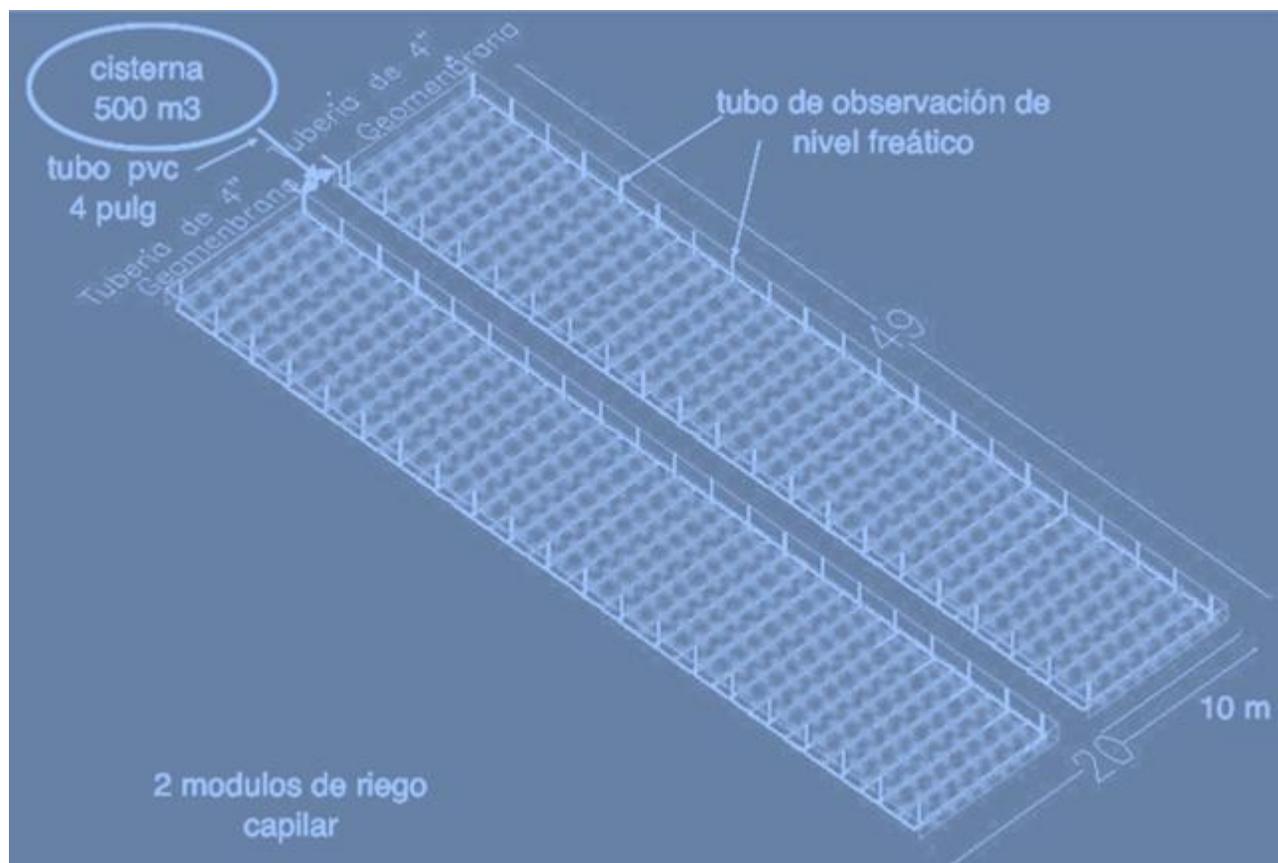


Figura 25. Perspectiva del sistema por subirrigación terminado

MANUAL DE INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS
CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA



MANUAL DE INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS
CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA



Ilustración 53. Resumen ilustrativo de la instalación del sistema de Subirrigación

LAS ACTIVIDADES EXPERIMENTALES

Preparación, adecuaciones y mantenimiento de infraestructura experimental

La puesta en operación de los sistemas de Subirrigación debe ser planeada después del paso de las fechas de riesgo de heladas, tener la plántula lista y todos los insumos necesarios.

Personal de operación

- ✓ 1 Coordinador responsable
- ✓ 1 especialista en la producción del cultivo en cuestión, Ing. Agrónomo en Fitotecnia
- ✓ 2 o 3 estudiantes becarios
- ✓ 6 personas de campo contratadas para el mantenimiento y operación de los sistemas

Previamente a la puesta en operación del sistema se llevan a cabo trabajos de movimiento y colocación de fertilizante orgánico (estiércol) en el suelo del invernadero.

Se trazan las líneas del surco o para la cintilla. Se recomienda distribuir estiércol a razón de 200 Kg por cada 10 metros de línea trazada.

Posteriormente se revuelve homogenizando la mezcla.

Después se procede a trazar de nueva cuenta las líneas como apoyo para las camas o líneas para la plantación si es el caso - camas para el trasplante.

Posteriormente, se realiza una fumigación del invernadero con FURADAN, utilizando una aspersor de mano libre. Esto con el fin de eliminar todos los bichos existentes dentro del invernadero.

Se adecuan las tuberías para el suministro de agua al sistema de Subirrigación colocando válvulas de control.

Como parte del mantenimiento se llevan a cabo trabajos de revisión y si el caso de restauración de la malla antiáfidos y del hule del invernadero.

MANUAL DE INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS
CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

Como parte de las actividades de mantenimiento y manejo de la plantación del cultivo, se llevan a cabo permanentemente trabajos de labores culturales a fin de evitar la merma en la producción.



Ilustración 54. Preparación de las parcelas bajo los invernaderos



Ilustración 55. Podas y deshoje del cultivo de Jitomate

Diseño y planeación de las actividades experimentales

La planeación y ubicación del invernadero y el almacenamiento, debe ponerse en un plano que muestre la distribución de cada elemento.

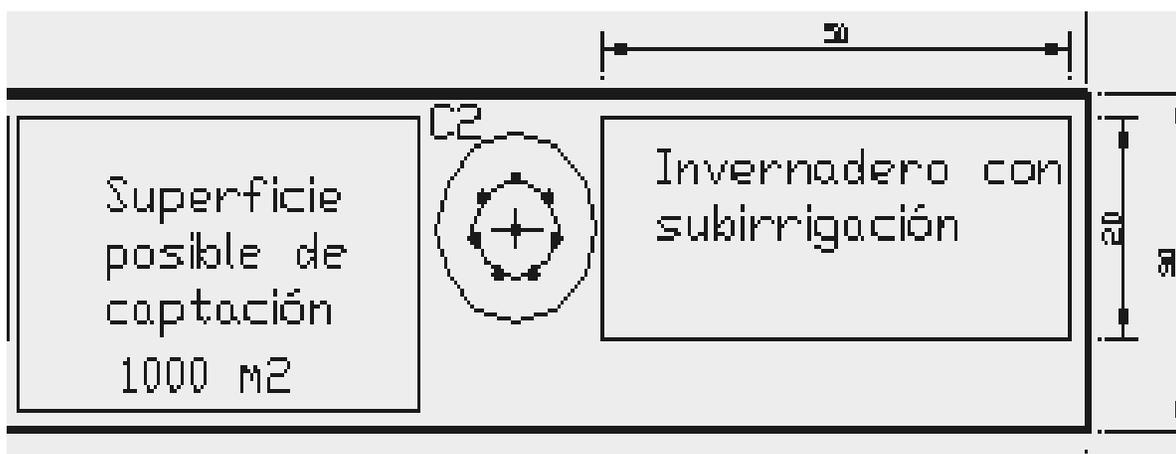


Figura 26. Ejemplo de ubicación del invernadero y almacenamiento

Se definen los componentes principales para la ejecución del proyecto.

Tabla 22. Componentes principales para la ejecución del proyecto

No	CONCEPTO	Cantidad	Características
1	Sistema de almacenamiento de agua de lluvia (cisterna)	—	Capacidad _____ litros
2	Naves de invernadero	—	Superficie _____ m ²
3	Techumbre para invernadero	—	Malla que protege a cada nave de invernadero y capta agua de lluvia
4	Canaletas y conducciones	varios	Sistema de recolección y conducción del agua de lluvia
5	Red de tubería y conducciones para el sistema de subirrigación	1	Líneas de tubería para cubrir la nave de invernadero (_____ m ²)
6	Plántula, fertilizantes e insumos	varios	

Para realizar la planeación de las actividades experimentales, es necesario poner en un cuadro los datos del sistema, dimensiones, número de plántulas, separación entre líneas de plantación y entre cada planta y la caracterización.

Tabla 23. Ejemplo de planeación de las actividades experimentales

Sistema	Surcos	largo	Plántulas	Separación entre plantas	Caracterización
Invernadero con suirrigación	12	48	3,400	40 cm	Dos módulos de 10 X 49 Frontera impermeable a 1 metro de profundidad con geo membrana y red de tubería interna

Equipamiento e insumos

Plántula

Con base en la planeación del proyecto, el cultivo que se utilizará debe considerar su rentabilidad, buen manejo, precio, demanda y mercado.

La plantación deberá ser programada inmediatamente a la fecha en que se entregue la plántula en el sitio del invernadero.

El total de plántulas se adquieren considerando factor de 10% mas y se registran los datos siguientes:

- ✓ Planta: _____
- ✓ Fecha de puesta de germinación: _____
- ✓ Lugar: Cuernavaca, Morelos: _____
- ✓ Forma de germinación: _____

Fertilizantes e insumos

Por recomendaciones de un especialista - ingeniero agrónomo, contratado ex professo, se listan y adquieren todos los fertilizantes, insecticidas, fungicidas y plaguicidas.

MANUAL DE INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS
CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

Tabla 24. Ejemplo de control de fertilizantes y fungicidas

Producto	Descripción	Ingredientes activos e inertes	Observaciones
ROTAM	Fungicida sistémico y de contacto/Polvo humectable	Metalaxil, Clorotalonil Portador, Dispersante	



Ilustración 56. Ejemplo de plántula de jitomate CID



Ilustración 57. Ejemplo de plántula de jitomate CID y trabajos preparatorios al trasplante

Desarrollo de las actividades experimentales - operación del Sistema de Subirrigación.

Se registra el día en que inicia la operación del invernadero.

Riego de Trasplante

Se da un riego ligero previo al trasplante de las plantas ya que la planta en los primeros días requiere bajas cantidades de agua.

Para dar este riego ligero se colocan cintillas en parejas en cada cama de 1.5 metros.

Trasplante de plantas, posterior al humedecimiento se realiza el trasplante en cada módulo del invernadero.

Riegos subsecuentes al riego de trasplante

Después del riego de trasplante, se llevan a cabo los siguientes riegos diarios y se registran los datos:

Tabla 25. Riegos subsecuentes al trasplante en el sistema de riego por subirrigación

Periodo	Tipo de riego y duración	Litros aplicados
Del ___ al ___ mes ___ año _____	goteo durante ___ min	_____
Del ___ al ___ mes ___ año _____	goteo durante ___ min	_____
Del ___ al ___ mes ___ año _____	goteo durante ___ min	_____

MANUAL DE INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS
CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA



Ilustración 58. Riegos por goteo y trasplante



Ilustración 59. Trasplante y riegos por goteo primer etapa

Haciendo un riego ordinario (Subirrigación) se entregaría unos 100 m³ para humedecer todo el suelo confinado dentro de la geo membrana; es decir, todo el espesor del suelo de 1 metro, siendo realmente innecesario por el tamaño de la planta.

Subriegos en el sistema de subirrigación (riegos capilares)

Primer riego capilar

Estando las plantas a una altura de 1.5 metros y revisando la profundidad radicular de las plantas se inicia el primer subriego.

Este riego se lleva suministrando a cada módulo del sistema un volumen de agua que debe ser calibrado con los pozos de observación, revisando la humedad ascendente hasta la superficie del suelo.

El procedimiento utilizado para dar el primer subriego es el siguiente:

Primero se abren totalmente las válvulas durante 15 minutos para llenar la red de tuberías del sistema. Una vez llena, se cierra la válvula de cada módulo con el fin de encontrar experimentalmente el gasto que consume el suelo a través del humedecimiento capilar, manteniendo un nivel del agua en los tubos de observación de 40 centímetros debajo de la superficie del suelo.

Con la experiencia y pruebas es posible calibrar la apertura de la válvula de 4 pulgadas y el gasto promedio correspondiente a esta apertura, que se calcula con la medición del volumen sacado del almacenamiento. Una vez seleccionado y determinado este gasto y apertura de válvula, se entrega permanentemente al sistema hasta que la humedad ascienda por capilaridad hasta la superficie del suelo (en cantidad suficiente sin que se observe humedecimiento excesivo).

Para verificar el nivel freático dentro de cada módulo, se cavan y revisan hoyos de 50 centímetros de profundidad distribuidos en cada módulo como se observa en la ilustración siguiente.

MANUAL DE INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS
CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA



Ilustración 60. Primer riego capilar. Avance de humedad desde el subsuelo.

Con ello se puede observar y comprobar que una vez establecido el nivel del agua en el subsuelo a determinados centímetros abajo de la superficie, se alcanza el humedecimiento total del suelo.

Como apoyo al control de humedad, es necesario instalar tensiómetros en los módulos a 30 centímetros de profundidad, estos elementos permiten definir la conclusión del riego en el momento en que este registra una tensión de cero (suelo saturado). Se deben colocar al menos 2 tensiómetros en cada módulo del sistema.

Segundo riego capilar

Se lleva a cabo repitiendo el procedimiento aplicado al primer subriego.

Se registra el volumen aplicado por módulo ___ m³ y el tiempo de riego del módulo.

Los módulos son regados por etapas primero uno y después otro por lo que el riego se llevo a cabo en dos o más días.

El volumen de agua aplicado en riegos posteriores es menor, debido a que en el primero el suelo estaba prácticamente seco, en cambio, a partir del segundo, el suelo dispone de humedad, aunque no la suficiente para el crecimiento normal de las plantas, ya que se pueden observar señales de estresamientos de las plantas.

Registrar el tiempo transcurrido entre cada riego y los volúmenes respectivos, durante estos periodos realizar observaciones del estado físico de las plantas y condiciones de humedad del suelo, además de sacar relaciones con las lecturas de los tensiómetros.

Nota. Al registrarse un valor de tensión superior a 40 es necesario dar el siguiente riego.

Las observaciones a las plantas permiten detectar el momento en que se inicia un estado de stress hídrico, derivado de la escasez de humedad del suelo. Con esta situación el momento para realizar el siguiente subriego.



Ilustración 61. Pozo de observación y humedecimiento capilar

MANUAL DE INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS
CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA



Ilustración 62. Pozo de observación, medición del PH y conductividad hidráulica,

Fertirrigación.

La fertilización se lleva a cabo diariamente a través de un inyector por gravedad que consiste simplemente en un tanque de 200 litros instalado de manera que la carga hidráulica proporcionado por este sea mayor de la carga hidráulica del flujo en las tuberías proporcionado por la cisterna.

Por recomendación del encargado del control y aplicación de agroquímicos, la cantidad de fertilizantes que se deben aplicar es de 1.5 gr por litro de agua suministrada en cada riego.



Ilustración 63. Tanque para Fertirrigación. Tubos de observación y colocación de fertilizantes

MANUAL DE INVERNADEROS RURALES ABASTECIDOS CON AGUA DE LLUVIA Y EQUIPADOS
CON SISTEMAS DE SUBIRRIGACIÓN CONTROLADA

Se debe registrar la cantidad de agua y gramos de fertilizante suministrada en cada riego.

Tabla 26. Ejemplo de la cantidad de agua y gramos de fertilizante en la fertiirrigación

Duración de riego	Litros aplicados	Cantidad de fertilizante Total (gr)	Cantidad de fertilizante por modulo (gr)
___ min	___	___	___
___ min	___	___	___
___ min	___	___	___

Fertirrigación durante el primer subriego

Para aplicar los fertilizantes en el subriego se utilizan los tubos de observación, con el fin de distribuir de mejor manera los fertilizantes en el subsuelo, la cantidad aplicada guarda la misma proporción de 1.5 gramos por litro de agua aplicada.

Se debe registrar la cantidad de agua y gramos de fertilizante suministrada en cada riego.

Tabla 27. Ejemplo de la cantidad de agua y gramos de fertilizante en la fertirrigación de los subriegos

Subriego	Litros aplicados	Fertilizante Total (gr)	Cantidad de fertilizante por modulo (gr)	No tubos observación	Gramos por tubo
1	___	___	___	___	___
2	___	___	___	___	___
3	___	___	___	___	___
4	___	___	___	___	___

NOTA: Se tienen ___ tubos de observación por módulo

BIBLIOGRAFIA

Barrios D. J. N., García V., Nahun H. y Gómez L. Luis (2008). “Informe técnico del proyecto Desarrollo experimental de un sistema de captación de agua de lluvia y subirrigación para zonas áridas”. Avances 2009-2010. UAZ - IMTA. Ago.2010.

Gómez L. Luis (2008), “Desarrollo experimental de un sistema de captación de agua de lluvia y subirrigación para zonas áridas”, informe del proyecto HC0820.1, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, México.

Gómez L. Luis (2010), “Invernaderos rurales abastecidos con agua de lluvia y equipados con sistemas de subirrigación controlada”, informes parciales del proyecto HC1002.1, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, México.

Salvatore Scicchitano Manual di Subirrigazione”. Siplast, 2004. Italia.

García V. Nahún H. et al. (2010). Desarrollo experimental de Invernaderos equipados con sistemas de captación de agua de lluvia, subirrigación y riego Intermitente, XXI Congreso Nacional de hidráulica, Guadalajara, Jalisco, México, Octubre 2010.