

01162



DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Facultad de Ingeniería

**LA FLEXIBILIDAD EN EL RIEGO, PROYECTO
"COSTA DE CHILA NAYARIT"**

J. JESUS VAZQUEZ MAGAÑA

T E S I S

PRESENTADA A LA DIVISION DE ESTUDIOS
DE POSGRADO DE LA

**FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

COMO REQUISITO PARA OBTENER
EL GRADO DE

**MAESTRO EN INGENIERIA
(HIDRAULICA)**

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ENERO 1997



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

JIUTEPEC, MOR. 14 DE ENERO DE 1997

**J. JESÚS VÁZQUEZ MAGAÑA
ALUMNO DE LA MAESTRÍA EN
INGENIERÍA HIDRÁULICA
DEPFI-UNAM
P R E S E N T E**

Por medio del presente hago de su conocimiento que una que he vez revisado su trabajo de tesis denominado "La Flexibilidad en el Riego, Proyecto Costa de Chila", le autorizo la impresión de dicho trabajo.

Sin otro particular por el momento, queda de usted.

A T E N T A M E N T E



**DR. JUAN ENCISO MEDINA
DIRECTOR DE TESIS**

c.c.p.- Archivo

A Dios

**A la memoria de María
Magaña, mi gran madre**

**Con todo mi amor para Erika
mi amada esposa**

**A mi querida madre y
maestra Martha Magaña**

**Con cariño a mi hermana la
Arq. María de Lourdes Vázquez Magaña**

A mis modelos Dr. Jorge Antonio Magaña e Ing. Arturo Magaña

A Leonor Magaña, mi tía preciosa

**A todos mis familiares a quienes me unen
los más caros afectos**

Con cariño a Marilú, Benjamin Lara, Victor Arroyo y Ernesto Aguilar mis amigos

A mis compañeros

AGRADECIMIENTOS:

Al Dr. Juan Enciso Medina por su incondicional apoyo en la elaboración de esta tesis.

A los sinodales de este trabajo, Dr. Alvaro Muñoz, M.I. Hugo Acosta Borbón, M.I Aldo Iván Ramírez Orozco y M.I. Mauricio Escalante Estrada.

A mis maestros con mi reconocimiento más profundo por sus enseñanzas.

A la Comisión Nacional del Agua y Instituto de Tecnología del Agua por su apoyo para la realización de mis estudios.

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

A mi querido Amigo el M.I. Raúl Montero Matamoros, por su apoyo y impulso de siempre.

LA FLEXIBILIDAD EN EL RIEGO "PROYECTO COSTA DE CHILA NAYARIT"

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

Página

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1	Antecedentes	1
1.2	Objetivos	2

CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA COSTERA DEL MUNICIPIO DE COMPOSTELA, NAYARIT, DONDE SE UBICA EL PROYECTO "COSTA DE CHILA"

2.1	Marco de referencia	3
2.1.1	Ubicación	5
2.1.2	Orografía	5
2.1.3	Fisiografía, geología y sismología	6
2.1.4	Factores climatológicos y hidrometeorológicos	8
2.1.5	Hidrografía	12
2.1.6	Topografía	14
2.1.7	Caracterización agrológica	14
2.1.8	Aprovechamiento actual del agua	16
2.1.9	Uso actual del suelo	16

CAPÍTULO 3

REVISIÓN DE LITERATURA

3.1	Metodología para estimar los parámetros de diseño	18
3.1.1	Demanda del agua	18
3.1.1.1	Coeficientes de requerimiento de riego	18
3.1.2	Balance hídrico	19
3.1.3	Evapotranspiración del cultivo de referencia	28
3.1.3.1	Metodologías empleadas	29
3.1.3.1.1	Métodos basados en la temperatura	29
3.1.3.1.1.1	Blanney - criddle, versión S.C.S.E.U	29
3.1.3.1.1.2	Modificación Blanney - Criddle F.A.O.24	31
3.1.3.1.2	Métodos basados en la radiación	33
3.1.3.1.3	Método de Penman	34
3.1.3.1.4	Evaporímetro	36
3.1.4	Evapotranspiración del cultivo	38
3.1.5	Precipitación efectiva	40
3.1.6	Aportaciones del subsuelo	44
3.2	Diseño de redes	46
3.2.1	Trazo de la red	48
3.2.1.1	Trazo por linderos	48

3.2.1.2	Método de Girette	49
3.2.1.3	Modificación a las directrices de trazo	50
3.2.1.4	Evolución de las metodologías para el dimensionamiento de redes	51
3.2.2	Determinación del gasto para un suministro a la demanda y por rotación ...	53
3.2.2.1	Fórmula de Clement	54

CAPÍTULO 4

MATERIALES Y MÉTODOS DE DISEÑO DE LA RED

4.1	Determinación de los parámetros de diseño	59
4.1.1	Patrón de cultivos y características individuales	60
4.1.2	Requerimiento de riego	61
4.1.2.1	Ecuación del balance hídrico	61
4.1.2.2	Evapotranspiración en la zona de estudio	62
4.1.2.3	Obtención de los coeficientes unitarios de riego	63
4.2	Diseño de redes	64
4.2.1	Ubicación de las tomas	64
4.2.2	Criterio para el trazado de la red	64
4.2.3	Determinación de los gastos requeridos en cada toma	65
4.2.4	Cálculo de los gastos en cada tramo de la red	65
4.2.5	Análisis de flexibilidad	66

CAPÍTULO 5

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1	Coefficientes de requerimiento de riego	67
5.2	Trazo de la red	90

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

6.1	Conclusiones	103
-----	--------------------	-----

ÍNDICE DE CUADROS

		Página
3.1	Humedad aprovechable por el suelo	26
3.2	Grado de abatimiento de los cultivos	27
3.3	Profundidad radicular	27
3.4	Coefficientes del cultivo para el método de Blanney - Criddle - SCS	30
3.5	Promedio mensual de las máximas horas posibles diarias de luz para cada mes y en la latitud norte y sur.	30
3.6	Radiación promedio para cielos despejados, Cal/L2 Día	34
3.7	Radiación extra - terrestre, expresada en evaporación equivalente	36
3.8	Máxima duración del brillo solar en horas, para diferentes meses y latitudes ...	36
3.9	Coefficientes de ajuste "C" para estimar la evapotranspiración potencial como función de la evaporación medida en tanque tipo "A".	38
3.10	Coefficientes de desarrollo del cultivo	40
3.11	Promedio de lluvia efectiva mensual con relación a el promedio mensual de evapotranspiración y el promedio mensual de lluvia.	43
3.12	Relación del coeficiente U con la Garantía de Suministro	55
5.1	Patrón de cultivos de máxima utilidad	67
5.2	Número de días del período vegetativo	68
5.3	Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)	69
5.4	Fechas claves en el desarrollo de los cultivos	69
5.5	Coefficientes de desarrollo de los cultivos y evapotranspiración	72
5.6	Determinación de la lluvia efectiva en la zona de estudio	75
5.7	Lámina neta en base a las características del suelo	78
5.8	Contribución hídrica del subsuelo	78
5.9	Lámina de aplicación y intervalo de riego proyecto "Costa de Chila"	85
5.10	Plan de riegos del proyecto "Costa de Chila"	87
5.11	Coefficientes unitarios de riego proyecto "Costa de Chila"	88
5.12	Necesidades de la red	94
5.13	Comportamiento de la función F(x) de probabilidad binomial en la red del módulo No.1.	95
5.14	Definición de la red del módulo de estudio trazo por lindes	98
5.15	Definición de la red del módulo de estudio trazo por el método de Girette	98
5.16	Dimensionamiento de la red a partir del trazo por lindes	99
5.17	Dimensionamiento de la red a partir del trazo por el método de Girette	100
5.18	Cuadro comparativo de riego a partir del trazado por el método de Girette	101

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
3.1	Esquema del balance hídrico 20
3.2	Estructuración del suelo 22
3.3	Capacidad de campo y punto de marchitamiento permanente 24
3.4	Capacidad de asimilación hídrica en diferentes tipos de suelos 25
3.5	Triángulo de texturas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos 26
3.6	Nomograma de Penman 35
3.7	Evaporómetro tipo A 37
3.8	Etapas de desarrollo del cultivo caracterizadas por los coeficientes de desarrollo KC para cada cultivo. 39
3.9	Coefficientes para estimar la lluvia efectiva 42
3.10	Contribución de humedad a la zona radicular, Doorembos y Pruitt 45
3.11	Cambios en las directrices del trazo 52
5.1	Trazo en el módulo No. 1 por lindes 97
5.2	Trazo en el módulo No. 1 por el método de Girette 97

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Página
2.1 Precipitación, evaporación y evapotranspiración. Est. "Paso de Arocha" para $KC=0.75$.	9
2.2 Precipitación, evaporación y evapotranspiración. Est. "Paso de Arocha" para $KC=0.85$.	10
2.3 Precipitación, evaporación y evapotranspiración. Est. "Paso de Arocha" para $KC=1.15$.	10
5.1 Función de probabilidad binomial $F(x)$	96
5.2 Función de probabilidad $F(x)$ acumulada	96
5.3 Impacto del intervalo de riego en costos y disponibilidad hídrica	102
5.4 Impacto del C.U.R. en costos y disponibilidad hídrica	102

ÍNDICE DE PLANOS

		Página
1	Ubicación del proyecto "Costa de Chila".	Anexo Cap. 2. i
2	Estado de Nayarit climas.	Anexo Cap. 2. ii
3	Estado de Nayarit frecuencia de heladas.	Anexo Cap. 2. iii
4	Estado de Nayarit regiones hidrológicas, zona de estudio.	Anexo Cap. 2. iv
5	Región hidrológica No. 13.	Anexo Cap. 2. v
6	Grado de Afectación de Huracanes en el Estado de Nayarit	Anexo Cap. 2. vi
7	Topografía del Módulo No. 1.	91
8	Trazado por lindes en el Módulo No.1.	92
9	Trazado por el método de Girette en Módulo No. 1.	93

RESUMEN

Dada la situación actual que se vive en el mundo respecto a la alimentación, se hace necesario implementar tecnologías que permitan obtener elevados volúmenes de producción con calidad y a bajos costos. En los últimos años, se ha investigado acerca del riego a base de tuberías de baja presión, con la modalidad de proporcionarle al usuario un grado de flexibilidad que le permita libertad en el manejo del recuso hidráulico permitiendo eficientar sus cosechas.

Debido a la importancia de la investigación y transferencia de tecnología, se hace de gran necesidad adecuar los avances que se tiene en materia de riego al entorno del país, de aquí que se requiera contar con la caracterización de la demanda hídrica que tenga cada zona de riego, así como verificar si se cuenta con las características suficientes para implementar las nuevas técnicas.

El "Proyecto Costa de Chila en Nayarit", ofrece dentro de su concepción la posibilidad de la implementación de redes de tubería de baja presión, y además cuenta con la información necesaria para realizar un estudio que permita vislumbrar las ventajas que ofrecen las nuevas tecnologías, con respecto de el riego tradicional a base de canales a cielo abierto.

El presente trabajo ofrece al Proyecto "Costa de Chila", la obtención de los coeficientes unitarios de riego de la zona de estudio, así como un análisis de flexibilidad y la simulación del funcionamiento de una red de tubería para riego a partir de canales a cielo abierto como principales arterias de la red.

En el primero y segundo capítulos se hace una descripción detallada de los antecedentes y objetivos perseguidos en este trabajo, así como una descripción del proyecto en forma global.

El tercer capítulo presenta en su primera parte, una revisión de las metodologías empleadas para la determinación de los Coeficientes Unitarios de Riego. En la segunda y última parte se muestra los diferentes criterios para el trazo de una red entubada y la determinación de los diámetros de cada tramo; así como la descripción de la metodología basada en la "Fórmula de Clement" para el análisis de flexibilidad.

El cuarto capítulo denominado "Materiales y Métodos, Diseño de la Red", presenta todos los métodos seleccionados para realizar los cálculos tanto de la red de tubería hasta resultados que llevan a la obtención de los Coeficientes Unitarios de Riego de la zona de estudio.

En el capítulo cinco se presentan todos los resultados así como su discusión; tanto de la red como de los coeficientes de requerimiento de riego. Es aquí donde se presenta una alternativa de solución al abastecimiento del agua para riego.

Finalmente en el capítulo seis se analizan los resultados y se aprecian alternativas de solución al abastecimiento del agua en cada parcela.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

En nuestro país, las técnicas productivas en el campo, se han enfocado desde hace mucho tiempo a los cultivos intensivos, suministrando el recurso hídrico en su mayoría mediante el riego por redes a gravedad, técnica que tiene la desventaja de contar con pérdidas durante la conducción, encontrando un déficit promedio del 70%. Es por ello que se hace necesario buscar e investigar alternativas para solucionar dicho problema, las grandes zonas de riego de nuestro país tienen en su mayoría deficiencias en sus redes debido a la falta de mantenimiento, lo cual ocasiona desperdicio inútil de agua causando daños ecológicos y elevando los costos de producción. Otra de las deficiencias muy marcadas que se le atribuye al riego por gravedad en los distritos de riego, donde el suministro del agua proviene de obras de almacenamiento y es distribuida por canales, es que el riego se realiza por tandeos o por rotación. Esto ofrece al usuario la incomodidad de efectuar sus riegos con intervalos muy largos, afectando su oportunidad de riego y por lo tanto su producción, por lo que se deben buscar alternativas más flexibles que permitan cierto grado de libertad en la operación del sistema.

El 60 % del mejoramiento parcelario se realiza en la nivelación y en el desarrollo de la red de tuberías interparcelarias. Al tener esta infraestructura es posible manejar agroquímicos a través del sistema y lograr una mayor productividad aunada a un uso más eficiente del recurso. Países como España invierten 1,700 dólares americanos por hectárea tecnificada y en nuestro país se piensa que las inversiones pueden ser cuantiosas.

Uno de los detalles que hay que cuidar en el diseño de una red es que los sistemas sean flexibles, es decir que el usuario pueda tener intervalos de riego más cortos que le permitan tener cultivos como hortalizas que requieren del riego más frecuente o bien hacer cambios de operación con facilidad.

Otra de las características que se deben buscar es el tener equidad en la distribución del agua. Esto quiere decir que se debe asegurar el abasto a todos los usuarios de una forma compartida. Un ejemplo de una

mala equidad en la distribución, es el caso de los usuarios que se localizan en la cola de la red. Ellos reciben el agua muy desfasada causando estrés a las plantas y en algunos casos reducciones drásticas en los rendimientos de los cultivos.

El diseño de una red debe considerar características como el ser flexible, guardar la equidad en el suministro y al mismo tiempo debe tener un bajo costo. Si se realiza un sobredimensionamiento, el costo será muy alto y la red tendrá una gran flexibilidad, el problema radica en hacer un balance de estas características.

1.2 OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es desarrollar una metodología para diseñar redes colectivas de riego de baja presión. Los objetivos específicos son:

1.- Comparar la metodología de los coeficientes unitarios de riego con el método probabilístico de Clement con el fin de obtener redes flexibles y de bajo costo.

2.- Realizar un análisis de costos y flexibilidad de una red entubada de riego dentro del Proyecto de Irrigación "Costa de Chila" ubicado en el Estado de Nayarit, y compararlo con una red de canales.

Con ello se obtendría una nueva alternativa para la realización de dicho proyecto, que ofrecería al usuario modernización en sus métodos de riego.

CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA COSTERA DEL MUNICIPIO DE COMPOSTELA, NAYARIT, DONDE SE UBICA EL PROYECTO "COSTA DE CHILA"

2.1 MARCO DE REFERENCIA

Hacia ambas márgenes de los ríos Huicicila (Miravalles) y Tigrera (Chila Viejo), sobre la porción meridional de la Planicie Costera del Estado de Nayarit, entre los 21° 19' y los 21° 05' de latitud norte, y los 105° 13' de longitud occidental, colindando con las estribaciones de la Sierra Madre Occidental hacia el este y el Océano Pacífico al Oeste, se localiza una superficie del orden de 11000 Has. de tierras de buena calidad, que se destinan, en su mayor parte, a explotaciones agrícolas. Dichos terrenos, ubicados íntegramente en el municipio de Compostela, corresponden al régimen de tenencia ejidal, formando parte de seis ejidos. Casi la mitad del área se destina al cultivo de tabaco el cual recibe un riego precario, mientras que el resto se explota bajo la modalidad de temporal, cultivándose básicamente, maíz, y frijol; poco más del 10% del área se destina a explotaciones ganaderas extensivas.

En la actualidad los recursos hidráulicos están subutilizados en esa zona, debido a que la falta de infraestructura hidráulica no permite aprovechar cabalmente los escurrimientos del río para la atención de esa superficie, cabe aclarar que el régimen de precipitación prevaleciente en la zona limita el grado de desarrollo agrícola, a base de temporal, a los niveles ya alcanzados.

Debido a lo anteriormente expuesto y a las vías de comunicación con que cuenta esa zona, es que se propone construir un sistema de riego, ya que además se cuenta con el apoyo de los productores.

Ahora bien, no obstante que el volumen medio anual del río Huicicila que asciende a 177 Millones de metros cúbicos, permitiría atender bien la referida superficie, el régimen de escurrimiento de esta corriente la cual disminuye considerablemente en época de estiaje, induce a la necesidad de construir una presa de almacenamiento para regular esos gastos.

Al realizar un análisis de efectividad - costo, se determinó que el óptimo aprovechamiento de los recursos hidráulicos, se lograría mediante la construcción de la presa de almacenamiento El Refilión y La Presa Derivadora Paso de Arocha, sobre el río Huicicila. A su vez las evaluaciones beneficio - costo de las diversas alternativas de tamaño, mostraron la conveniencia de adoptar el esquema que beneficiaría la totalidad de la superficie agrónomicamente apta. De esas superficies que suman 8282 has, el 82% sería regada por gravedad y el 18% restante mediante bombeo desde los canales.

Así pues, la Presa de almacenamiento El Refilión, sería construida con materiales graduados, con una altura máxima de cortina de 62.6 m., capacidad total de 65 .1 Millones de m³ y de conservación de 50 Millones de m³, su obra de excedencias estaría ubicada en la margen derecha, tendría un vertedor de 40 m. de longitud, con capacidad para descargar 822 m³/s. Por su parte, la presa derivadora Paso de Arocha sería de tipo flotante, construida fundamentalmente de enrocamiento, con una longitud de cresta de 65 m. y una altura máxima de 8.5 m. sobre el cauce.

A partir de la derivadora nacerá el canal principal de la margen derecha (con una longitud de 22.62 Km.), que atendería el riego de 3324 has. Posteriormente, en el Km 3+580, dicho canal se bifurca, dando origen al de la margen izquierda (que desarrolla un total de 31.84 Km.), el cual irrigaría en la propia margen derecha 1312 has, ya incluidas en la cifra anterior; más adelante esta conducción cruza el río Miravalles, por medio de un sifón, hacia la margen izquierda, donde regaría 4958 has. que incluyen los terrenos ubicados hacia la margen izquierda del arroyo La Tigra, de éstas, 669 has. serían atendidas por bombeo y 889 mediante rebombeo.

Asimismo, se instalarán dos plantas de bombeo, que junto a los sistemas de distribución, que cubrirían 139.5 Km. de drenaje, con 38.4 Km., y de caminos, que desarrollarían un total de 210.4 Km. complementarían en forma satisfactoria el funcionamiento del sistema de riego, permitiendo la atención de las 8282 has. aludidas inicialmente (ver planos de distribución de la red de canales y secciones transversales de la misma).

2.1.1 UBICACIÓN

La superficie por beneficiar con las obras de infraestructura que se proponen en este estudio, se encuentran en el suroeste del Estado de Nayarit, y comprende aproximadamente 11000 has, situadas hacia ambos márgenes del río Huicicila o Miravalles y el Chila Viejo, incluyendo el arroyo La Tigrera, afluente de este último, en las proximidades de su desembocadura al Océano Pacífico. La zona de proyecto está limitada al norte por el río Los Otates y por la Sierra de San Juan; al este por la de Zapotán; al sur por las poblaciones de Puerta de Lima y Lima de Abajo; y al oeste por zonas bajas cercanas al Océano Pacífico y serranías colindantes con el mismo, que interrumpen la continuidad de la franja costera.

Geográficamente la zona se localiza como puede apreciarse en el Plano N° 1, entre los 21° 19' y los 21° 05' de latitud norte y entre 105° 05' y 105° 13' de longitud occidental. Su altitud varía entre 2 y 50 metros sobre el nivel medio del mar.

Políticamente está comprendida en el municipio de Compostela y dentro de ella se localizan las poblaciones de Las Varas, Zacualpan, Ixtapan de la Concepción, así como el poblado de Otates y Cantarranas.

Conforme a la delimitación de los Distritos de Temporal de la SAGAR, la zona está incluida en el número uno de Nayarit, denominado Tepic.

2.1.2 OROGRAFÍA

La zona de estudio queda comprendida en el extremo meridional de la Llanura Costera del Pacífico que termina en la Sierra de Vallejo y de la cual se encuentra separada por la Sierra de San Juan; las estribaciones de estas Sierras y la de Zapotán bordean la zona de estudio, destacando los cerros de San Ignacio, El Cualcoyol y Limo de León.

El relieve montañoso general de la región, está constituido por una serie de elevaciones que varían de 100 a 1300 msnm. En algunos lugares las montañas se hallan próximas al mar, interrumpiendo la continuidad de la

planicie costera que tiene ahí un ancho muy variable; entre ellos destacan los volcanes de Las Cuevas y El Ceboruco.

El área beneficiable es de tipo alargada, yace paralela a la Costa del Pacífico, y está formada por terrenos planos con pendientes hacia el mar, dentro de ella se localizan algunos lomeríos que interrumpen su continuidad, mismos que, en algunos casos, llegan hasta el Océano Pacífico; entre ellos destaca el volcán La Tigra.

2.1.3 FISIOGRAFÍA, GEOLOGÍA Y SISMOLOGÍA

La mayor parte del Estado de Nayarit está conformada en la unidad montañosa conocida como Sierra Madre Occidental. Tiene un aspecto accidentado, y queda constituida esencialmente con formas fisiográficas que muestran la esbeltez propia de una edad relativamente corta, a la que contribuyen sus pendientes abruptas, sus gargantas profundas y estrechas además de las crestas caprichosamente desgarradas. Esta unidad montañosa ubicada al oriente del Estado esta constituida por las Sierras de San Francisco, Teponahuastla y Ixcatán, la cual forma un cordón montañoso paralelo al litoral, el cual sirve como muro divisorio entre los terrenos fangosos de la llanura costera.

En la parte media se acentúa el aspecto fisiográfico general, indicando que esta unidad no ha permanecido exenta de los fuertes movimientos de reajuste, lo anterior se establece con base al patrón fluvial de los ríos San Pedro, Huaynamota y Santiago, mismos que, observando una dirección de 25° sureste (primero y segundo) y 25° noroeste (aproximadamente tercero), realizan un cambio de dirección al oeste, efectuándose una interrupción de su continuidad original al interponerse entre ellos la Sierra de Ixcatán.

En la parte meridional, el sistema montañoso prosigue, constituyendo la Sierra de Tepic, con una sensible orientación de 30° noroeste - sureste, quedando separada la Sierra de Alica o Palomas

por la vertiente del río Grande de Santiago. Hacia el sureste se encuentra la Sierra de San Pedro y al sur las Sierras del Carretón y Zapotán que se unen, al suroeste, con la Sierra de Vallejo, la cual se encuentra separada de la Sierra de San Juan por el Valle de Tepic.

En las estribaciones de las Sierras del Carretón y Zapotán se localiza la zona de proyecto Costa de Chila, ubicada al noroeste de la provincia fisiográfica denominada Eje Neovolcánico, que se extiende a lo largo de unos 950 Km, desde el volcán El Ceboruco (situado al sureste de la ciudad de Tepic), hasta Citlaltépetl en el Estado de Veracruz con una amplitud que varía de 50 a 150 Km. Su principal característica son los conos cineríticos, piroclásticos y derrames lavíticos recientes, los cuales se alinean con una orientación noroste - sureste, y que tiene una extensión de Tepic (Nayarit) hasta Guadalajara (Jalisco).

Por lo que se refiere al tipo de rocas que se ubican en esta región, se puede decir que son predominantemente del tipo Igneo, terciarias y cuaternarias, que se apoyan en una base de rocas sedimentarias probablemente cretácicas.

En base a esto, y salvo casos locales, tanto las andesitas como las riolitas son consideradas del Mioceno y los derrames basálticos del Pleistoceno, que se encuentran en la localidad coronando lomeríos y pequeñas sierras. Además de éstos, se localizan rocas piroclásticas tipo tobas al norte del sitio y al oeste del poblado de Xalisco (Nayarit), ambas producto del volcán San Juan. Los conos cineríticos de la región se originaron mediante un sistema de fracturas radiales del volcán Sanganguey que, posteriormente a la formación de ellos, dio salida a los derrames basálticos como etapa final de tectonismo.

Las rocas sedimentarias en la región, provienen de suelos residuales y aluviales que se han ido depositando en los valles. Suelos de este tipo se localizan al este y sureste, en el valle de Compostela; al norte en el valle de Matatipac o Tepic y al sureste del sitio Paso de Arocha, donde se forma el Valle de Zacualpan. En estos dos últimos sitios, también se encuentran conglomerados de tipo epiclástico provenientes de rocas ígneas(REF. Estudio de Factibilidad Técnica del "Proyecto Costa de Chila", Subdirección de Estudios S.A.R.H. 1982).

Por lo que concierne a movimientos telúricos y de acuerdo a la Carta Sísmica de la República Mexicana, formulada por el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México, el área de estudio se encuentra dentro de la zona penisísmica, lo cual significa que tales fenómenos son poco frecuentes, su intensidad son de 5° en la escala de Richter, el equivalente a 5 o 6 grados en la escala de Mercalli modificada en 1931. El epifoco mas cercano se designa con el número 304, situado al suroeste de dicha área, recientemente entre los años de 1989 y 1994 durante la construcción de la Central Hidroeléctrica de Aguamilpa, se extendió una red de monitoreo sismológico manejada por la Comisión Federal de Electricidad, con el objeto de registrar posibles movimientos telúricos inducidos por la construcción de dicha obra, durante ese período, se pudo comprobar lo anteriormente expuesto referente a la intensidad de los movimientos tectónicos registrados en esta zona (REF. **Manifestación de Impacto Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa 1990**).

2.1.4 FACTORES CLIMATOLÓGICOS Y HIDROMETEREOLÓGICOS

De acuerdo a la clasificación de Thornthwaite y con base en los registros de las estaciones climatológicas Paso de Arocha y Zacualpan, localizadas en la porción de la zona beneficiable, a orillas del río Huicicila, el clima es de tipo B1 w A'a', es decir, ligeramente húmedo, con moderada deficiencia de agua invernal, cálido. Según la clasificación de Koppen, el clima es del tipo Aw2 (w) (i'), equivalente a cálido subhúmedo con lluvias en verano, y con invierno benigno.(REF. **Síntesis Geográfica del Estado de Nayarit INEGI 1990 y El Riego diseño y práctica Withers/Vipond**). Ver Plano No. 2.

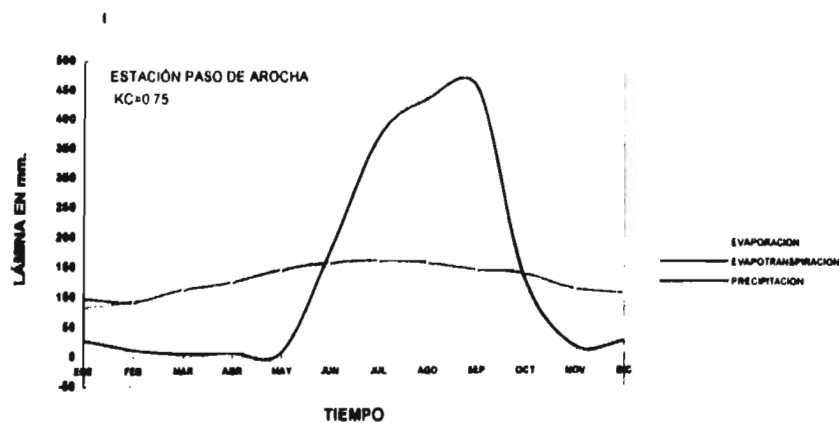
Durante el periodo de 1949 - 1995, lapso en que ha estado operando la estación de Paso de Arocha la temperatura media anual se cifró en 25.45 °C (REF. **Bases de datos, Sistema de Información Geográfica del Agua en el Estado de Nayarit S.I.G.A.**), con variaciones anuales menores a 1 °C en relación a este valor; los registros en Paso de Arocha que cubren el lapso de 1971 - 1994, la máxima de las temperaturas medias mensuales corresponden al mes de junio, teniendo unos valores de 28.90 °C en dicha Estación, mientras que la mínima, la cual ocurre entre enero y febrero, alcanza 20.9 °C, respectivamente, la temperatura máxima absoluta fue de 42 °C y se registro en el mes de abril de 1954, mientras que la mínima absoluta alcanzó 3 °C y ocurrió en el mes de febrero de 1951, cabe decir que en la región no han ocurrido heladas en el

período estudiado, las dos estaciones anteriormente mencionadas, dominan el sitio de estudio, ver Plano No. 3.

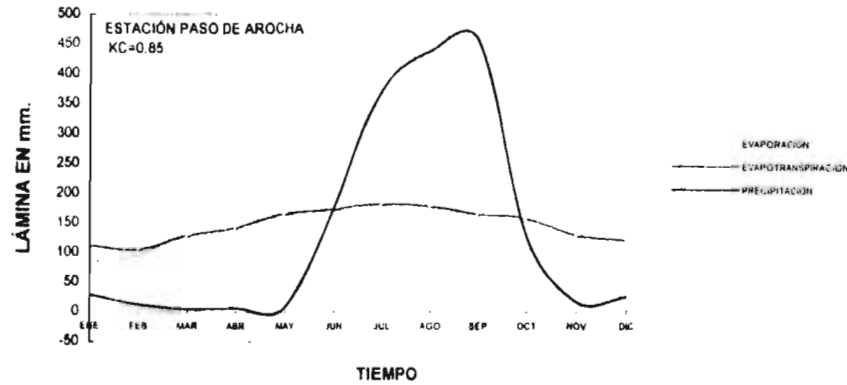
El sitio de proyecto se encuentra ubicado dentro de la región hidrológica N° 13 como se aprecia en el plano N° 4 y el plano N° 5, en dicha región se encuentra una red climatológica, la cual se encuentra operando desde 1949, en esta región se conforma por tres cuencas San Blas, Ixtapa, y Huicicila, en esta última se encuentra ubicado el Proyecto Costa de Chila, y la precipitación media anual es de 1245 mm hasta 1995, esta se incrementa hacia el oriente de la zona, de acuerdo con los datos estimados por las diversas estaciones que intervinieron en este estudio, en 1959 se presenta el año de mayor lluvia con 2273 mm., y en 1957 el año de menor precipitación, con 1174 mm, por lo que respecta a fenómenos de granizadas la incidencia es muy poca ya que en el período observado solo ocurrieron tres.

La evaporación media anual de la zona es, de acuerdo a los datos de la estación más importante que es la de Paso de Arocha, de 1393.68 mm, con un máximo de 1736 mm en 1972 y un mínimo de 982 mm en 1994, la mayor evaporación se presenta en el período marzo - agosto, en que ocurre cerca del 60% del total, esto se puede observar en las gráficas 2.1, 2.2, y 2.3, respectivamente, la máxima mensual se presenta en el mes de mayo, alcanzando la cifra de 164 mm. (REF. Boletines Hidrométricos S.R.H. 1980 Cuenca de Huicicila, F. Aparicio Hidrología de Superficie).

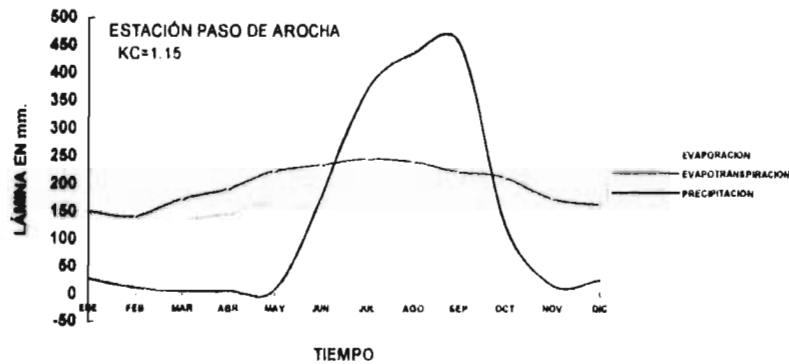
GRÁFICA 2.1 PRECIPITACIÓN, EVAPORACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN



GRÁFICA 2.2 PRECIPITACIÓN, EVAPORACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN



GRÁFICA 2.3 PRECIPITACIÓN, EVAPORACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN



La evapotranspiración potencial, se determinó basándose en el método de Blanney - Criddle del S.C.S, se utilizaron tres coeficientes de desarrollo KC para pasto, los cuales son: 1.15, 0.85 y 0.75. Se decidió utilizar estos tres coeficientes debido a que existe variabilidad de la evapotranspiración (ET) del pasto de un lugar a otro, así como de una variedad a otra. En las gráficas 2.1, 2.2 y 2.3 se evalúa el efecto de esta variabilidad en la estimación de la evapotranspiración con respecto a la precipitación y la evaporación. Se observa en

estas gráficas que la evapotranspiración que ocurre anualmente es de 2368.04 mm, 1750 mm, y 1544.32 mm, respectivamente para cada uno de los coeficientes KC mencionados con anterioridad. Se aprecia también que durante los meses de junio hasta octubre la precipitación sobrepasa a la evapotranspiración del cultivo de referencia, de manera coincidente con la época de lluvias.

La zona de proyecto se ve afectada de forma indirecta o directamente, con un grado de riesgo bajo, esto se debe a la localización continental de la región en estudio. Existen cuatro zonas de origen y en ellas los huracanes aparecen con distinto grado de intensidad, la cual aumenta a medida que avanza la temperatura que se extiende desde la última decena del mes de mayo hasta la primera quincena de octubre, considerando que los meteoros que se presentan a finales de la temporada son más intensos. Estas zonas generadoras de huracanes o zonas matriz son:

- 1.- Golfo de Tehuantepec
- 2.- Sonda de Campeche
- 3.- Caribe Occidental.
- 4.- Región Atlántica.

De acuerdo con el periodo estudiado, de 1952 a 1972 se registraron 443 huracanes con un promedio anual de 21 y correspondiendo 10 de ellos al océano pacífico que son los que afectan en mayor medida al Estado (REF. Programa Hidráulico 1995 del Estado de Nayarit, Comisión Nacional del Agua).

En el mes de mayo se inician las actividades en la zona matriz del Golfo de Tehuantepec marcando el inicio del periodo de lluvias en el país, influyendo principalmente en el sureste. Los meteoros de esta zona matriz nacen en la latitud 15° N aproximadamente y por lo general viajan al Oeste, alejándose de las costas nacionales, mientras que los formados en el mes de julio en adelante y que por lo regular son de mayor fuerza, describen una parábola que por la forma del litoral mexicano del pacífico, los hacen viajar paralelamente a las costas y al tomar la segunda rama de la trayectoria penetran a tierra al norte del cabo de corrientes, afectando los Estados de Nayarit, Sinaloa, Sonora, y el extremo Sur de la Península de Baja California. (REF. Programa Hidráulico 1995 del Estado de Nayarit, Comisión Nacional del Agua).

Durante el invierno y de acuerdo con las variaciones sufridas por la circulación planetaria, los sistemas de latitudes medias y altas, penetran en la mayor parte del territorio impartiendo al estado del tiempo, características sustancialmente diferentes de aquellas de naturaleza tropical, como lo son los nortes, las ondas y frentes fríos, y los fenómenos que se conocen como corrientes de chorro subtropicales siendo éstos los que se presentan en la época de invierno y eventualmente provocan precipitaciones en el Estado. Ver Plano No. 6. (REF. Programa Hidráulico 1995 del Estado de Nayarit, Comisión Nacional del Agua)

2.1.5 HIDROGRAFÍA

El río Huicicila tiene su origen en varias corrientes que nacen a unos 10 Km al noreste de la ciudad de Compostela, dentro del Estado de Nayarit, a unos 1600 msnm. Una vez definido su curso, toma el nombre de arroyo El Refilión; sigue una dirección noroeste durante 4 Km hasta pasar por la población de La Curva, donde se encuentra el cruce del Ferrocarril del Pacífico, sitio que cambia su dirección al suroeste continuando así por otros 9 Km aproximadamente hasta llegar al poblado el Refilión, lugar donde recibe al arroyo Chiquito y donde se encuentra la estación hidrométrica de aquél nombre. Aproximadamente 1 Km aguas abajo del poblado anterior se encuentra el cruce de la carretera Puerto Vallarta - Tepic. En este sitio, el río modifica su dirección al oeste siguiendo así por otros 2 Km, al término de los cuales se le une el arroyo Compostela y toma el nombre de arroyo Miravalles, variando su dirección al noroeste misma que conserva por otros 9 Km, posteriormente cambia su rumbo hacia el suroeste y ya con el nombre de río Huicicila recorre otros 9 Km para finalmente en las cercanías de la estación hidrométrica Paso de Arocha torcer al oeste, y después desembocar al mar pasando 4 Km antes por el poblado de Zacualpan. El recorrido total de este río es de aproximadamente 50 Km. Su cuenca denominada Huicicila (anteriormente mencionada) de unos 626 Km², esta orientada sensiblemente hacia el poniente tal y como se aprecia en el plano N° 2 limita al norte con el río Ixtapán, al noroeste y este con la del río Tepic, afluente del Santiago, al sureste con la del río Ameca, al sur con la cuenca del río Chila y al oeste con el Océano Pacífico.

El arroyo la Tigresa nace en la sierra de Zapotán con el nombre de arroyo Mazatán a una altura cercana a los 1100 msnm aproximadamente 5 Km al sur del poblado del mismo nombre en el Estado de Nayarit.

inicialmente toma la dirección norte hasta pasar por el poblado mencionado donde vira al noroeste y 5 Km aguas abajo recibe, por su margen derecha, las aportaciones del arroyo Agua Zarca, lugar donde tuerce al oeste, y unos 3 Km adelante cambia su nombre por el arroyo La Tigra, continuando en la misma dirección por unos 15 Km más, hasta llegar a las cercanías del poblado Las Varas; en este tramo se le unen varios arroyos como son: Los Becerra, Las Truchas y La Vainilla, por la margen izquierda, y El Limoncillo y La Mesilla por la margen derecha. A la altura del poblado mencionado, el arroyo se desvía hacia el noroeste para unirse 4 Km aguas abajo, al río Chila Viejo, a partir de donde se dirige al oeste hasta su desembocadura, unos 8 Km aguas abajo en la Boca de Chila.

El recorrido total del arroyo La Tigra, hasta su unión con el Río Chila Viejo, es de aproximadamente 30 Km. Su cuenca desarrolla 285 Km² y limita al norte y este con el Río Huicicila, al sur con el Ameca, y al oeste con el Océano Pacífico.

Los escurrimientos del río Huicicila o Miravalles, se aforan en dos estaciones hidrométricas, denominadas El Refilión y Paso de Arocha. La primera de ellas se encuentra situada en la parte alta de la cuenca, inmediata al poblado el Refilión; unos 2 Km. aguas arriba del puente de la carretera Puerto Vallarta - Tepic, en el municipio de Compostela. La estación Paso de Arocha está localizada a la altura del poblado Paranal, en la entrada del río a la planicie costera, aproximadamente a 15 Km de su desembocadura. Las áreas de la cuenca drenada hasta estas dos estaciones son 200 y 522 Km² respectivamente.

Los escurrimientos registrados en la estación el Refilión, tienen un promedio anual de 69.4 Millones de m³, los mayores escurrimientos ocurren en el lapso julio - octubre, período en el que se concentra el 75% del total anual, mientras que los menores se presentan en los meses de abril y mayo cuando el caudal se reduce a menos de 1m³/s.

Los escurrimientos registrados en la estación Paso de Arocha, tienen una media anual de 177.4 Millones de m³, en el lapso de julio - octubre, se concentra el 82% del escurrimiento medio anual, los meses de menor

escurrimiento son abril y mayo, en los que el caudal se reduce a 1 m³/s, al igual que en la estación anteriormente mencionada.

Por lo que se refiere a los gastos máximos anuales registrados en ambas estaciones, se tiene registrado un gasto de 1386 m³/s en la estación Paso de Arocha, en julio de 1953 y de 286.2 m³/s en la estación el Refilión en septiembre de 1980.

2.1.6 TOPOGRAFÍA

Con el propósito de obtener información topográfica de la zona, se levantaron los terrenos que se extienden desde el margen izquierda del arroyo La Tigrera, hasta aproximadamente 10 Km. al norte del río Miravalles, cubriendo una extensión de 26000 has. ambos levantamientos se efectuaron de la cota 0 a la 150 msnm. En resumen se podría señalar que el terreno tiene poca pendiente en la mayor parte de su extensión, pero existen zonas en las que existe una pendiente favorable para la utilización de tuberías de baja presión.

2.1.7 CARACTERIZACIÓN AGROLÓGICA

El estudio agrológico realizado en una superficie de 24000 has, dió condiciones favorables para el desarrollo de la agricultura bajo riego, la clasificación indica que se existen 4 series de suelos, cuyas principales características son las siguientes:

Los suelos de la serie Charay comprenden una superficie de 6190 has, y se encuentran localizados en las vegas y márgenes de los ríos y arroyos, son de origen aluvial, recientes, profundos, de planos a suavemente ondulados, con pendientes menores de 3%, presentan texturas medias en los horizontes superiores y finas en los inferiores, con alto porcentaje de arcilla y buen drenaje. En ocasiones, el manto freático se localizó entre 160 y 200 cm de profundidad, y en pequeñas áreas presentaron problemas de salinidad.

La serie Rosarito abarca una superficie de 12166 has, cuyos suelos se localizan en lomeríos suaves y zonas onduladas. Son de origen insitu aluvial, jóvenes, profundos y semiprofundos, el relieve es de

suavemente ondulado a ondulado, con pendientes de 2 a 8 %; las texturas son medias en los horizontes superiores y finas en los inferiores y el drenaje superficial tiende a excesivo.

La serie aguaje está formada por suelos que ocupan una superficie de 627 has, ubicadas en las partes planas y bajas; son de origen aluvial, jóvenes, planos con pendientes menores de 2%. En el perfil, las texturas dominantes son arcillosas, el drenaje es moderadamente lento y algunas áreas presentan problemas de salinidad.

Los suelos que agrupa la serie Barotén cubren una superficie de 5571 has, localizadas junto a los ríos y arroyos son suelos de origen aluvial, recientes, profundos, con relieve casi plano y pendientes hasta del 3%; tienen texturas medias con alto porcentaje de arena en el perfil y el drenaje es eficiente.

Acorde con las especificaciones utilizadas por la S.A.G.A.R. (REF. *Caracterización de Suelos, S.A.R.H. 1982*), para la clasificación de suelos según su aptitud agrícola bajo riego, los de esta zona se clasificaron como de primera, segunda, tercera y cuarta clase.

Por orden de aparición los suelos de primera clase (Charay), comprenden una superficie utilizable de 6614 has, presentan limitaciones para su uso bajo riego, y con un mínimo de manejo pueden obtenerse altos rendimientos en la mayoría de los cultivos adaptados a la región.

Los de segunda clase (Rosarito), tienen una extensión utilizable de 10639 has, tiene ligeras limitaciones para la irrigación, son moderadamente productivos y requieren de mejor manejo para obtener altos rendimientos de los cultivos de la región, los factores limitantes son la inundabilidad, escasa profundidad, drenaje ligeramente rápido, texturas arcillosas y lenta permeabilidad, así como la somera salinidad, es en esta zona donde es factible instalar un sistema de redes a baja presión.

Los suelos de tercera clase (Aguaje), comprenden 4324 has, presentan moderadas limitaciones para su uso agrícola bajo riego, por los mismos factores que afectan a la segunda clase, exceptuando la inundabilidad y salinidad, por lo que requiere de un manejo de alto nivel para obtener mejores rendimientos.

Por último, los suelos de cuarta clase (Barotén), cubren 3427 has, y quedan situados en lomeríos y cerros, por lo que su empleo está muy limitado por el escaso espesor de suelo, relieve ondulado, afloramientos rocosos, pedregosidad superficial y de perfil.

2.1.8 APROVECHAMIENTO ACTUAL DEL AGUA

En la región hidrológica N° 13, que es donde se ubica el proyecto, se extraen anualmente 28.42 millones de m³, y los riegos a cultivos intensivos se realizan por medio de extracciones directas a las fuentes de abastecimiento, con la construcción de las obras de captación se optimizará el uso del recurso hidráulico.

2.1.9 USO ACTUAL DEL SUELO

Se cuenta con un total de 11041 has, de las cuales 4976 están sujetas a riego, que básicamente son regadas por aspersión y 4805 has están destinadas a la agricultura de temporal. Asimismo, los terrenos forestales de selva baja caducifolia, que sumaron 994 has y 266 has, son terrenos de uso pecuario con vegetación de matorral y pasto.

Los cultivos que se manejan bajo la modalidad de riego, con una ocupación del 45.1% del área, en la cual se desarrolla principalmente el cultivo del tabaco, y en menor escala el sorgo, son cultivados en el ciclo otoño - invierno, durante el ciclo primavera verano y bajo la modalidad de temporal, se siembra el 41.7% restante de la extensión con la modalidad de maíz y ajonjolí, también se debe incluir al frijol, cultivo que se produce a finales del ciclo, con objeto de utilizar la humedad restante, también son cultivados los frutales con una dominación de 1.8% del área, predominando el plátano, mango y piña.

RESUMEN

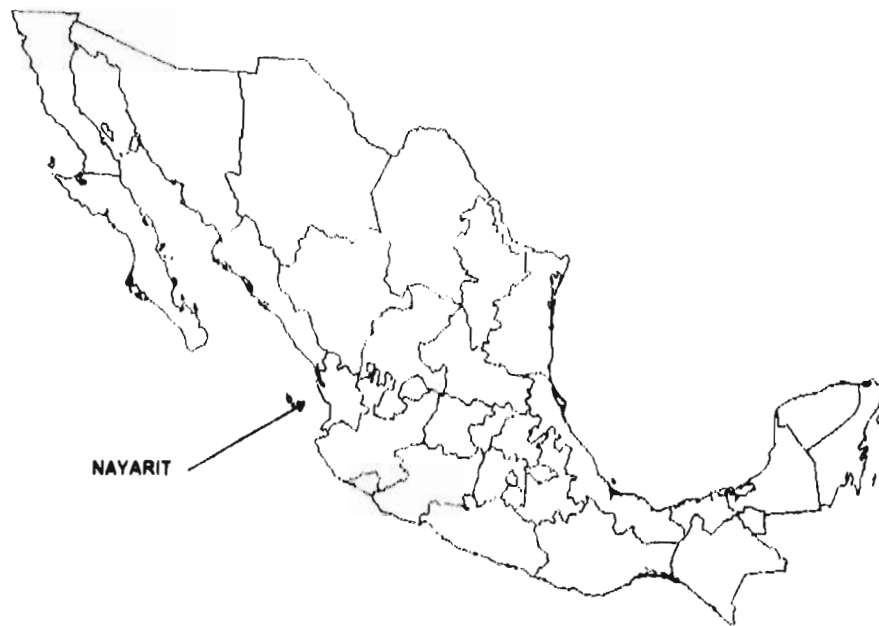
En este capítulo se ha descrito la situación actual del sitio de proyecto, y sus características ambientales. Así como la alternativa de riego por gravedad basada en una red de canales, la cual se está proponiendo como solución al suministro de agua hasta la zona de producción, de igual manera se detecta que en dicho proyecto tiene cabida la introducción de una red de tuberías de baja presión, y el procedimiento de análisis de flexibilidad propuesto es aplicable, con lo que se modernizaría el riego en esa zona y eficientaría el uso de agua.

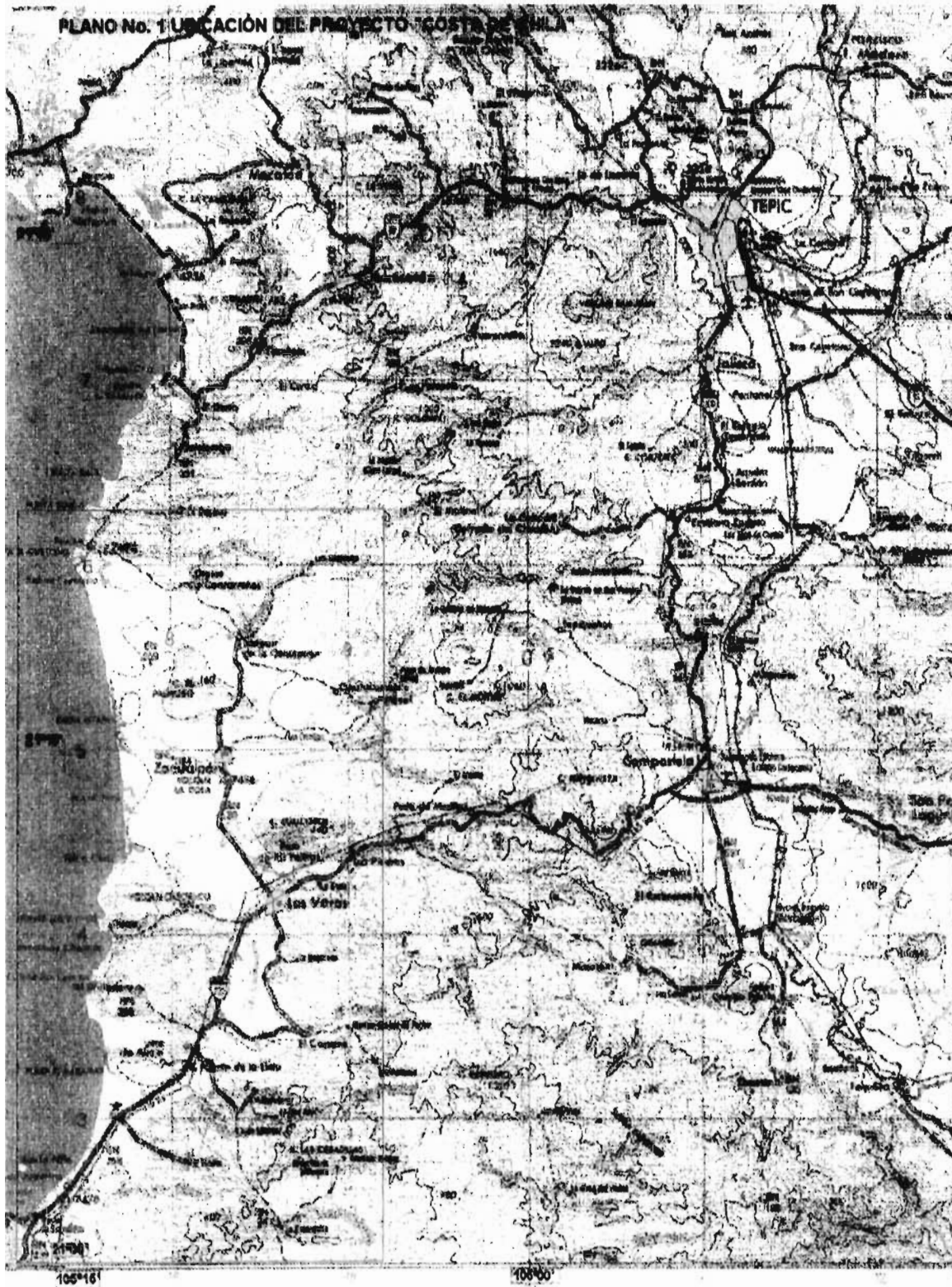
El "Proyecto Costa de Chila", está basado en el aprovechamiento de los escurrimientos del Río Huicicila, para ello se hace necesaria la construcción de una presa de almacenamiento denominada "El Refillón", la cual tendrá una capacidad útil de 45.5 Mm³ con lo cual se pretende abastecer del recurso hídrico a 12,000 has. teniendo un promedio de suministro de 3,792 m³/ha como disponibilidad en el mes de máxima demanda el cual es noviembre, este volumen será derivado a la zona de riego por medio de la presa "Paso de Arocha". El periodo en donde se demanda el riego, comprende los meses de septiembre a mayo, en donde se pretende sembrar cultivos de ciclo corto (4 meses) como: maíz, frijol y arroz, la obra también sería benéfica para establecer cultivos perennes que tengan un mayor valor como lo son cítricos y frutales, o bien para elevar producciones en pastizales, caña de azúcar y alfalfa.

La propuesta de diseño de una red de baja presión, comprende un módulo ubicado en el Km 21+200 en la red de canales de la margen izquierda, beneficiando a 503.204 ha., las cuales se dividen en 12 lotes de igual número de dueños. Los cultivos que se pretende implantar en este módulo son los mismos que se indicaran en los capítulos siguientes.

ANEXO CAPÍTULO 2

PLANO DE LOCALIZACIÓN





Anexo Cap. 2, i

PLANO No. 2

CLIMAS EN EL ESTADO DE NAYARIT

SIMBOLOGÍA

TIPOS DE CLIMAS SEGÚN KOPPEN

GRUPO DE CLIMAS CÁLIDOS

CÁLIDOS

- Am(w) % lluvia invernal < 5 mm.
- Aw2(w) % lluvia invernal < 5 mm.
- Aw1(w) % lluvia invernal < 5 mm.
- Aw0(w) % lluvia invernal < 5 mm.
- Aw0 % lluvia invernal entre 5 y 10.2 mm.

SEMICALIDOS

- (A)C(w2)(w) % lluvia invernal < 5 mm.
- (A)C(w1)(w) % lluvia invernal < 5 mm.
- (A)C(w0)(w) % lluvia invernal < 5 mm.

GRUPO DE CLIMAS TEMPLADOS

SEMICALIDOS

- (A)C(w2)(w) % lluvia invernal < 5 mm.
- (A)C(w1)(w) % lluvia invernal < 5 mm.
- (A)C(w1) % lluvia invernal < 5 mm.
- (A)C(w0)(w) % lluvia invernal < 5 mm.
- (A)C(w0) % lluvia invernal entre 5 y 10.2 mm.

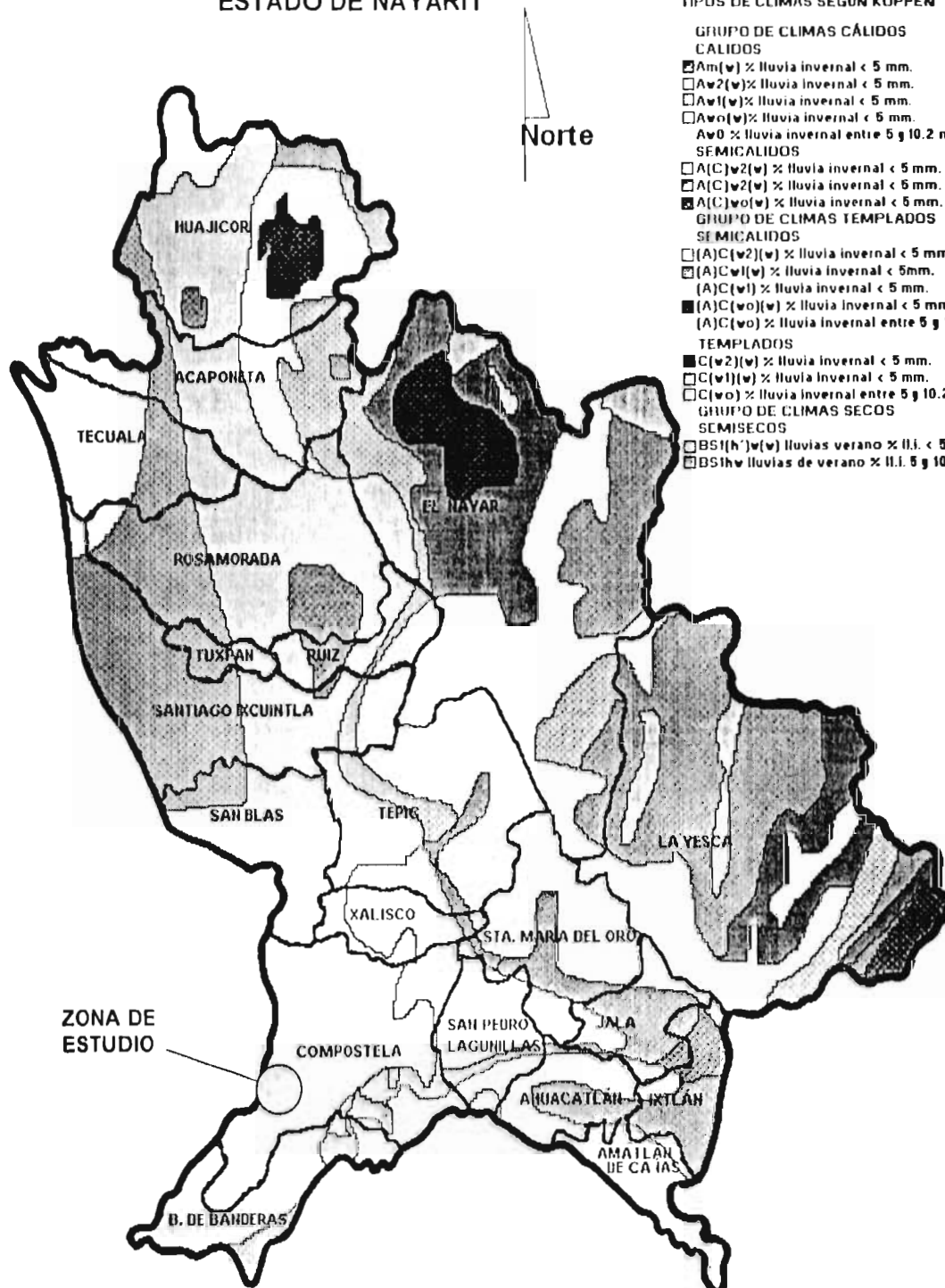
TEMPLADOS

- C(w2)(w) % lluvia invernal < 5 mm.
- C(w1)(w) % lluvia invernal < 5 mm.
- C(w0) % lluvia invernal entre 5 y 10.2 mm.

GRUPO DE CLIMAS SECOS

SEMISECOS

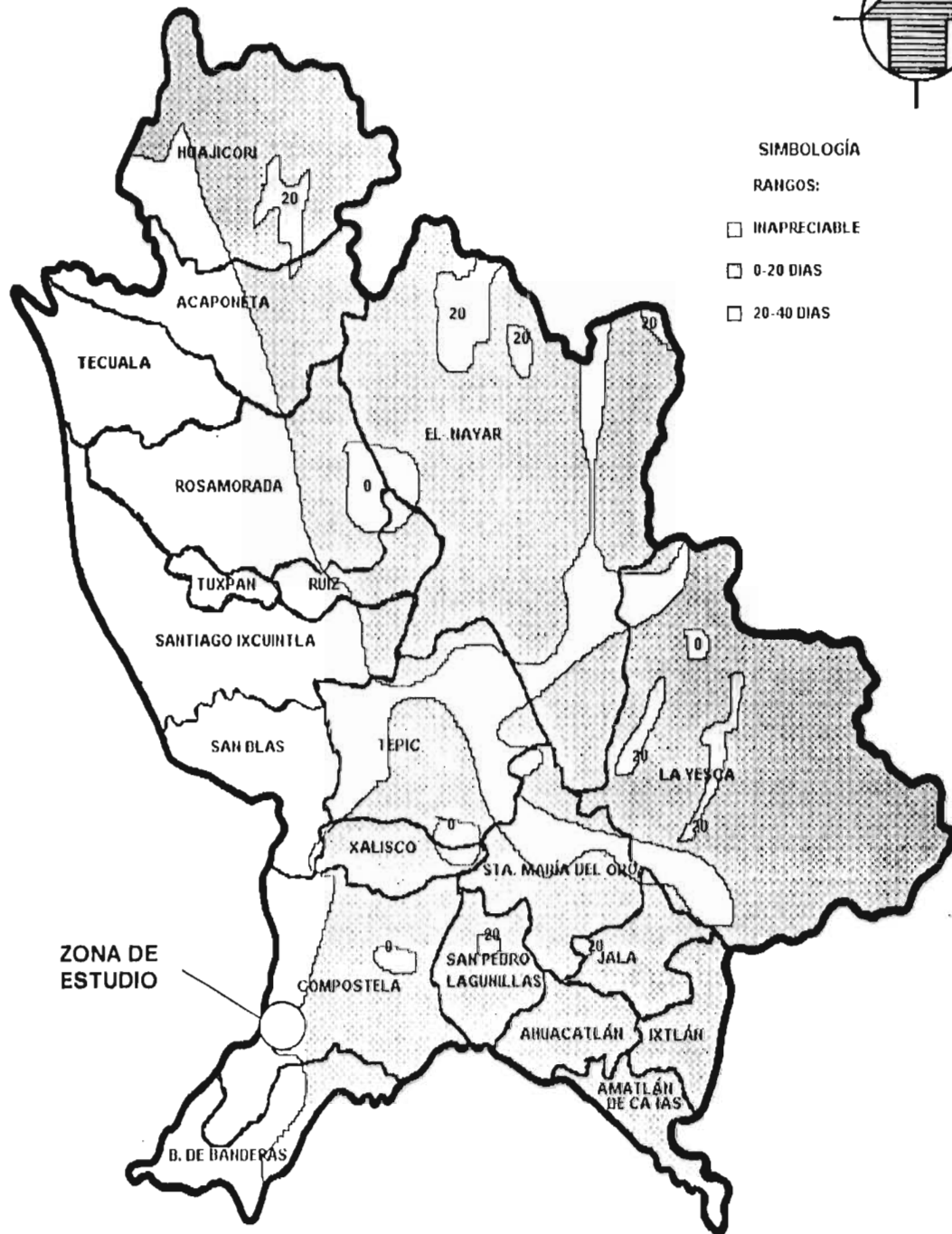
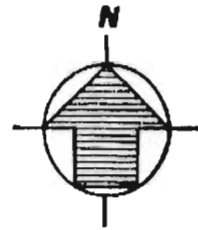
- BSh(h)(w) lluvias verano % II.I. < 5 mm.
- BShw lluvias de verano % II.I. 5 y 10.2 mm.



FUENTE: SÍNTESIS GEOGRÁFICA DE NAYARIT, INEGI, 1989.

PLANO No. 3

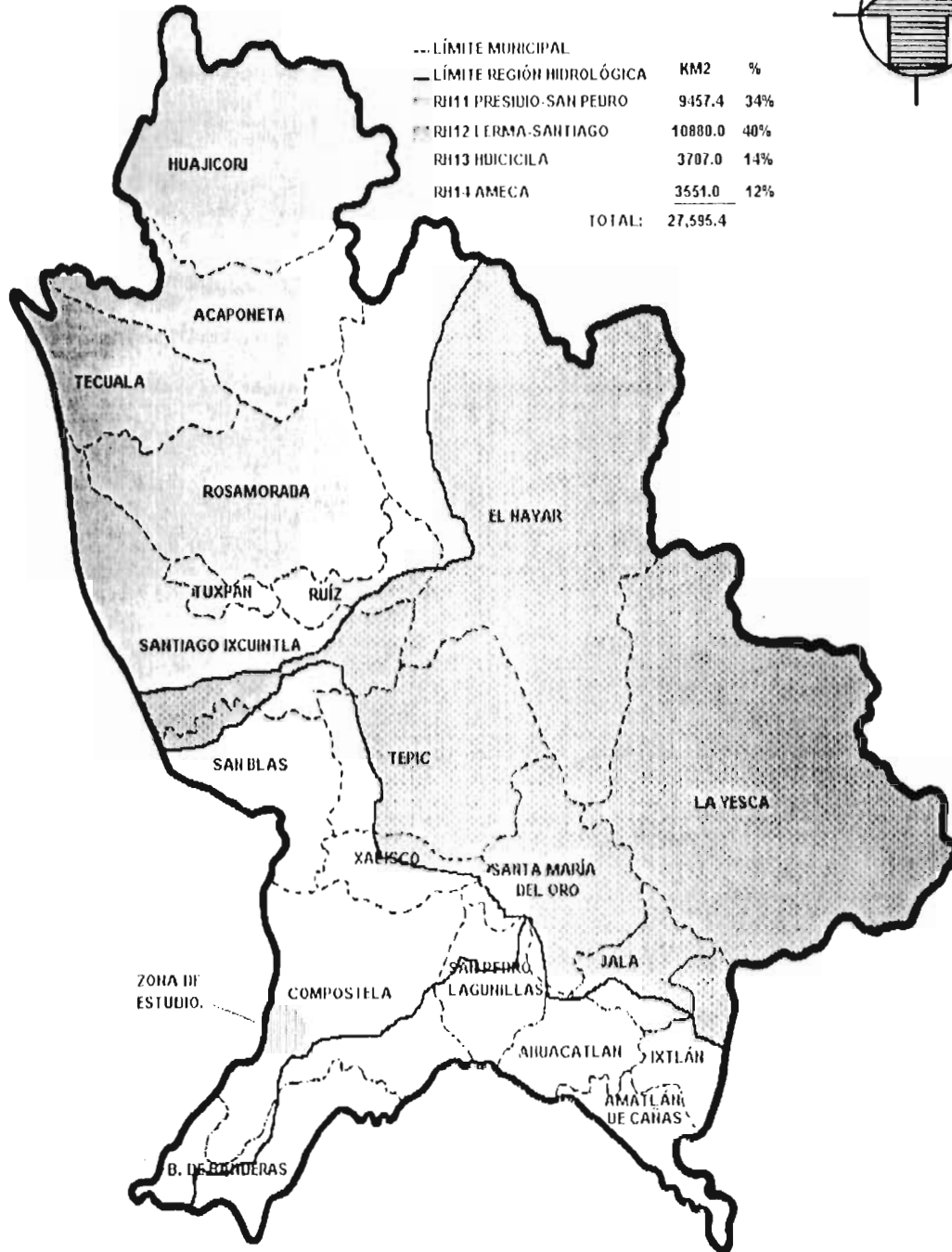
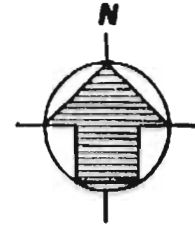
**FRECUENCIA DE HELADAS EN
EL ESTADO DE NAYARIT**



FUENTE: SÍNTESIS GEOGRÁFICA DE
NAYARIT, INEGI, 1989

PLANO No. 4

REGIONES HIDROLÓGICAS EN EL ESTADO DE NAYARIT Y ZONA DE ESTUDIO



	KM2	%
--- LÍMITE MUNICIPAL		
— LÍMITE REGIÓN HIDROLÓGICA		
■ RH11 PRESIDIO-SAN PEDRO	9457.4	34%
■ RH12 LERMA-SANTIAGO	10880.0	40%
■ RH13 HUICICILA	3707.0	14%
■ RH14 AMECA	3551.0	12%
TOTAL:	27,595.4	

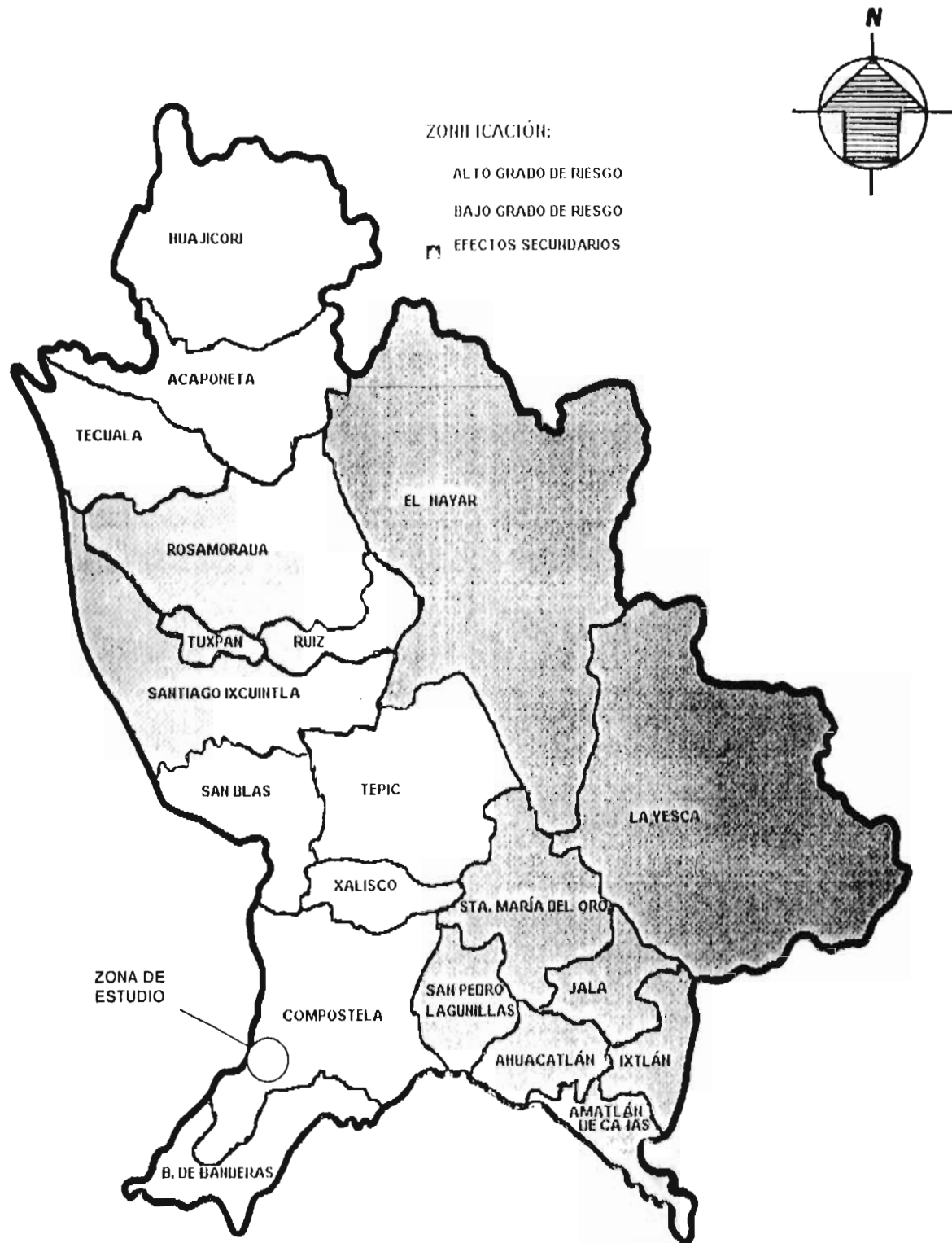
FUENTE: SÍNTESIS GEOGRÁFICA DE NAYARIT, INEGI, 1989

PLANO No. 5 REGIÓN HIDROLÓGICA No. 42



Anexo Cap. 2. v

PLANO No. 6 GRADO DE AFECTACIÓN DE HURACANES EN EL ESTADO DE NAYARIT



FUENTE: SÍNTESIS GEOGRÁFICA DE NAYARIT, INEGI, 1989

CAPÍTULO 3

REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 METODOLOGÍA PARA ESTIMAR LOS PARÁMETROS DE DISEÑO

En todos los proyectos de riego, es necesario considerar el volumen de agua por utilizar como un factor de vital importancia, es por ello que en este apartado de revisión de literatura, se pretende conocer todo lo relacionado con el aprovechamiento del recurso hidráulico.

3.1.1 DEMANDA DEL AGUA

En la mayoría de las zonas de riego del país, la mayor parte del volumen de agua captado, es destinado directamente para el riego. Sin embargo, en algunas ocasiones una parte pequeña de dicho volumen, se destina a diversas actividades como son: uso doméstico, industrial, acuacultura y lavado de terrenos salinos. Es por ello que el agua necesaria en la zona de riego, se puede estimar como una función de los patrones de cultivo y del requerimiento de riego por cada tipo de cultivo. (REF. E. Palacios Velez, 1989)

3.1.1.1 COEFICIENTES DE REQUERIMIENTO DE RIEGO

Este método se debe emplear cuando no existe ningún tipo de información referente a el riego. Espinosa León (1967) aporta una metodología la cual consiste en estimar la distribución del área mensual regada por cultivo, en función del número de riegos que se le aplican, las fechas de siembra y los intervalos de riego.

Actualmente en gran parte de las zonas de riego del país, se utiliza la simulación sintética. Es por ello que se describe a continuación la mencionada metodología:

Primero es necesario calcular la evapotranspiración del cultivo (E_t), la cual es función de los datos climáticos de la zona en estudio. Por otra parte la evapotranspiración del cultivo se afecta por muchas variables como son: la cantidad de agua que se le aplica a el cultivo, la etapa de desarrollo del mismo, y las condiciones propias del suelo. Las investigaciones realizadas por Jensen y Haise (1963), han demostrado que las estimaciones de la evapotranspiración de los cultivos en base a medidas de la radiación solar son muy

confiables. Sin embargo en México no se cuenta con este tipo de información en la mayor parte de las zonas agrícolas, por lo que se debe de tomar en cuenta la información con la que se cuente.

El segundo paso es la estimación de la lámina que puede almacenar el suelo, la cual es función de su humedad, densidad aparente y la profundidad considerada, la cual depende de la profundidad radicular del cultivo.

En el tercer paso, se estiman las áreas que se regarán en cada mes dentro del ciclo de desarrollo del cultivo, considerando las fechas de establecimiento del cultivo. En esta etapa del proceso se considera al área física, la cual se puede regar varias veces al año, como una unidad de tal manera que si se regara en cinco ocasiones, se consideraría un área total regada de cinco veces la unidad.

Como cuarto y último paso, para calcularse los coeficientes mensuales de requerimiento de riego bruto, se debe de dividir a los coeficientes netos entre la eficiencia de conducción del mes correspondiente. (REF. E. Palacios Velez, 1989)

3.1.2 BALANCE HÍDRICO

En el apartado anterior se pudo apreciar la metodología usual, que se sigue para determinar los requerimientos de agua en una zona de riego, ahora se pretende puntualizar en el desarrollo de dichas metodologías.

Para comenzar se podría decir que el método del balance hídrico consiste en observar los cambios de almacenamiento de agua en el suelo. La ecuación del balance hídrico se puede explicar con base a la Figura No. 3.1, la cual muestra los parámetros utilizados en el balance hídrico de una superficie donde se aplica el riego. Los términos que se aprecian en dicha figura son los siguientes:

D_a Lámina de riego aplicada.

$D_{\Delta S}$ Profundidad promedio, donde ocurre un cambio en la humedad media del suelo en la zona radicular, en donde se tiene un valor positivo por el incremento de la humedad.

D_{dp} Infiltración.

D_e Lámina de evaporación desde la superficie del suelo.

- Det Lámina de evapotranspiración.
- Dgw Aportación de los mantos freáticos por la acción capilar.
- Dp Lámina de precipitación.
- Dpl Lámina de precipitación interceptada por la planta.
- Dpr Lámina de escurrimiento.
- Dpz Lámina de precipitación que se infiltra en el suelo.
- Dt Lámina de transpiración desde las plantas.
- Dtw Lámina de escurrimiento del riego suministrado.
- Dz Lámina infiltrada del riego suministrado.

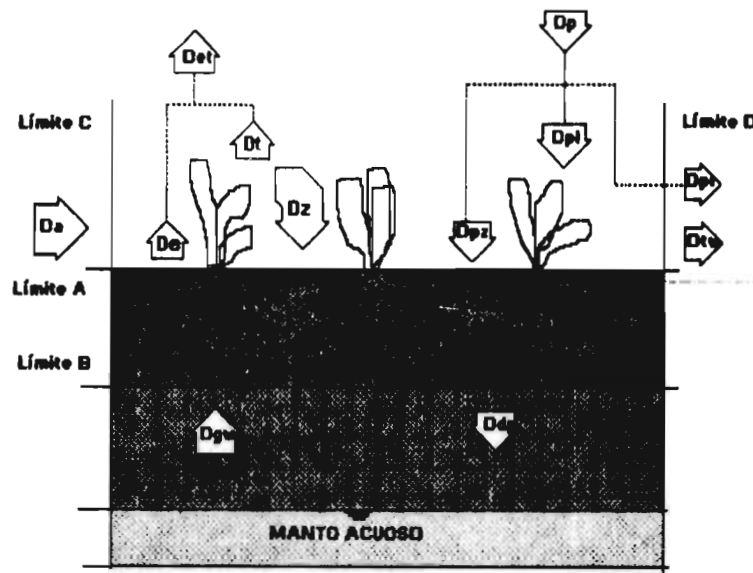


FIGURA 3.1 PARÁMETROS UTILIZADOS EN EL BALANCE HÍDRICO

Existen dos términos útiles adicionales para la definición de estos puntos:

- Dpn Lámina neta de precipitación o lámina de precipitación disponible para el sistema del cultivo.
- Dd Lámina requerida de drenaje para mantener el balance salino suficiente para que se efectue el desarrollo adecuado de la planta.

El principio de continuidad, es aplicable al balance hídrico en una sección de control, en la cual se encuentra una planta, el resultado de la diferencia entre las entradas de fluido (I) y las salidas (O), será el volúmen destinado al desarrollo del cultivo para considerarlo como satisfactor económico. Esto es:

$$I - O = \Delta S \quad (3.1)$$

Los límites que se aprecian en la Figura 3.1 (A,B,C,D), se pueden distinguir en la ecuación de continuidad de la siguiente forma:

$$\underbrace{(D_a + D_{gw} + D_p)}_{\text{entrada de flujo}} - \underbrace{(D_{et} + D_{pr} + D_{tw} + D_{dp} + D_{pl})}_{\text{salida de flujo}} = D_{\Delta S} \quad (3.2)$$

En donde se definen:

$$D_a = D_z + D_{tw} \quad (3.3)$$

$$D_p = D_{pz} + D_{pl} + D_{pr} \quad (3.4)$$

$$D_{et} = D_e - D_t \quad (3.5)$$

Uno de los términos más difíciles de determinar en el balance hídrico, es la infiltración D_{dp} , la cual comunmente se estima a partir del conocimiento de otras variables en la ecuación 3.2.

En la Figura No. 3.2, se aprecia la estructuración del suelo, a partir de la cual se pueden definir los conceptos necesarios para representar la ecuación de balance hídrico, entre ellos se puede mencionar la porosidad (Φ), el contenido volumétrico de agua (Θ), y el grado de saturación (S). Los cuales se obtienen mediante las siguientes expresiones:

$$\Phi = V_p / V_T \quad (3.6)$$

$$\Theta = V_w / V_T \quad (3.7)$$

$$S = V_w / V_p \quad (3.8)$$

Las tres ecuaciones anteriormente escritas, se pueden asociar de la siguiente manera:

$$\Phi = \Theta S \quad (3.9)$$

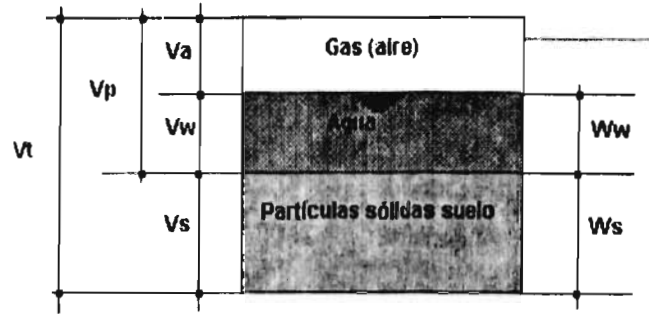


FIGURA 3.2 ESTRUCTURACIÓN DEL SUELO

En algunos cálculos la humedad contenida del suelo se obtiene en términos de peso (W), es decir el peso del agua contenida en una muestra de suelo (W_w), relacionado con el peso de la muestra seca (W_s), esto se denota por la siguiente expresión:

$$W = W_w / W_s \quad (3.10)$$

De aquí podemos deducir una ecuación que determine el contenido volumétrico de agua con base al peso, esta es:

$$\Theta = \gamma_b W \quad (3.11)$$

En donde el factor (γ_b) es el peso específico del suelo seco, relacionandolo con la porosidad (Φ) y el peso específico de las partículas del suelo (γ_s) tenemos que:

$$\gamma_b = \gamma_s (1-\Phi) \quad (3.12)$$

En términos de láminas, la ecuación de balance hídrico se puede escribir de la siguiente forma:

$$L_n = \sum (E_t - L_{le} - A_s) - L_a \quad (3.13)$$

En donde:

- L_n** Lámina neta de riego en un intervalo considerado (L).
- E_t** Evapotranspiración del cultivo (L).
- L_{le}** Lluvia efectiva (volumen de agua que utiliza la planta en una lluvia) (L).
- A_s** Contribución del agua subterránea al cultivo (L).
- L_a** Porción de agua almacenada al comienzo del periodo y que se puede utilizar para satisfacer los requerimientos de la E_t del cultivo (L).

Existen varias formas de obtener la información necesaria para resolver la ecuación de balance, una de ellas es la utilización de registros climatológicos obtenidos como promedios de datos mensuales. La otra forma es utilizando la información obtenida en tiempos reales. (REF. *Management of Farm Irrigation Systems, 1990*)

Las características propias de los cultivos, son indispensables para determinar los requerimientos de riego, Es por ello que se debe considerar la profundidad radicular del cultivo, con ello se determina la capacidad de almacenamiento del suelo. Ahora, también es necesario conocer la fase crítica de la planta, la cual ocurre cuando en su etapa de desarrollo necesita de agua.

Dentro de las características del suelo, se deben de manejar dos conceptos: Capacidad de Campo (C.C.) y Punto de Marchitamiento Permanente (P.M.P.). La Figura No. 3.3, esquematiza los dos conceptos anteriores:

La Capacidad de Campo (Θ_{cc}), es el contenido de humedad que guarda el suelo después que el exceso de humedad se ha retirado (la cual es retenida a una presión de 0.333 kg/cm² aproximadamente en limos y arcillas). (REF. *El Riego: Diseño y Práctica, 1979*)

El Punto de Marchitamiento Permanente (θ_{pmp}), es el contenido de humedad atrapada en el suelo, que no puede ser extraído por la planta (retenido por el suelo a una presión de 14 kg/cm² aproximadamente).

Estos conceptos se pueden asociar a el peso específico del suelo (γ_b) de la siguiente manera:

$$\theta_{cc} = \gamma_b W_{cc} \quad (3.14)$$

$$\theta_{pmp} = \gamma_b W_{pmp} \quad (3.15)$$

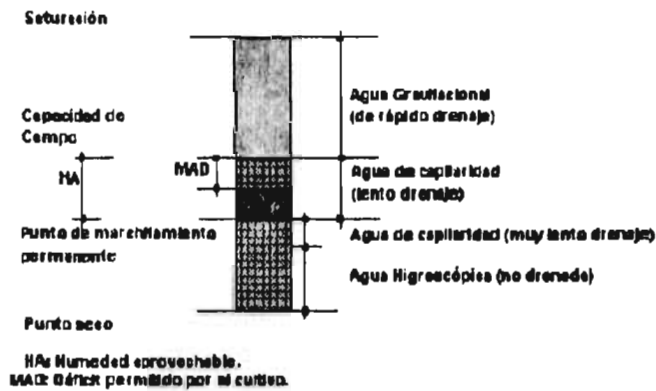


FIGURA 3.3 CAPACIDAD DE CAMPO Y PUNTO DE MARCHITAMIENTO PERMANENTE

Estos dos conceptos mencionados anteriormente, resumen la humedad aprovechable del suelo dentro de la profundidad radicular, la cual se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$HA = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) Prad \quad (3.16)$$

En donde:

HA Es la humedad útil (L).

θ_{cc} Capacidad de campo (contenido volumétrico en base a peso) (%).

θ_{pmp} Punto de marchitamiento permanente (contenido volumétrico en base al peso) (%).

Prad Profundidad radicular (L).

La ecuación 3.16, es aproximada a la realidad, pues depende mucho la capacidad de asimilación hídrica que tenga la planta, en diferentes tipos de suelo. Esto se aprecia en la Figura No. 3.4. (REF. Enciso M. A.

Cuanto y Cuando Regar)

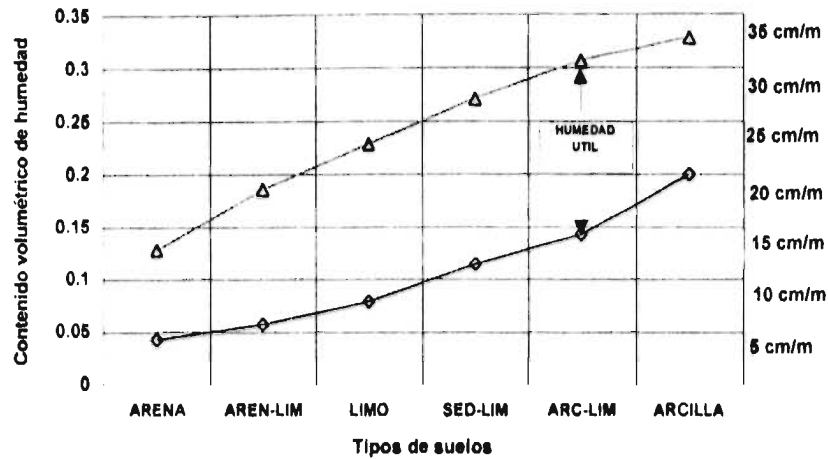


FIGURA 3.4 CAPACIDAD DE ASIMILACIÓN HÍDRICA EN DIFERENTES TIPOS DE SUELOS

Existe un límite en el cual la planta puede extraer humedad del suelo, a este límite se le llama grado de abatimiento, el cual se denota por un porcentaje de la humedad propia del suelo. Este aspecto se basa en la textura del suelo, la cual se puede definir por la distribución de los tamaños de las partículas en el terreno, las cuales van desde las arcillas con tamaños de menos de 0.002 mm a los tamaños de 50 mm de diámetros. Pero también debemos agregar que la mayor parte de los materiales que constituyen un suelo, se componen en su mayoría de arena, limo y arcilla. Las proporciones de los diversos tamaños de partículas en una muestra, pueden permitir la clasificación del suelo con la utilización del triángulo de texturas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, el cual se puede apreciar en la figura 3.5. (REF. El

Riego: Diseño y Práctica)

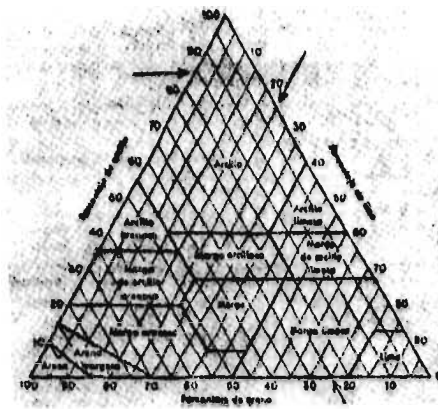


FIGURA 3.5 TRIÁNGULO DE TEXTURAS DEL DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTE AMÉRICA

Por todo lo anteriormente descrito se puede afirmar que la lámina neta que se puede aplicar a un cultivo, dependerá directamente del agua que pueda retener el suelo debido a su textura (cuadro No. 3.1), del grado de abatimiento propio del cultivo (cuadro No. 3.2) y de la profundidad radicular (cuadro No. 3.3).

CUADRO 3.1 HUMEDAD APROVECHABLE POR EL SUELO

TEXTURA DEL SUELO	HUMEDAD APROVECHABLE (mm/m)
Arenas gruesas - gravas	40 - 70
Arenas finas - arenoso franco	70 - 100
Franco arenoso	
Franco	120 - 160
Franco limoso	230 - 270
Franco arcilloso, arcillo - arenoso y arcillas pesadas.	160 - 200

CUADRO 3.2 GRADO DE ABATIMIENTO DE LOS CULTIVOS

CULTIVO	GRADO DE ABATIMIENTO (%)
Fresa	15
Apio	20
Cacao	20
Espinaca	20
Cebolla	25
Papa	25
Melón	35
Plátano	35
Tabaco	35
Vid	35
Zanahoria	35
Alfalfa	55
Tomate	40
Repollo	45
Frijol	45
Maíz para silo	50
Pasto	50
Pepino	50
Piña	50
Soya	50
Sorgo	55
Trigo	55
Granos de invierno	60
Granos pequeños	60
Maíz	60
Algodón	65
Caña de azúcar	65
Camote	65
Tabaco tardío	65

CUADRO 3.3 PROFUNDIDAD RADICULAR

CULTIVO	PROFUNDIDAD (m)
Frambuesa y zarzamora	1.20 - 1.80
Brócoli	0.80
Col	0.80
Melón	1.20 - 1.80
Zanahoria	0.60 - 0.90
Coliflor	0.80
Cltrico	1.20 - 1.80
Maíz dulce	0.90
Maíz	1.20 - 1.50
Caña de azúcar	1.00
Algodón	1.20 - 1.80
Pepinos	0.60 - 0.90
Frutal	1.80 - 2.40
Trigo	1.20
Cebada	1.20
Sorgo	1.20
Vid	1.50 - 3.00
Melón	1.20 - 1.50

CONTINUACIÓN DEL
CUADRO 3.3

CULTIVO	PROFUNDIDAD RADICULAR (m).
Cacahuale	0.60
Chicharo	0.90 - 1.20
Soya	0.90 - 1.20
Espinacas	0.60
Calabacitas	0.90
Fresa	0.90 - 1.20
Tabaco	1.20
Jitomate	1.80 - 3.00
Sandía	1.80

Definidos los conceptos anteriores, se puede obtener una expresión para la cual determinar la lámina de riego requerida por el cultivo, la cual se compone por la humedad aprovechable (3.16), la profundidad radicular y el grado de abatimiento que soporta el cultivo, esto es:

$$L_n = HA \cdot Prda \cdot GA \quad (3.17)$$

En donde:

L_n Es la lámina neta debida a la retención de humedad del suelo (L).

HA Es la humedad aprovechable que retiene el suelo debido a su textura (L/L; mm/m).

Prda Es la profundidad radicular (L).

GA Porcentaje de abatimiento de humedad que soporta el cultivo (%).

3.1.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA

Para determinar la evapotranspiración de cualquier cultivo en la zona de riego, es necesario calcular primeramente la evapotranspiración de un cultivo denominado de referencia. Estos cultivos normalmente son el pasto y la alfalfa.

Con base en los lineamientos de la F.A.O., se considera al pasto como el cultivo de referencia. Dicha evapotranspiración (la cual es conocida como potencial) se define por Penman (1948) como el agua consumida por un cultivo del tipo gramínea, el cual cubre la totalidad de una superficie extensa de suelo, de una altura de 8 a 15 cm, con crecimiento activo y sin deficiencia hídrica.

En este punto se pretende hacer un resumen de algunas de las metodologías empleadas en la determinación de la evapotranspiración del cultivo de referencia.

3.1.3.1 METODOLOGÍAS EMPLEADAS

3.1.3.1.1 MÉTODOS BASADOS EN LA TEMPERATURA

3.1.3.1.1.1 BLANEY - CRIDDLE, VERSIÓN S.C.S.E.U.

El Método de Blaney - Criddle, versión del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos, se desarrolló con base en las mediciones de campo tomadas en el occidente de los Estados Unidos. Inicialmente efectuaron investigaciones Blaney y Morin (1942)(REF: *Introducción a la Teoría de Operación de Sistemas de Riego, Placios Velez 1989*), y posteriormente modificada por Blaney - Criddle (1950) (REF: *Introducción a la Teoría de Operación de Sistemas de Riego, Placios Velez 1989*), hasta su revisión por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1970). En esta metodología define que la evapotranspiración del cultivo varía directamente con la suma de los productos de la temperatura promedio del aire y el promedio mensual de las horas luz diarias, obteniendo una expresión como la siguiente (REF: Enciso M. A. *Cuanto y Cuando Regar, 1993*):

$$ET = \sum_{i=1}^m K_{ti} K_{ci} f_i = KF \quad (3.18)$$

En donde:

ET Evapotranspiración potencial del cultivo (L).

m Duración en meses del desarrollo del cultivo (No. #).

K Coeficiente de crecimiento de Blaney - Criddle en la temporada del cultivo.

K_{ci} Coeficiente de desarrollo del cultivo (cuadro 3.4)

K_{ti} Coeficiente de corrección por temperatura, el cual se determina mediante el empleo de la siguiente expresión: $K_{ti} = 0.0173 T - 0.314$, en la cual T es la temperatura promedio del aire.

F Sumatoria de los f de los meses individuales durante la temporada del cultivo.

fi Factor de consumo mensual del cultivo, el cual se define como: $f_i = (T_p) / 100$, en donde p es el promedio mensual de horas luz diarias durante el año, fotoperiodo (cuadro 3.5), y T es la temperatura promedio del aire (°C).

CUADRO 3.4 COEFICIENTES DEL CULTIVO PARA EL MÉTODO DE BLANNEY-CRIDDLE-SCS

CULTIVO	Temporada de cultivo	Coefficiente consuntivo K	Coefficiente máximo mensual K
Alfalfa	Heladas	0.80 - 0.90	0.95 - 0.25
Plátano	Perenne	0.80 - 1.00	
Frijol	3 meses	0.60 - 0.70	0.75 - 0.85
Cocoa	Perenne	0.70 - 0.80	
Cafeto	Perenne	0.70 - 0.80	
Maíz	4 meses	0.75 - 0.85	0.80 - 1.20
Algodón	7 meses	0.60 - 0.70	0.75 - 1.10
Granos	3 meses	0.75 - 0.85	
Sorgo	4 - 5 meses	0.70 - 0.80	
Oleaginosas	3 - 5 meses	0.65 - 0.75	
Aguacate	Perenne	0.50 - 0.55	
Toronja	Perenne	0.55 - 0.65	
Citricos	Perenne	0.45 - 0.55	0.65 - 0.75
Nueces	Heladas	0.60 - 0.70	
Deciduos	Heladas	0.60 - 0.70	0.70 - 0.95
Pasto	Heladas	0.75 - 0.85	0.85 - 1.15
Trébol	Heladas	0.80 - 0.85	
Papa	3-5 meses	0.65 - 0.75	0.85 - 1.00
Arroz	3 - 5 meses	1.00 - 1.10	1.00 - 1.30
Soya	140 días	0.65 - 0.70	
Remolacha	6 meses	0.65 - 0.75	0.85 - 1.00
Caña	Perenne	0.80 - 0.90	
Tabaco	4 meses	0.70 - 0.80	
Tomate	4 meses	0.65 - 0.75	
Legumbres	2 - 4 meses	0.60 - 0.70	
Vid y Kiwi	5 - 7 meses	0.50 - 0.60	

CUADRO 3.5 PROMEDIO MENSUAL DE LAS MÁXIMAS HORAS POSIBLES DIARIAS DE LUZ PARA CADA MES Y EN LA LATITUD NORTE Y SUR.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0.00	8.50	7.66	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50
5.00	8.32	7.57	8.47	8.29	8.65	8.41	8.67	8.60	8.23	8.42	8.07	8.30
10.00	8.13	7.47	8.45	8.37	8.81	8.60	8.86	8.71	8.25	8.34	7.91	8.10
14.00	7.98	7.38	8.43	8.43	8.94	8.77	9.00	8.80	8.27	8.27	7.79	7.93
16.00	7.91	7.35	8.42	8.47	9.01	8.85	9.08	8.85	8.28	8.23	7.72	7.83
18.00	7.83	7.31	8.41	8.50	9.08	8.93	9.16	8.90	8.29	8.20	7.65	7.74

LAT N	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
20.00	7.74	7.25	8.41	8.52	9.15	9.00	9.25	8.96	8.30	8.18	7.58	7.66
22.00	7.67	7.21	8.40	8.56	9.22	9.11	9.32	9.01	8.30	8.13	7.51	7.56
24.00	7.58	7.16	8.39	8.60	9.30	9.19	9.40	9.06	8.31	8.10	7.44	7.47
26.00	7.49	7.12	8.38	8.64	9.37	9.29	9.49	9.11	8.32	8.06	7.36	7.37
28.00	7.40	7.07	8.37	8.67	9.46	9.39	9.58	9.17	8.32	8.02	7.28	7.27
30.00	7.30	7.03	8.36	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.33	7.99	7.19	7.15
32.00	7.20	6.97	8.37	8.76	9.62	9.59	9.77	9.27	8.34	7.95	7.11	7.05
34.00	7.10	6.91	8.36	8.80	9.72	9.70	9.88	9.33	8.36	7.90	7.02	6.92
40.00	6.76	6.72	8.33	8.95	10.02	10.08	10.22	9.54	8.39	7.75	6.72	6.52
46.00	6.34	6.50	8.29	9.12	10.39	10.53	10.64	9.79	8.42	7.57	6.36	6.04
50.00	5.98	6.30	8.24	9.24	10.68	10.91	10.99	10.11	8.46	7.45	6.10	6.65
56.00	5.30	5.95	8.15	9.45	11.22	11.67	11.69	10.40	8.53	7.21	5.54	4.89
60.00	4.67	5.65	8.08	9.65	11.74	12.39	12.31	10.70	8.57	6.98	5.04	4.22
56.00	5.30	5.95	8.15	9.45	11.22	11.67	11.69.00	10.40	8.53	7.21	5.54	4.89
58.00	5.02	5.84	8.14	9.59	11.50	12.00	11.96	10.52	8.53	7.06	5.30	4.54
60.00	4.70	5.67	8.11	9.69	11.78	12.41	12.31	10.68	8.54	6.96	5.02	4.14
LATS												
0.00	8.50	7.66	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50
5.00	8.68	7.76	8.51	8.15	8.34	8.05	8.33	8.38	8.19	8.56	8.37	8.68
10.00	8.88	7.87	8.53	8.09	8.18	7.88	8.14	8.27	8.17	8.62	8.53	8.88
15.00	9.05	7.98	8.55	8.02	8.02	7.65	7.95	8.15	8.15	8.68	8.70	9.10
20.00	9.24	8.09	8.57	7.94	7.85	7.43	7.76	8.03	8.13	8.76	8.87	9.33
25.00	9.46	8.21	8.60	7.84	7.66	7.20	7.54	7.90	8.11	8.86	9.04	9.58
30.00	9.70	8.33	8.62	7.73	7.45	6.96	7.31	7.76	8.07	8.97	9.24	9.85
32.00	9.81	8.39	8.63	7.69	7.36	6.85	7.21	7.70	8.06	9.01	9.33	9.96
34.00	9.92	8.45	8.64	7.64	7.27	6.74	7.10	7.63	8.05	9.06	9.42	10.08
36.00	10.03	8.51	8.65	7.59	7.18	6.62	6.99	7.56	8.04	9.11	9.51	10.21
38.00	10.15	8.57	8.66	7.54	7.08	6.50	6.87	7.49	8.03	9.16	9.61	10.34
40.00	10.24	8.63	8.67	7.49	6.97	6.37	6.76	7.41	8.02	9.21	9.71	10.49
42.00	10.40	8.70	8.68	7.44	6.85	6.23	6.64	7.33	8.01	9.26	9.82	10.64
44.00	10.54	8.78	8.69	7.38	6.73	6.08	6.51	7.25	7.99	9.31	9.94	10.80
46.00	10.69	8.86	8.70	7.32	6.61	5.92	6.37	7.16	7.96	9.37	10.07	1.97

3.1.3.1.1.2 MODIFICACIÓN BLANEY - CRIDDLE FAO-24

Dentro del método de Blaney - Criddle, existe una modificación la cual se denomina FAO-24, esta modificación se basó en información tomada en diversos lugares, con varias condiciones climatológicas, este método es el más popular en todo el mundo, la información que se requiere para determinar la evapotranspiración del cultivo incluye las temperaturas mensuales promedio (°C), así como el promedio de horas luz diarias durante el año. La calibración de este método requiere datos de humedades relativas mínimas, la relación entre las horas diarias de luz, las máximas posibles y la velocidad del viento. Esta modificación de la metodología de Blaney - Criddle, tiene la siguiente ecuación:

$$ET = a + b [P (0.46 T + 8.13)] \quad (3.19)$$

En donde:

a,b Factores de calibración que están en función de las humedades relativas mínimas, de la relación entre las horas reales de luz diarias y las máximas posibles, así como de la velocidad del viento.

P Promedio de horas luz diarias durante un año, distribuidas por el número de días del mes correspondiente.

T Temperatura promedio del aire (°C).

n Horas reales de luz diarias (heliógrafo de Campbell).

N Fotoperiodo u horas máximas de insolación diaria. (es el número de horas totales en el día, en los que habría insolación sin la presencia de nubosidad).

La relación n/N puede calcularse de la siguiente manera:

$n/N > 0.8$ Insolación fuerte en el día.

$n/N = 0.6-0.8$ Cielos totalmente cubiertos durante 40% de las horas de iluminación y cuando hay una nubosidad parcial durante el 70% de las horas del día.

Los coeficientes a y b, se pueden determinar de la siguiente manera:

$$a=0.0043 \text{ HR min} - n/N - 1.41$$

$$b=0.82-0.41 \cdot 10^{-2}(\text{HRmin})+1.07(n/N)+0.066(\text{Ud})-0.60+10^{-2}(\text{HRmin})(n/N)-0.60 \cdot 10^{-3}(\text{HRmin})(\text{Ud})$$

En donde:

HRmin Es la humedad relativa mínima.

Ud Es la velocidad del viento a una altura de 2 m sobre el suelo, y durante el día.

Estas metodologías son las más utilizadas en nuestro país. Esto se debe a que la información climatológica de buena calidad con que se cuenta, es la temperatura, precipitación y en algunos casos la velocidad estimada del viento. Por ello cada vez se hace más necesario modernizar los sistemas de monitoreo, con lo cual se podrán obtener mejores resultados.

3.1.3.1.2 MÉTODOS BASADOS EN LA RADIACIÓN

La evapotranspiración del cultivo de referencia se puede estimar mediante la siguiente expresión (REF.

Aparicio Mijares, Hidrología de Superficie):

$$ET = B \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \left(\frac{R_s}{L/10} \right) \right] - 0.3 \quad (3.20)$$

En donde:

ET Evapotranspiración del cultivo de referencia (L/T).

B Constante de calibración la cual se puede calcular mediante la relación que asocia los efectos de la humedad relativa (HR) y la velocidad promedio del viento (U_d) en el día, la cual es:

$$B = 1.066 - 0.13 \cdot 10^{-2} HR + 0.45 U_d - 0.20 \cdot 10^{-3} HR U_d - 0.315 \cdot 10^{-4} HR^2 - 0.11 \cdot 10^{-2} U_d^2$$

R_s Radiación de onda corta que se impacta con la superficie de la tierra, en el plano horizontal, (Luminosidad Cal./L² T) Esta puede medirse mediante aparatos denominados Pyranómetros, los cuales varían en su complejidad. O bien se puede estimar mediante la relación, en la que se necesita medir la insolación (n) y el fotoperiodo (N) del cuadro 3.5, dicha relación incluye la radiación (R_{so}) total recibida en un día totalmente despejado (Calorías/L²) la cual esta tabulada en el cuadro 3.6, La ecuación que se obtiene es:

$$R_s = [0.25 + 0.50 (n/N)] R_{so}$$

L Es el calor latente de vaporización, (Cal. / W). El cual se puede calcular mediante la expresión $L = 595 - .51T$, donde T es la temperatura promedio.

Δ Pendiente de la curva de presión de la saturación de vapor a una temperatura específica ((W/L²)/Temperatura). Dicha pendiente puede calcularse mediante la relación donde interviene la temperatura promedio (T). La expresión es la siguiente:

$$\Delta = 2 (0.00738 \cdot T + 0.8072)^7 - 0.00116$$

γ Constante psicrométrica ((W/L²)/Temperatura). Dicha constante, relaciona la presión barométrica promedio (P_b), con el calor latente de vaporización (L), de aquí se obtiene la siguiente expresión:

$$\gamma = (0.386 \cdot P_b) / L.$$

CUADRO 3.6 RADIACIÓN PROMEDIO PARA CIELOS DESPEJADOS, CAL/L² DÍA

LATITUD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
60	58	152	319	533	671	763	690	539	377	197	87	35
55	100	219	377	558	690	780	706	577	430	252	133	74
50	155	290	429	617	716	790	729	616	480	313	193	126
45	216	365	477	650	729	797	748	648	527	371	260	190
40	284	432	529	677	742	800	755	674	567	426	323	248
35	345	496	588	700	742	800	761	697	603	474	380	313
30	403	549	600	713	742	793	755	703	637	519	437	371
25	455	595	629	720	742	780	745	703	660	561	486	423
20	500	634	652	720	726	760	729	697	680	597	537	474
15	545	673	671	713	706	733	706	684	697	623	580	519
10	584	701	681	707	684	700	681	665	707	648	617	565
5	623	722	690	700	652	663	645	645	710	665	650	606
0	652	740	694	680	623	627	616	623	707	684	680	619
5	648	758	690	663	590	587	577	590	693	690	727	677
10	710	772	681	661	640	571	543	526	558	680	727	710
15	729	779	685	665	610	516	497	497	519	657	747	739
20	748	779	645	645	573	474	447	445	481	630	753	761
25	761	779	626	628	533	419	400	406	439	800	767	777
30	771	772	600	600	497	384	353	358	390	667	767	793
35	774	754	588	568	453	335	300	310	342	530	767	806
40	774	729	529	529	407	281	243	261	290	477	760	813
45	774	704	490	490	357	229	187	203	235	477	747	813
50	761	669	445	445	307	174	127	148	177	400	727	806
55	748	630	397	397	250	123	77	97	123	343	707	794
60	729	588	348	348	187	77	33	52	74	283	700	787

3.1.3.1.3 MÉTODO DE PENMAN

Esta metodología determina la evapotranspiración del cultivo de referencia, combinando dos componentes: el balance de la energía radiante y el componente aerodinámico (viento y humedad relativa). Estos dos componentes determinan el agua evaporada del suelo y la humedad removida como vapor de agua en las hojas del cultivo, respectivamente (REF: *Introducción a la Teoría de Operación de Sistemas de Riego, Placios Velez 1989*).

Esta metodología tiene muchas variantes en cuanto a procedimientos, una solución modificada es utilizando el nomograma de Penman (figura 3.6), el cual necesita información de radiación extraterrestre, y duración del brillo solar. Dichos valores se pueden apreciar en los cuadros 3.7 y 3.8 respectivamente.

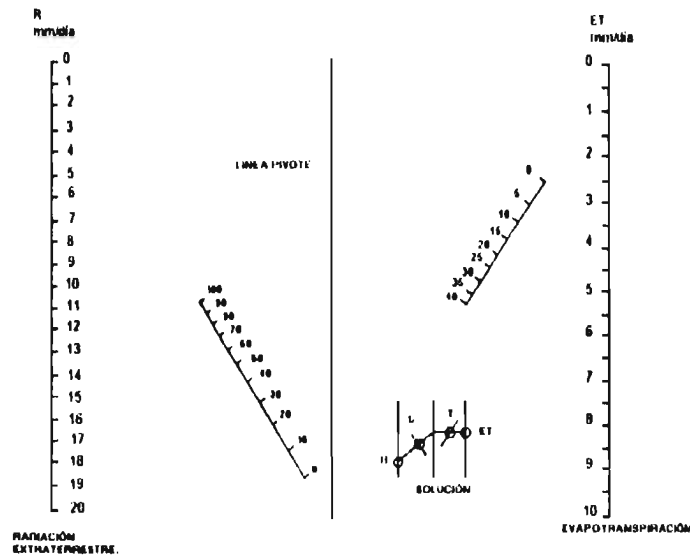


FIGURA 3.6 NOMOGRAMA DE PENMAN

Jensen y Haise, encontraron una alta correlación entre la relación evapotranspiración potencial y la radiación solar neta recibida por el cultivo. Por otra parte Jensen (1973) cita una correlación obtenida por Black, entre la radiación solar neta y la radiación extraterrestre, con los cuales puede hacerse una verificación de los resultados del nomograma de Penman, las ecuaciones referidas son (REF: Introducción a la Teoría de Operación de Sistemas de Riego, Placios Velez 1989):

Jensen y Hise (1963):

$$ET = (0.0252 T + 0.078) Rs$$

Black (1958)

$$Rs = (0.23 + 0.48 S) Re$$

Donde:

ET Evapotranspiración del cultivo de referencia (L/T).

T Temperatura en °C.

Rs Radiación solar neta expresada en (L/T).

Re Radiación extraterrestre (L/T).

- S Relación brillo solar $S=n/N$.
- n Número de horas de brillo solar medidas.
- N Número de horas de brillo solar posible (cuadro 3.8).

CUADRO 3.7 RADIACIÓN EXTRA-TERRESTRE, EXPRESADA EN EVAPORACIÓN EQUIVALENTE

MESES	LATITUD (NORTE)										
	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
Enero	12.4	12.0	11.6	11.2	10.7	10.2	9.8	9.3	8.8	8.3	7.9
Febrero	13.6	13.3	13.0	12.7	12.3	11.9	11.5	11.1	10.7	10.2	9.8
Marzo	14.9	14.7	14.6	14.4	14.2	13.9	13.7	13.4	13.1	12.8	12.4
Abril	15.7	15.6	15.6	15.6	15.5	15.4	15.3	15.3	15.2	15.0	14.8
Mayo	15.8	16.0	16.1	16.3	16.3	16.4	16.4	16.5	16.5	16.5	16.5
Junio	15.7	15.9	16.1	16.4	16.4	16.6	16.7	16.8	17.0	17.0	17.1
Julio	15.7	15.9	16.1	16.3	16.4	16.5	16.6	16.7	16.8	16.8	16.8
Agosto	17.7	15.7	15.8	15.9	15.8	15.8	15.7	15.7	15.7	15.6	15.5
Septiembre	15.1	15.0	14.9	14.8	14.6	14.6	14.3	14.1	13.9	13.6	13.4
Octubre	14.1	13.9	13.6	13.3	13.0	12.6	12.3	12.0	11.6	11.2	10.8
Noviembre	12.8	12.4	12.0	11.6	11.1	10.7	10.3	9.9	9.9	9.0	8.5
Diciembre	12.0	11.6	11.1	10.7	10.2	9.7	9.3	8.8	8.3	7.8	7.2

CUADRO 3.8 MÁXIMA DURACIÓN DEL BRILLO SOLAR EN HORAS, PARA DIFERENTES MESES Y LATITUDES

MESES	LATITUD (NORTE)					
	10	15	20	25	30	35
Enero	11.60	11.30	11.00	10.70	10.40	10.10
Febrero	11.80	11.60	11.50	11.30	11.10	11.00
Marzo	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	11.90
Abril	12.30	12.50	12.60	12.70	12.90	13.10
Mayo	12.60	12.80	13.10	13.30	13.60	14.00
Junio	12.70	13.00	13.30	13.70	14.00	14.50
Julio	12.60	12.90	13.20	13.50	13.90	14.30
Agosto	12.40	12.60	12.80	13.00	13.20	13.50
Septiembre	12.10	12.20	12.30	12.30	12.40	12.40
Octubre	11.80	11.80	11.80	11.80	11.50	11.20
Noviembre	11.90	11.40	11.20	10.90	10.60	10.30
Diciembre	11.80	11.20	10.90	10.60	10.20	9.80

3.1.3.1.4 EVAPORÍMETRO

Grassi (1966) (REF: Introducción a la Teoría de Operación de Sistemas de Riego, Placios Velez 1989) dice: " Las medidas de evaporación de una superficie libre de agua en el tanque evaporímetro, integra los efectos de los

diferentes factores meteorológicos que influyen en la evapotranspiración", por lo que las metodologías que consideran la evaporación medida en tanques, pueden estimar con más precisión la evapotranspiración potencial. Sin embargo con trabajos experimentales se ha demostrado que existe inconsistencia en los factores de ajuste de la fórmula que se usa para la estimación de la evapotranspiración potencial, como una función de la evaporación medida en tanque la cual es (REF: Introducción a la Teoría de Operación de Sistemas de Riego, Placios Velez 1989):

$$ET = CEv \quad (3.21)$$

En donde:

ET Evapotranspiración del cultivo de referencia (L/T).

Ev Evaporación medida en tanque (L/T).

C Coeficiente de ajuste adimensional.

El tamaño, forma, color, y estado de conservación del tanque, afectan demasiado el valor del coeficiente C, en la ilustración 3.7, se aprecia un evaporímetro típico. En años recientes el Servicio Meteorológico Nacional ha obtenido resultados satisfactorios con el uso de un evaporímetro denominado del tipo A con un diámetro de 1.22 m. Sin embargo el problema más fuerte que se tiene en la determinación de C es la ubicación del evaporímetro y el medio que lo circunda, en el cuadro 3.9 se aprecian las variaciones de la constante C, dependiendo de la humedad relativa promedio, características de la vegetación que rodea al tanque y características propias del suelo circundante. En dicho cuadro se observa que puede ocurrir una variación de 0.35 hasta 0.85, lo cual pudiera arrojar errores considerables (REF. Placios Velez 1988, Management of Farm Irrigation Systems).

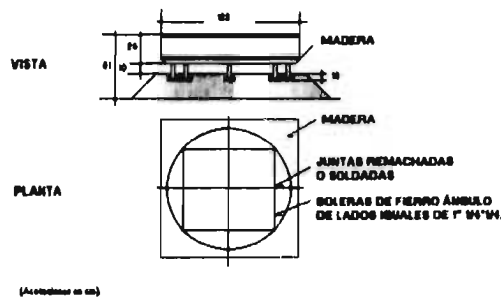


FIGURA 3.7 EVAPORÍMETRO TIPO A

CUADRO 3.9 COEFICIENTES DE AJUSTE "C" PARA ESTIMAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL COMO FUNCIÓN DE LA EVAPORACIÓN MEDIDA EN TANQUE TIPO "A"

H.R. (%)		BAJA>40	MEDIA 40-70	ALTA>70		BAJA<40	MEDIA 40-70	ALTA>70
viento km/día	viento superficial distancia a la veget. (m)				viento superficial distancia a la tierra seca (m)			
ligero<175	0	0.55	0.65	0.75	0	0.70	0.80	0.85
	10	0.65	0.75	0.85	10	0.60	0.70	0.80
	100	0.70	0.80	0.85	100	0.55	0.65	0.75
	1000	0.75	0.85	0.85	1000	0.60	0.80	0.70
moderado 175-425	0	0.50	0.60	0.65	0	0.65	0.75	0.80
	10	0.60	0.70	0.75	10	0.55	0.65	0.70
	100	0.65	0.75	0.80	100	0.50	0.60	0.65
	1000	0.70	0.80	0.80	1000	0.45	0.55	0.60
fuerte 425-700	0	0.45	0.45	0.50	0	0.60	0.65	0.70
	10	0.55	0.55	0.60	10	0.50	0.55	0.65
	100	0.60	0.60	0.65	100	0.45	0.50	0.60
	1000	0.65	0.60	0.65	1000	0.40	0.45	0.55
muy fuerte >700	0	0.40	0.45	0.50	0	0.50	0.60	0.65
	10	0.45	0.55	0.60	10	0.45	0.50	0.55
	100	0.50	0.60	0.65	100	0.40	0.45	0.50
	1000	0.55	0.60	0.65	1000	0.35	0.40	0.45

3.1.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO

Para estimar la evapotranspiración de otros cultivos, se toma como base la evapotranspiración del cultivo de referencia (3.1.3), la cual se afecta por un coeficiente que indica el grado de desarrollo del cultivo en cuestión, obteniendo la expresión siguiente (REF. Enciso M. , A. Cuanto y Cuando Regar):

$$ETC = KDC \cdot ET \quad (3.22)$$

En donde:

ETC Evaporación del cultivo (L/T).

ET Evapotranspiración del cultivo de referencia (L/T).

KDC Coeficiente de desarrollo del cultivo (Adimensional).

El coeficiente de desarrollo del cultivo (KDC), tiene diferentes valores los cuales dependen directamente de su etapa de crecimiento; dichas fases se pueden representar por curvas como la que se aprecia en la figura No. 3.8, la cual esquematiza las etapas de desarrollo del cultivo en el tiempo y los valores de los coeficientes

de crecimiento KDC, en dicha gráfica KDC1 (1 a 2) representa el valor desde la siembra hasta un 10% de cobertura vegetal, de KDC1 a KDC2 (2 a 3) representa desde el 10% de la cobertura vegetal hasta un 75% de necesidad hídrica por parte del cultivo, en el punto KDC2 (3 a 4) el cultivo alcanza su fase de desarrollo final para posteriormente envejecer, lo que se refleja en una demanda hídrica menor, en el período de KDC2 a KDC3 (4 a 5) el cultivo disminuye su demanda hídrica hasta llegar al mínimo, fase en donde se deberá cosechar. En el cuadro 3.10, se presentan coeficientes de cultivo KDC para diferentes cultivos.

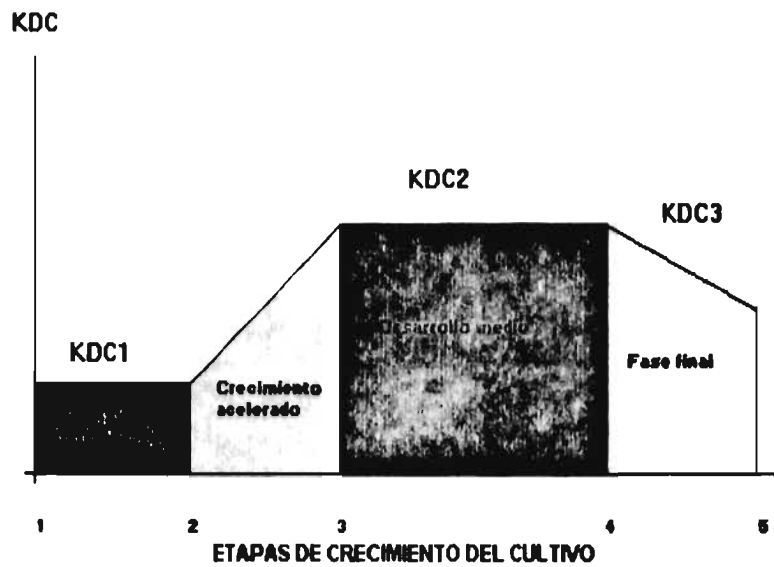


FIGURA 3.8 ETAPAS DE DESARROLLO DEL CULTIVO CARACTERIZADAS POR LOS COEFICIENTES DE DESARROLLO KC PARA CADA CULTIVO

El intervalo de riego tiene una acción directa durante el desarrollo inicial del cultivo. El coeficiente KDC se puede obtener con el empleo de las siguientes expresiones:

a) $I_r < 4$ días

$$KDC1 = (1.286 - 0.27 \ln I_r) * \text{EXP} [(-0.01 - 0.042 \ln I_r) ET]$$

b) $I_r > 4$ días

$$KDC1 = 2 I_r - 0.49 \text{EXP} [(-0.02 - 0.04 \ln I_r) ET]$$

En dichas expresiones I_r es el intervalo de riego y ET es la evapotranspiración del cultivo de referencia.

CUADRO 3.10 COEFICIENTES DE DESARROLLO DEL CULTIVO

CULTIVO	KDC1	KDC2	KDC3
ALFALFA	0.40 - 0.50	1.00 - 1.40	0.95 - 1.35
ALCACHOFA	0.90 - 1.00	0.95 - 1.05	0.90 - 1.00
ESPARRAGO	0.25 - 0.30	0.95	0.25
PLÁTANO	0.40 - 0.65	1.00 - 1.20	0.75 - 1.15
CEBADA	0.25 - 0.30	1.00 - 1.10	0.10 - 0.20
FRIJOL (VERDE)	0.30 - 0.40	0.95 - 1.05	0.85 - 0.95
FRIJOL (SECO)	0.30 - 0.40	1.05 - 1.20	0.25 - 0.30
REMOLACHA	0.25 - 0.40	1.05 - 1.20	0.25 - 0.30
REPOLLO	0.30 - 0.50	0.95 - 1.10	0.80 - 0.95
MELÓN	0.15 - 0.40	1.00 - 1.10	0.30 - 0.90
ZANAHORIA	0.40 - 0.50	1.05	0.75
FRIJOL CASTOR	0.30 - 0.40	1.05 - 1.20	0.5
APIO	0.25 - 0.35	1.00 - 1.15	0.90 - 1.05
CITRICOS	0.65	0.65 - 0.75	0.65
MAÍZ (CEREAL)	0.20 - 0.50	1.05 - 1.20	0.35 - 0.60
MAÍZ (DULCE)	0.20 - 0.50	1.05 - 1.20	0.95 - 1.10
ALGODÓN	0.20 - 0.50	1.05 - 1.30	0.30 - 0.60
PEPINO	0.20 - 0.40	0.90 - 1.00	0.70 - 0.80
HUERTA DECIDUA	0.50	0.85 - 1.20	0.50 - 0.85
HUERTA DECIDUA CULTIVADA	0.75 - 0.85	1.10 - 1.25	0.70 - 1.10
BERENJENA	0.25 - 0.50	0.95 - 1.10	0.80 - 0.90
LINAZA	0.20 - 0.40	1.00 - 1.15	0.20 - 0.25
UVA	0.20 - 0.50	0.74 - 0.85	0.20 - 0.45
CACAHUATE	0.30 - 0.50	0.95 - 1.00	0.50 - 0.60
KIWI	0.30	1.05	1.05
LENTEJA	0.20 - 0.30	1.05 - 1.20	0.25 - 0.30
LECHUGA	0.25 - 0.30	0.85 - 1.05	0.45
MILIO	0.20 - 0.40	1.00 - 1.15	0.25 - 0.30
AVENA	0.20 - 0.40	1.05 - 1.20	0.20 - 0.25
ACEITUNA	0.60	0.80	0.60
CEBOLLA (SECA)	0.40 - 0.60	0.95 - 1.10	0.75 - 0.85
CEBOLLA VERDE	0.40 - 0.60	0.95 - 1.05	0.95 - 1.05
GUISANTE	0.40 - 0.50	1.05 - 1.20	0.95 - 1.10
CHILE VERDE O PIMIENTO	0.30 - 0.40	0.95 - 1.10	0.80 - 0.90
PISTACHO	0.10	0.10	0.35
PAPA	0.40 - 0.55	1.10 - 1.20	0.40 - 0.75
LEGUMBRE	0.20 - 0.40	1.05 - 1.20	0.25 - 0.30
RABANO	0.20 - 0.30	0.80 - 0.90	0.75 - 0.85
ARROZ	1.10 - 1.15	1.10 - 1.30	1.10
CÁRTAMO	0.30 - 0.40	1.05 - 1.20	0.20 - 0.25
CEREAL PEQUEÑO	0.20 - 0.40	1.10 - 1.30	0.20 - 0.35
SÓRGO	0.15 - 0.40	1.05 - 1.20	0.30 - 0.50
SOYA	0.30 - 0.40	1.00 - 1.15	0.45 - 0.55
ESPINACA	0.20 - 0.30	0.95 - 1.05	0.90 - 1.00
CALABACITA	0.20 - 0.40	0.90 - 1.00	0.70 - 0.80
REMOLACHA AZUCARADA	0.20 - 0.40	1.05 - 1.20	0.70 - 1.00
CANA DE AZÚCAR	0.40 - 0.50	1.00 - 1.30	0.50 - 0.60
GIRASOL	0.30 - 0.40	1.05 - 1.20	0.35 - 0.45
TABACO	0.30 - 0.40	1.00 - 1.20	0.75 - 0.85
TOMATE	0.25 - 0.50	1.05 - 1.25	0.60 - 0.85
SANDIA	0.25 - 0.50	1.00 - 1.10	0.20 - 0.70
TRIGO	0.20 - 0.40	1.05 - 1.25	0.20 - 0.30

3.1.5 PRECIPITACIÓN EFECTIVA

La lluvia efectiva se define como la porción de precipitación que puede llegar a estar disponible en la zona radicular del cultivo. Por lo que el aprovechamiento de la lluvia depende de diversos factores, tales como la

intensidad de la precipitación, cubierta vegetal, topografía y la velocidad de infiltración, la cual depende de las características físicas propias del suelo y su humedad relativa. En forma general no se dispone de estas características, por lo que se hace difícil una estimación aceptable, acerca de la precipitación que puede ser aprovechable.

Existen opiniones divididas sobre los niveles mínimos y máximos de lluvia que pueden ser aprovechados. Oliver (1963), considera que precipitaciones menores de 5 mm por día, o 25 mm por mes, son inefectivas ya que por efecto de evaporación se perdería; otro criterio es el de Linsley y Franzini (1967), ellos afirman que toda lluvia menor de 25 mm por mes es aprovechable, y que precipitaciones mayores de 150 mm por mes se desperdician en su mayor parte; estos autores consideran que en promedio, 90 mm por mes son los que se aprovechan.

Para la estimación de la lluvia efectiva, existen multitud de métodos, resultado de un análisis estadístico, obteniendo expresiones del tipo empírico. Palacios (1971), utilizando una metodología desarrollada por Zierold (1969) para estimar la lluvia percolada en exceso y con base en observaciones de intensidades de precipitación en tres zonas diferentes de México, desarrolló varias expresiones que estiman la cantidad de humedad aprovechable de una tormenta dentro de una zona de riego. Por ejemplo para suelos de textura media las fórmulas obtenidas son (REF. Palacios Velez 1989):

Precipitaciones menores de 25 mm:

$$P_e = P - (0.5 * P^2) \quad (3.23)$$

Precipitaciones mayores de 25 mm:

$$P_e = 1.27 P^{0.75} - 0.0806 P^{1.5} \quad (3.24)$$

En donde:

Pe Precipitación efectiva aprovechable, (L).

P Precipitación observada (L).

Estas expresiones pueden utilizarse con la suposición de que la lluvia ocurre sin antecedentes, sin embargo; puede utilizarse en la estimación de lluvia efectiva en periodos cortos, recomendando 10 días, por lo que se requiere información de precipitación diaria.

Ogrosky y Mockus, muestran un método para estimar la lluvia efectiva, según el cual el coeficiente de efectividad de lluvia depende de la relación de evapotranspiración / precipitación.

En la figura No. 3.9 se aprecia una gráfica, la cual contiene ET/P v.s. CP, en donde CP es el coeficiente de efectividad. Al afectar una lluvia por dicho factor, se obtiene la lluvia efectiva, esto es:

$$P_e = CP * P \quad (3.25)$$

En donde:

Pe Lluvia efectiva (L).

CP Coeficiente de efectividad.

P Precipitación (L).

El coeficiente CP, se ajustó en una función empírica a partir de datos reales obteniendo:

$$CP = [ET/P] / [1.53 + (0.80 * (ET/P))] \quad (3.26)$$

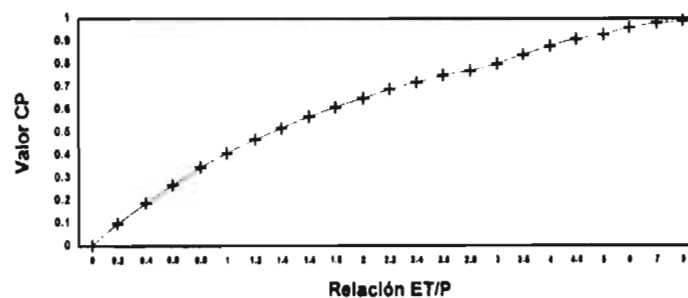


FIGURA 3.9 COEFICIENTES PARA ESTIMAR LA LLUVIA EFECTIVA (Ref. Palacios V. 1989)

Una de las metodologías más empleadas es la del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos. Método es totalmente empírico y se basa en el análisis de 50 años de agua almacenada en el suelo, lluvia y Evapotranspiración en 22 sitios de Estados Unidos. Dichos lugares varían en climatología de zonas áridas hasta zonas húmedas. Este procedimiento realiza estimaciones mensuales de lluvia efectiva y no es válido para periodos más cortos; en el cuadro No.3.11 muestra valores de lluvia efectiva cuando el déficit de agua en el suelo es de 75 mm.

Para otros valores de déficit los valores dados en el cuadro deben de multiplicarse por un factor de almacenamiento el cual se aprecia en el mismo cuadro.

CUADRO 3.11 PROMEDIO DE LLUVIA EFECTIVA MENSUAL CON RELACIÓN AL PROMEDIO MENSUAL DE EVAPOTRANSPIRACIÓN Y EL PROMEDIO MENSUAL DE LLUVIA

P (mm)	12.5	25.0	37.5	50.0	62.5	75.0	87.5	100.0	112.5	125.0	137.5	150.0	162.5	175.0	187.5
LLUVIA EFECTIVA PROMEDIO MENSUAL EN (mm) D=75 mm.															
25	8	16	23												
50	8	17	24	32	39	46									
75	8	18	26	34	41	48	55	62	69						
100	9	18	27	36	44	51	58	66	73	80	87	93	100		
125	9	20	29	38	46	54	62	70	77	84	92	99	106	112	119
150	10	21	30	40	48	57	65	73	81	89	97	100	112	119	126
175	10	22	32	42	51	60	69	78	86	94	102	110	118	126	133
200	11	23	34	44	54	64	73	82	91	99	108	116	124	133	141
225	12	24	36	47	57	67	77	87	96	105	114	123	132	140	149
250	12	26	38	50	60	71	81	92	101	111	120	130	139	148	157
FACTOR DE CORRECCIÓN (f) PARA LÁMINAS DE DÉFICIT (D) DIFERENTES A 75 mm.															
	20	25	37.5	50	60	75	100	150	175	200					
	0.73	0.77	0.85	0.92	0.96	1	1.03	1.05	1.07	1.14					

Mediante un análisis de regresión, se desarrolló una relación empírica del los valores del cuadro No. 3.11, dicha relación se expresa por:

$$P_e = f(D) [1.25 (P)^{0.824} - 2.93] + 10 (0.000955 \text{ ETC}) \quad (3.27)$$

En donde:

Pe Lluvia efectiva (L).

f(D) Función de la lámina de déficit del suelo, cuando se tiene una pérdida diferente a 75 mm.

Dicha función está dada por:

$$f(D)=0.53 + 0.0116 D - 8.94 \cdot 10^{-5} (D)^2 + 2.32 \cdot 10^{-7} (D)^3$$

En donde D es la función que contabiliza la lámina de déficit del suelo (L), estos valores deben de utilizarse para valores que se encuentran dentro de los límites del cuadro No. 3.11.

P Es la lluvia total (L).

ETC Evaporación del cultivo en el mes (L/T).

Otra metodología empleada para determinar la precipitación efectiva (Pe) en los Distritos de Riego de México, es la que sigue los pasos:

- 1.- Analizar la lluvia que cae en la región en los últimos años y se registra en la estación climatológica más cercana a la zona de estudio. Esta lluvia se agrupa en forma decenal de cada mes, correspondiente a cada año, para mayor aproximación.
- 2.- Se suma la lluvia decenal de cada mes, obteniéndose la precipitación mensual para cada año de observación.
- 3.- Se ordenan las lluvias mensuales de mayor a menor precipitación, correspondiente a cada año.
- 4.- Ordenada la precipitación mensual, se escoge una probabilidad del 0.8 de los años de observación, y el año resultante representa la precipitación que se tomará en cuenta.

3.1.6 APORTACIONES DEL SUBSUELO

Una de las características propias del suelo que hay que tomar en cuenta durante la determinación de los volúmenes hídricos aprovechables, es la aportación de humedad ascendente del manto freático a la zona radicular del cultivo. En la temporada de lluvias la profundidad del manto freático aumenta y en tiempo de estiaje disminuye al mínimo, esto dependiendo de la capacidad que tenga el suelo de retener agua. Doorenbos y Pruitt (1984), presentaron una gráfica en la cual se puede apreciar la contribución de las aguas subterráneas a los cultivos en mm/día (lo cual disminuye las láminas de aplicación), esto con respecto a

diferentes profundidades del manto freático y texturas del suelo, y considerando una presión de 0.5 atmósferas (Figura 3.10).

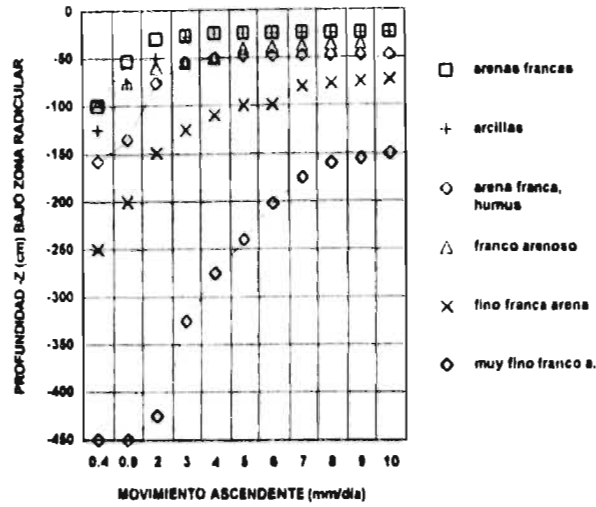


FIGURA 3.10 CONTRIBUCIÓN DE HUMEDAD A LA ZONA RADICULAR, DOORENBOS Y PRUITT

RESUMEN

En este apartado, se presentan las metodologías más estudiadas para la determinación de parámetros de diseño en zonas de cultivo con irrigación. La metodología elegida para el caso de estudio, es la de Blanney-Criddle S.C.S. debido a que en la zona de estudio no se cuenta con una red climatológica que obtenga la información necesaria para la utilización de los métodos basados en la radiación que son tan precisos. Por otra parte se puede decir que los tipos de suelo predominantes en el área de riego son franco arcillosos, arcillo arenosos, pertenecientes a la serie Rosarito, citada en el marco de referencia (Ver 3.1). Es muy conveniente que para fines de planeación sean utilizados los métodos que ofrecen mayor exactitud en las estimaciones, para ello es necesario que se cuente con una red de monitoreo climatológico moderna y eficiente, la cual proporcione la mayor información posible. Se hace indispensable que una vez establecida la zona de riego, se continuen realizando mediciones que permitan establecer las necesidades hídricas de los cultivos, esto con el fin de mejorar la eficiencia en el suministro del recurso hidráulico, en dicha zona de producción.

3.2 DISEÑO DE REDES

En los últimos años, las técnicas de riego han sufrido modificaciones con el fin de abatir costos y eficientar el uso del agua. Es por ello que de la utilización de redes de canales a cielo abierto, ha dado el paso a las grandes redes colectivas y ramificadas a presión. Actualmente en algunos países de Europa, se utilizan grandes redes colectivas con muy buenos resultados, en España específicamente hay por lo menos 600,000 has, proyectadas para tener riego por tubería (REF. **Redes Colectivas de Riego a Presión**).

El diseño de redes colectivas a presión se realiza por etapas bien definidas las cuales son las siguientes:

- 1.- Definición y delimitación de la zona regable y de cada una de las unidades parcelarias de riego.
- 2.- Ubicación de los puntos extremos de la red (fuente o cabecera y terminales o tomas de riego por unidad parcelaria) con las características hidráulicas adecuadas para el suministro de agua a los usuarios.
- 3.- Trazado de la red ramificada que une todos los puntos extremos establecidos.
- 4.- Estimación de los gastos circundantes por cada tramo, los cuales dependerán de los requerimientos de riego y la eficiencia en la distribución, la cual se eleva pues la conducción es por tubería.
- 5.- Dimensionamiento de la red de distribución.

Es de hacer notar que la red de distribución deberá cumplir con las necesidades del sistema de riego empleado, esto se logrará con la carga adecuada. Por ello podemos decir que los condicionantes hidráulicos básicos en una red colectiva son el gasto y la presión.

Las redes colectivas pueden proyectarse para uso mediante turnos preestablecidos de riego o bien para utilización a la demanda, ambas modalidades tienen diferencias bien marcadas, las cuales se especifican a continuación:

a).- **Riego por turnos**, consiste en suministrar agua al usuario de acuerdo a un calendario programado. Esto quiere decir que el agua se va rotando de una parcela a otra.

En caso de que no se respetara el calendario de riegos, el agricultor disminuiría tanto el gasto como la carga suministrada a otras parcelas aledañas, afectando la producción. Se puede decir que la flexibilidad en esta modalidad de riego es nula, ya que una variación mínima en el sistema puede afectar el índice de oportunidad en los ramales más distantes de la fuente de abastecimiento. Otro de los principales problemas en esta modalidad es que la explotación del recurso hidráulico se torna complicado, además de que ofrece incomodidad al agricultor al no tener disposición de su tiempo.

b).- **Riego a la demanda**. A diferencia del riego por turnos, el riego a la demanda ofrece al agricultor la disposición del recurso hidráulico las veinticuatro horas del día, sin más limitación que la modulación en el hidrante del gasto disponible. El usuario podrá abrir su toma a cualquier hora del día y en el momento que crea oportuno y de acuerdo a las necesidades hídricas propias del cultivo. En esta modalidad, la elasticidad del riego y el aprovechamiento del agua del sistema de distribución es similar al de agua potable en asentamientos urbanos.

Es claro que el riego por turnos arrojará un costo de infraestructura menor que el de riego a la demanda, la cual se encarece debido a que los gastos requeridos se estiman con base en las leyes estadísticas de coincidencia en la demanda de los distintos usuarios.

Por todo lo anteriormente expuesto, parecería que el riego por turnos es el sistema más adecuado, ya que ofrece ventajas económicas sobre el riego a la demanda, pero se puede afirmar que el riego a la demanda ofrece más flexibilidad y tiene más eficiencia en lo que a productividad se refiere, además que con una

correcta automatización de las obras de cabecera y distribución se eliminaría el cuerpo de vigilancia, el cual resguarda los volúmenes entregados (REF. **Redes Colectivas de Riego a Presión**).

3.2.1 TRAZO DE LA RED

El trazo de una red es una parte muy importante en el desarrollo del proyecto de riego, de un buen trazo dependerán los costos y eficiencias en la distribución del agua.

El objetivo perseguido por el proyectista deberá ser el conectar la totalidad de las parcelas a las obras de suministro y distribuir correctamente el recurso hidráulico. Las variables básicas del proyecto son las longitudes y los precios de los conductos que conforman la red, dichas variables dependen a su vez de las condicionantes geológicas, orográficas, topológicas y sociales que ofrezca la zona de estudio.

Las redes pueden ser trazadas de acuerdo a dos modalidades básicas las cuales son: redes cerradas o reticuladas, formando circuitos y redes abiertas o ramificadas. Se puede afirmar que el costo de una red cerrada es más elevado que el de una red abierta, esto se debe que la primera forma deberá contar con más agua que la segunda, lo que ocasiona mayores diámetros en la tubería y si es necesario bombeo mayor consumo de energía eléctrica. Derivado de lo anterior, se puede decir que existen dos tendencias para el diseño de una red, la primera considera los condicionantes topológicos con mucho peso, denominándola trazo por linderos; la segunda esta orientada hacia la búsqueda del diseño óptimo sin dar peso a los aspectos topológicos, este método se conoce como de Girette.

3.2.1.1 TRAZO POR LINDEROS

Es uno de los métodos más empleados en el diseño de redes ramificadas y consiste en situar todas las conducciones a lo largo de los bordes de los terrenos y caminos de la zona de riego, procurando cruzar lo menos posible las parcelas. Este criterio facilita la futura conservación de la red y evita la imposición de servidumbres a propietarios de las parcelas. Podría decirse que el diseño de una red utilizando este criterio es muy simple, pero la realidad de las cosas es que se deben de seguir los siguientes lineamientos:

- 1.- El fluido se debe alejar lo más rápidamente posible de las obras de cabecera.

- 2.- Se debe buscar que las obras de toma tengan la suficiente energía para evitar el bombeo.
- 3.- Todas las ramificaciones desde la tubería principal de distribución, se deberá hacer de forma ortogonal, los subramales deben conectarse con una bifurcación a 45° respecto de la dirección del flujo.
- 4.- Se deben localizar los puntos que requieran de más carga.
- 5.- El proyectista debe ser flexible en lo que se refiere a no sacrificar la eficiencia de la red por respetar demasiado los aspectos topológicos.

3.2.1.2 MÉTODO DE GIRETTE.

El método de Girette permite definir el trazo de la red mediante el objetivo de optimización de recursos, es decir pretende realizar las interconexiones entre las cabeceras y las tomas parcelarias con la mínima distancia. Se aprecian dentro de este método tres etapas de diseño, las cuales son las siguientes:

1.- Conexión por proximidad.

Etapas en la cual se define la mejor posición y ubicación de la cabecera de la red, y determina el trazado de longitud mínima cuando todos los nudos de la red resultante coinciden con las tomas de riego. De aquí se pueden aplicar directamente dos algoritmos, el Kruskal, y el Sollin (REF. *Redes Colectivas de Riego a Presión*).

El algoritmo Kruskal, selecciona ordenadamente las conexiones entre las tomas de longitud mínima, desechando aquellas que formen un anillo entre los nudos ya unidos, hasta completar la red, este procedimiento se puede calcular a partir de la ubicación con coordenadas y realizando las iteraciones pertinentes hasta encontrar las conexiones óptimas.

Sollin, por su parte, propone partir desde un nodo cualquiera y unir inmediatamente con el punto más próximo, posteriormente se busca el tercer punto más cercano y se une a los dos anteriores, de igual forma se buscarán los nodos subsecuentes hasta armar toda la red, siempre buscando no cerrar en un circuito y obteniendo la distancia más corta. Este algoritmo es mucho más rápido que el de Kruskal debido a que evita comparaciones innecesarias.

2.- Trazado de longitud mínima.

Este procedimiento aplica primero la metodología de trazado por proximidad, pero como segundo paso, trata de lograr conexiones entre tomas, en puntos que no son nodos y bifurcaciones de la red, de esta forma se logra trazar la red con una longitud menor a la obtenida por métodos como los de Sollin o Kruskal.

Geométricamente se obtendrá un óptimo en el momento que la conformación de la red tenga ángulos superiores o iguales a 120° entre los triángulos adyacentes, es por ello que este método se conoce también como de 120° .

3.- Trazado del costo mínimo.

En el momento en que se tenga el trazado de mínima longitud con los dos procedimientos anteriormente descritos, se procederá a determinar los gastos que circularán por toda la red, para después verificar y modificar el trazado de la red, de tal forma que se tenga un costo mínimo con un bosquejo de longitud mínima. Es decir que se podrán acortar los tramos más costosos y alargar los de menor valor.

Los tres métodos que anteriormente se describieron, ofrecen un trazado de red que será: económico y con menor longitud de desarrollo, pero ofrecen a su vez una serie de interdependencia por los derechos de servidumbre de paso, ya que no es posible respetar los lindes de la zona de riego. Los diseñadores, basándose en experiencias obtenidas en otros trabajos, deben tratar de buscar la geometría de la red más conveniente, ya que no hay una metodología que ofrezca el óptimo completo. Es por ello recomendable utilizar un diseño en el cual se plantea la utilización de los linderos y también las bifurcaciones requeridas para disminuir costos y mejorar las eficiencias.

3.2.1.3 MODIFICACIÓN A LAS DIRECTRICES DE TRAZO

En los puntos anteriores se ha tratado a la red como si se encontrará ubicada en un plano horizontal, pero en la realidad esto no ocurre, lo que ocasiona que en la red actúen diferentes presiones a lo largo de todo su desarrollo y por ende diversas resistencias requeridas por los tubos. También es conocido que en los ramales o derivaciones conectadas a la arteria principal, la acción de la presión no es muy significativa debido a que se trata de distancias relativamente cortas y de un gasto que disminuirá en la medida que el flujo se acerque a el final de su trayecto, lo que permite el telescopiado de la tubería. Esta acción de la presión en las arterias principales pudiera tener un valor digno de consideración, por lo que es necesario contar con nuevas directrices de diseño, dentro de las cuales se encuentra el llamado ángulo de desviación entre dos curvas de nivel que se unen por un ducto, el cual se determina en base a los costos de la tubería

definidos por las presiones requeridas en cada punto extremo de la red y la longitud más corta entre los dos puntos extremos (ver figura No.3 11), dicho ángulo se determina con la siguiente expresión:

$$\Theta_j = \arccos (C_{n+1}/C_i) \quad (3.28)$$

En la anterior expresión:

Θ_j Es conocido como el ángulo de desviación (°).

C_i Es el costo del tramo inicial (\$).

C_{n+1} Es el costo siguiente al inicial (\$).

3.2.1.4 EVOLUCIÓN DE LAS METODOLOGÍAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE REDES

El dimensionamiento de las primeras redes colectivas de riego fueron realizados mediante cálculos hidráulicos de prueba y error. Los condicionantes básicos eran los siguientes: la cota piezométrica disponible en la cabecera y las cotas mínimas en los puntos terminales, así como los gastos necesarios en cada toma. Con las consideraciones anteriores arrojan varias soluciones a un problema dado, sin permitir una plena seguridad acerca de lo que ocurrirá en cada tramo de la red, por lo que se adoptarán consideraciones tales como: el concepto de velocidad permisible, el cálculo por arterias independientes o por zonas y finalmente la distribución de las pérdidas de carga disponible en todos los ductos que conforman la red.

El desarrollo de metodologías para el dimensionamiento de redes colectivas de baja presión ha sido muy rápido, de entre dichas metodologías destaca **el método de la pérdida de carga constante**, el cual es un método aproximado y se basa en condicionar la elección del diámetro de cada tramo de una red de forma que la pérdida de carga de éste sea lo más próxima posible a la media disponible en la arteria a la que pertenece, es decir, se obliga a que la línea piezométrica de cada una de las arterias sea sensiblemente una recta. Otro de los procedimientos empleados es **el de programación lineal**, en el cual se plantea la búsqueda de un óptimo basándose en suponer que cada uno de los tramos de la red, cuya longitud L y caudal Q son valores conocidos y a su vez están cubiertos por una gama de n diámetros distintos,

ocupando cada uno una longitud l desconocida la cual es la incognita del problema, el cual se soluciona considerando los costos de cada uno de los tramos con la tendencia hacia el más económico.

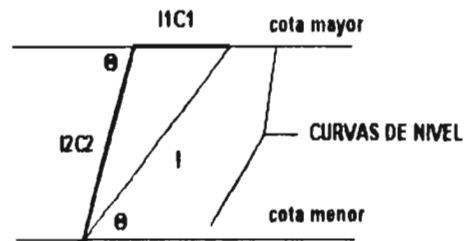


FIGURA 3.11 CAMBIOS EN LAS DIRECTRICES DEL TRAZO

Dentro de las metodologías utilizadas para determinar los diámetros de la tubería, se encuentra el procedimiento desarrollado por Laybe y Lechapt, el cual está dividido en dos partes en su época de estudio las cuales son: La metodología continua y la discontinua.

En el método continuo, se supone que el diámetro es una variable continua, es decir, parte de la hipótesis de que el mercado no tuviese estandarizados los calibres de las tuberías, pudiendo el fabricante suministrar el diámetro preciso para cada caso a un precio que fuese función continua de este. Teóricamente existe en estas consideraciones la aparición de una multitud de variables, lo que hace necesaria la utilización de equipo de cálculo electrónico para facilitar la solución de un problema dado (REF. Redes Colectivas de Riego a Presión, Análisis Numérico B. Fairea)

El método discontinuo por su parte es una discretización del método continuo. En esta metodología se admite que el diámetro de los conductos se encuentran estandarizados por los fabricantes, es decir esta variable se considera discreta y dependiente de la velocidad máxima permisible.

Esta metodología ha sido utilizada para desarrollar un programa de computo llamado DIMRED, el cual ha arrojado buenos resultados, dicho programa se desarrolló en España y fué diseñado por Alfredo Granados (REF. Redes Colectivas de Riego a Presión).

3.2.2 DETERMINACIÓN DEL GASTO PARA UN SUMINISTRO A LA DEMANDA Y POR ROTACIÓN

Una vez que se ha definido la geometría más adecuada que deberá tener la red, se debe proceder a obtener una determinación de los gastos que circularán por ella, dichos gastos dependerán de los siguientes aspectos: ubicación de las tomas, necesidades hídricas, presión, y la modalidad de riego que se vaya a emplear. Los caudales que se determinan corresponden al período de máximo consumo en el plan de riegos (REF. Tesis Magaña Sosa, Flex. Rieg.).

Generalmente se diseña una red de tuberías a presión considerando satisfacer un riego a la demanda, pero por otra parte, la red de tuberías ofrece facilidad, dotación ágil y correcta en un riego por turnos, en esta modalidad se calculan los gastos por su acumulación progresiva desde la cola hasta la cabecera de la red, y de acuerdo a las necesidades en cada toma. Es evidente que el riego por turnos no ofrecerá flexibilidad en el sistema, pero este problema se puede evitar de forma parcial, fijando el caudal circulante en cada tramo mediante un método estadístico, el cual permita eliminar todas aquellas combinaciones de consumo de muy pequeña probabilidad de ocurrencia. Para estimar dichas probabilidades se deben considerar los llamados parámetros de riego que verifican el suministro, estos a continuación se describen:

- 1.- El coeficiente unitario de riego, denotado por (q), el cual es el gasto que se debe suministrar estrictamente por ha, este valor se estima siempre considerando la mayor demanda hídrica, para el plan de riegos.
- 2.- Grado de libertad, (GL) se obtiene a partir del cociente del caudal real que llega a la toma y el coeficiente unitario de riego de la zona de estudio, este coeficiente representa la seguridad que el productor tiene para que pueda regar su parcela, este valor fluctúa entre 1.5 y 6.0 según el tamaño de cada parcela.
- 3.- Eficiencia de la red, (r) es el parámetro que delimita la capacidad de la red de responder a las demandas superiores al diseño.
- 4.- Garantía de suministro (GS%) es el valor en % de la probabilidad estadística de que los gastos circulantes en la red, durante el período de punta de consumo, no superen a los de diseño.

En el momento que los anteriores parámetros queden definidos, quedará fijado un sobredimensionamiento de la red para el resto de la campaña de riegos, esto debido a que el diseño se basa en la demanda hídrica más crítica, lo cual aumentará el grado de flexibilidad de todo el sistema.

Uno de los aspectos importantes es el referente al gasto que habrá en cada toma, también llamado dotación, el cual se estima mediante la siguiente expresión:

$$d=q \cdot S \cdot GL \quad (3.29)$$

En donde:

- d Es la dotación en ($L^3 T^{-1}$).
- q Es el coeficiente unitario de riego ($L^3 T^{-1}$ por L^2).
- S Superficie de la zona de riego (L^2).
- GL% Es el grado de libertad (%).

El valor de la dotación (d), siempre se redondea al inmediato superior en, con el fin de reducir las limitaciones de caudal en la red, este redondeo se efectúa escalonando las dotaciones por múltiplos de 2 y de 5 (lt/s), con lo que se establece una modulación de los gastos servidos, lo que guarda una semejanza con los módulos de riego habituales en los sistemas por turno, este redondeo implica la modificación sistemática de el grado de libertad.

3.2.2.1 FÓRMULA DE CLEMENT

El caudal real circulante en una red colectiva a la demanda es variable a lo largo de todo el día, ya que dependerá de la probabilidad de coincidencia en el riego de las parcelas a las cuales abastece. El cálculo de los gastos está determinado en base a métodos estadísticos, esto es debido a que se supone que los usuarios de la red siguen una determinada ley de distribución probabilística en la aplicación de los riegos. René Clement, propuso en 1967 una ecuación la cual determina el gasto circulante en el sistema, dicha ecuación es conocida como la fórmula de Clement y esta denotada de la siguiente manera (REF. *Redes Colectivas de Riego a Presión, Tesis Magaña Soa, Flex. Rieg., Calul D' un Reseau Ramifie Sous Pression Optimisation D' un Reseau Neuf*):

$$Q = \sum d_i p_i + U \sqrt{\sum d_i p_i (d_i - d_i p_i)} \quad (3.30)$$

En donde:

Q Gasto del tramo en análisis (L3 T-1).

d_i Dotación individual por toma situado aguas abajo del tramo.

p_i Probabilidad de que el hidrante este funcionando, la cual se define por el cociente que resulta de dividir t' (número de horas por día que el productor tendría abierta su toma en el periodo de máximo consumo hídrico) entre t'' (número de horas por día que la red esta capacitada para transportar la dotación requerida, y dada por: $p_i = t'/t'' = 1/(r \cdot GL_i)$).

U Coeficiente variable en función de la garantía de suministro establecida.

Los valores de U dependen de la garantía de suministro GS, de acuerdo con el cuadro No. 3.12.

CUADRO 3.12 RELACIÓN DEL COEFICIENTE U CON LA GARANTÍA DE SUMINISTRO

GS (%)	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	99.5
U	1.28	1.34	1.41	1.48	1.56	1.65	1.75	1.88	2.05	2.33	2.58

La expresión 3.30, podría ser no válida para muestras reducidas, esto debido a que se trata de una fórmula estadística y en algún caso especial podría reportar datos erróneos. Es decir si se cuenta con pocas tomas en un tramo corto los gastos podrían resultar ser excesivos, pese a esto el valor dado por $\sum d_i$ tiene una garantía de suministro del 100%, ya que se supone que por todas las tomas se moviliza el gasto máximo demandado. Es por ello que en la estimación de los caudales de diseño de cada tramo, se fija el gasto como el correspondiente al menor absoluto entre Q y $\sum d_i$, quedando además cubierta de esta forma la posibilidad de coincidencia total de la demanda en las colas de la red.

La ecuación 3.30, se basa en la hipótesis de suponer que la garantía de suministro GS, sigue una ley de distribución normal. Su exposición parte de la simplificación de suponer una red con todas las tomas iguales en la que el usuario regase siempre con la máxima dotación. El fenómeno aleatorio del riesgo en esta hipótesis sólo admite que cada toma tenga la probabilidad de estar totalmente abierta (p) o totalmente

cerrada (1-p), la probabilidad de que en un instante determinado esten abiertas (x) tomas del total (n) existente, estará dado por la siguiente expresión:

$$p(x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \quad (3.31)$$

La cual es una función de densidad de una ley de distribución binomial cuya función de distribución esta dada por:

$$F(x) = \sum_{l \leq x} \binom{n}{l} p^l (1-p)^{n-l} \quad (3.32)$$

cuya media y desviación típica están dadas por:

$$m = n \cdot p \quad (3.33)$$

$$\sigma = \sqrt{np(1-p)} \quad (3.34)$$

El valor de F(x) expresado en la ecuación 3.32, representa la probabilidad acumulada de ocurrencia de que en una muestra de n tomas nunca estén abiertas más de x.

Tipificando la variable x, mediante la transformación U con media cero y varianza igual a la unidad, tendremos la siguiente expresión:

$$U = \frac{x-m}{\sigma} = \frac{x-np}{\sqrt{np(1-p)}} \quad (3.35)$$

Suponiendo ahora que el número de elementos n es demasiado grande, la distribución discreta se transforma en una distribución continua simétrica a esto se le conoce como Ley de Gauss, quedando una ecuación del tipo (REF. Probabilidad, 1978 S. Mc. H.):

$$F(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^U e^{(-z^2/2)} dz \quad (3.36)$$

esta expresión también se puede escribir en términos porcentuales, con lo que tendríamos:

$$GS(U) = \frac{100}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^U e^{(-z^2/2)} dz \quad (3.37)$$

A partir de la ecuación anterior, se pueden tabular valores de GS en función de U, tal y como se puede observar en el cuadro No. 3.12. De esta manera queda establecido que a toda garantía de suministro (GS) le corresponde un valor de U y un número x de tomas abiertas, el cual se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$x = np + U \sqrt{np(1-p)} \quad (3.38)$$

El gasto que circularía entonces por dicho tramo sería:

$$Q = xd = npd + U \sqrt{npd^2(1-p)} \quad (3.39)$$

En el caso de que las tomas fuesen heterogéneas, resultaría la ecuación No. 3.30, reemplazando los siguientes factores: npd por $\sum p_i d_i$; y $npd^2(1-p)$ por $\sum p_i d_i^2(1-p_i)$.

RESUMEN

La introducción de sistemas de riego a base de redes de baja presión, es una excelente alternativa hoy en día en que hay que optimizar el uso de los recursos hidráulicos, así como elevar la productividad, lo cual se ha observado en España.

El trazo, es un aspecto muy importante, pues de ahí dependerá la eficiencia en la llegada del agua a la parcela de forma oportuna y con el volumen adecuado. Sería muy favorable que el trazo siguiera los lineamientos de Girette, pero desgraciadamente en ocasiones hay que respetar los linderos existentes.

Para la determinación de los caudales que se deberán suministrar por toma, es necesario considerar las políticas que se siguen en la región y compararlas con los resultados del análisis de requerimientos de riego, para así decidir el gasto a suministrar.

Para la determinación de los gastos circulantes en la red es necesaria la implementación de equipos electrónicos que efectúen los procedimientos de cálculo, ya que se ofrece la posibilidad de aplicar métodos numéricos como el de Laybe, el cual no sería práctico utilizar por medios manuales. Este método ofrece una determinación exacta de los diámetros requeridos en su metodología continua y en la discontinua se apega a los diámetros fabricados y distribuidos en el mercado mundial, por lo que supera a la aproximación de cálculo que ofrece el método de la pérdida de carga constante. El análisis de flexibilidad de un sistema se debe hacer a través de la fórmula de Clement, en la cual interviene el factor probabilístico y que estipula la posibilidad de ofrecer un servicio regular a los usuarios.

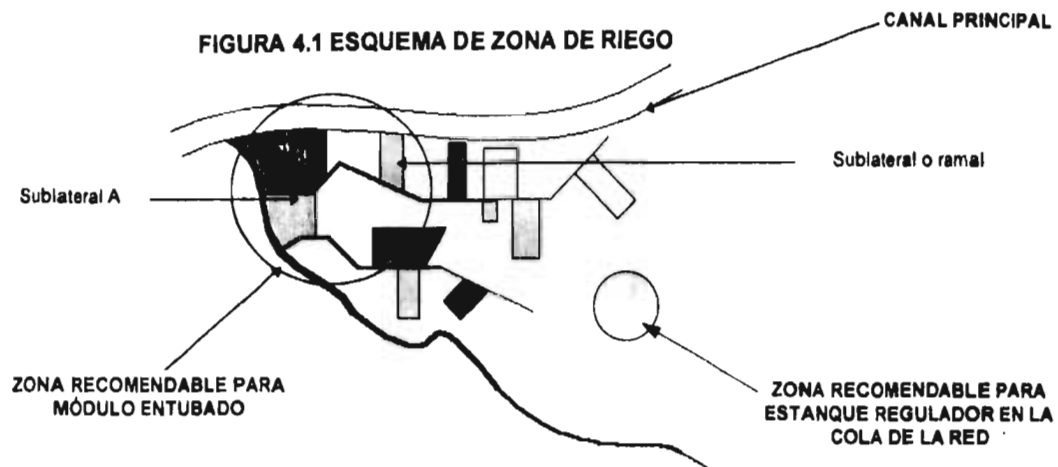
CAPÍTULO 4

MATERIALES Y MÉTODOS, DISEÑO DE LA RED

4.1 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO

Para la realización del "Proyecto Costa de Chila", desde 1960 se estuvieron realizando estudios enfocados a la caracterización hidrométrica y climatológica, así como de suelos y producción agrícola, de la zona a beneficiar. Toda la información obtenida inicialmente arrojó resultados tales como, la decisión de construir una presa derivadora, que proporcionara el volumen suficiente para alimentar la red de distribución a gravedad en el área productiva (ver apartado 2.1). También se determinó que dicha red estuviera conformada por canales a cielo abierto y revestidos, con equipamiento de bombeo en algunas zonas, los costos que reporta la construcción de una infraestructura de ese tipo ya están dados. La modalidad propuesta para efectuar el riego es por medio de la rotación, esto implica que los productores estarán restringidos en cuanto al uso del agua y la disponibilidad de su tiempo, también sería necesario la implantación de un sistema de vigilancia que haga cumplir el abastecimiento adecuado del recurso hidráulico. Lo anterior describe a un sistema que no ofrece flexibilidad alguna al productor agrícola y por ende ineficiencias que se reflejarán en la productividad de la región. El presente capítulo propone establecer la metodología necesaria para determinar los parámetros de diseño de la zona agrícola y la introducción de un sistema de redes de baja presión, que permitan una mayor flexibilidad en el riego, ofreciendo mayor eficiencia en la producción esperada del sistema.

Es importante mencionar que los proyectos de entubamiento en obras nuevas deben estar ubicados en las zonas de riego más cercanas a la cabecera de la red con la finalidad de que tengan un suministro constante de agua, tal es el caso del sublateral A de la Figura 4.1. Al realizar un entubamiento es necesario conocer si el sublateral está dentro de un área con programa de riego por rotación. Si el sublateral A necesitara tomar el agua tres días de una semana, la tubería se tendría que sobredimensionar y no sería recomendable entubar a altos costos. En este caso se tendría que sobredimensionar una parte del lateral como se indica en la Figura 4.1



En el caso de que se requiera entubar el sublateral ubicado en la cola de la red (sublateral E Figura No.4.1), sería necesario ubicar un estanque de regulación con el fin de recibir los excesos o derrames de agua y poderlos inyectar a la red regularmente y evitar que se sobredimensionen las tuberías.

En el caso del "Proyecto Costa de Chila", se tiene un intervalo crítico de riego de 16 días por lo que se debe poder regar en ese tiempo. En un futuro se pretende ubicar estanques de regulación para regar las áreas de riego ubicadas en la cola de la red.

4.1.1 PATRÓN DE CULTIVOS Y CARACTERÍSTICAS INDIVIDUALES

Debido a que se cuenta con una disponibilidad de 65 Millones de m^3 es posible beneficiar un área de 12,040 ha., la zona de implementación de red entubada es de 500 ha, la cual será de aquí en adelante la unidad de prueba. Para la siembra de diversos cultivos, obteniendo así el patrón de cultivos de máxima utilidad para un ciclo anual. El período vegetativo de cada uno de los cultivos debe contemplar las siguientes estaciones de desarrollo: crecimiento inicial, crecimiento rápido, estación media y estación tardía, esto con la finalidad de tener lo más controlada posible la demanda hídrica. También es necesario considerar el tipo de suelo predominante (2.1.7) así como la profundidad radicular que desarrolla cada cultivo.

4.1.2 REQUERIMIENTO DE RIEGO

En la actualidad económica del país, no se cuenta con una red de monitoreo que permita obtener los coeficientes unitarios de riego de una región específica (método de muestreo estratificado), debido a que para efecto de planeación resulta muy costoso instrumentar una infraestructura que describa el grado de demanda hídrica en una región en la que se planea aplicar el cultivo intensivo. Lo que resulta imperdonable, es que ya establecida la zona productiva no se realicen estudios al respecto, ya que ello produciría beneficios que se resumen en el mejor aprovechamiento de los recursos naturales.

En la determinación de los coeficientes unitarios de riego, la tendencia es el empleo de la simulación sintética, proceso que requiere de información climatológica y agronómica en el cual se determinan las necesidades hídricas de los cultivos.

La metodología propuesta por Espinosa León (2.2.1.1) es se adecua para fines de planeación, pues en ella se estima primeramente la necesidad hídrica del cultivo, luego se calcula la lámina húmeda que necesita el suelo, para de ahí estimar las áreas a cultivar, y finalmente obtener los coeficientes unitarios de riego afectados por la eficiencia en la conducción.

4.1.2.1 ECUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO

La ecuación de balance hídrico es de máxima importancia ya que mide los cambios de almacenamiento de agua en el suelo (ver 3.1.2). Haciendo un análisis detallado de dicha hipótesis, se llega a la determinación de que el principio de continuidad es aplicable al balance, pues se tiene con ello la posibilidad de determinar el agua empleada para el desarrollo de la planta (ecuación 3.1). El concepto de humedad aprovechable ligado directamente a la capacidad de campo y al punto de marchitamiento permanente; así como la textura propia del suelo y desarrollo radicular, permiten obtener una expresión final que determine la lámina neta en función de las tres variables, la cual se denota por: $L_n = HA \cdot Prad \cdot GA$ (3.17).

Para resolver la ecuación de balance, se hace necesaria la consideración de la lluvia efectiva, en el presente trabajo se estudiarán las metodologías propuestas en el apartado 3.1.5, de tal forma que el criterio de Ogrosky y Mockus fundamentado en un coeficiente de efectividad de lluvia y un déficit de 80.00 mm, reporta resultados satisfactorios, es aquí donde intervienen las mediciones de lluvia realizadas para cada mes en la estación "Paso de Arocha", la expresión utilizada es: $P_e = CP \cdot P$ (3.25).

Por lo que se refiere a las contribuciones hídricas del subsuelo, se utiliza un método gráfico, el cual se fundamenta en la textura del suelo (gráfica 3.10), con el criterio de Doorenbos y Pruitt (1984).

4.1.2.2 EVAPOTRANSPIRACIÓN EN LA ZONA DE ESTUDIO

La determinación de la evapotranspiración esta sujeta a la disponibilidad de información climática. Es sabido que los métodos que se basan en la radiación solar, son más precisos que otros que no la toman en cuenta. En la mayoría de las zonas de riego no se cuenta con una red de monitoreo que reporte la información necesaria, para utilizar los métodos de radiación. En este trabajo se utilizó información reportada desde una estación climatológica convencional denominada "Paso de Arocha" y que se encuentra en la parte central de la zona de producción. El método utilizado es el de **Blanney Criddle, versión S.C.S.E.U.** (ver 3.1.3.1.1.1), basado en la temperatura. En este estudio primeramente se determina la evapotranspiración de un cultivo de referencia, en este caso se utilizó el pasto, los cálculos se realizaron mediante la aplicación del programa de cómputo "**WATER**", el cual cuenta con bases de datos de información del tiempo luz para diferentes latitudes en el planeta, además su algoritmo emplea los coeficientes de desarrollo del cultivo estudiado para diferentes tiempos; en el cálculo el usuario solo introduce las temperaturas promedio para cada mes del año, y la latitud, posteriormente automáticamente se calcula la evapotranspiración mensual. Este programa arroja resultados correctos según experiencias en los Estados Unidos y en España, los cuales tienen sus deficiencias comentadas en el capítulo 3, pero que para fines de planeación tiene una buena aceptación en la zona de estudio.

La evapotranspiración de los diversos cultivos se obtiene a partir de la consideración de los factores de requerimiento hídrico en las tres etapas de crecimiento denotadas por KDC (ver 3.1.4), la ecuación que describe lo anterior es: $ETC = KDC * ET$ (3.22). Es necesario calcular las fechas claves de crecimiento que tendrán los cultivos, con lo cual se obtendrán los valores KDC.

4.1.2.3 OBTENCIÓN DE LOS COEFICIENTES UNITARIOS DE RIEGO

Cuando se cuente con información de las fechas claves de necesidad hídrica para cada cultivo y los usos consuntivos individuales, así como la lámina neta, se deberán graficar las curvas de evapotranspiración contra tiempo, introduciendo en dicha gráfica la lámina neta para así poder estimar las fechas de riego para cada cultivo, pudiendo también calcular esos tiempos de manera analítica.

Una vez conocida la información referente a necesidades hídricas de las plantas, la capacidad de almacenamiento de los suelos, contabilizado el área que se le destinará a cada uno de los cultivos y los tiempos de riego, se está en la posibilidad de realizar el "**Plan de Riegos y Ley de Demandas del Proyecto Costa de Chilla**"; en dicho plan se calendarizará la información de necesidades volumétricas de agua por cultivo de acuerdo a las eficiencias de conducción que se tengan en ese momento, así como la lámina de aplicación.

Definido y estructurado el **Plan de riegos**, se pueden calcular los "**Coefficientes Unitarios de riego**", de la zona de estudio, obteniendo un consumo en l/s por cada unidad de superficie (ha), y para cada eficiencia de conducción que se tenga. La metodología empleada es la siguiente:

- 1.- Primeramente se deben tabular los cultivos con su respectiva área por ocupar en la zona de estudio y su correspondiente evapotranspiración diaria (cm/día).
- 2.- Todas las áreas se acumularán.
- 3.- Por cada cultivo se deberá tabular el volumen de agua necesario por mes, el cual se obtiene de la multiplicación de la superficie por la lámina diaria requerida.
- 4.- El volumen requerido se debe acumular.

5.- El **coeficiente unitario de riego**, se obtiene de dividir el volumen acumulado y tabulado, entre el tiempo en un mes (s) y posteriormente multiplicando dicho cociente por la superficie acumulada, con lo que se obtendrá un gasto necesario por superficie, valor que se debe afectar por las diversas eficiencias de conducción.

Los valores de los coeficientes unitarios de riego, pueden ser graficados contra la superficie acumulada, en un plano Euclidiano semilogarítmico. De esta forma se puede esquematizar su variabilidad con respecto a la acumulación de la superficie en la zona de estudio.

4.2 DISEÑO DE REDES

El diseño de la red de riego a baja presión, se hará tomando en cuenta dos modalidades de riego, a la demanda y por rotación o semiflexible. Se analizarán los costos de cada una de las alternativas obtenidas y se compararán con el costo de la infraestructura contemplada en el proyecto original, el cual está basado en la construcción de una red de canales revestidos y a cielo abierto.

4.2.1 UBICACIÓN DE LAS TOMAS

La ubicación correcta de las tomas tiene su base en la topografía del área en estudio, es recomendable definir las curvas de nivel a cada 25 cm. Por otra parte es conveniente definir los lides entre parcelas y calcular sus áreas respectivas. En este estudio se diseña el sistema de redes llevando el agua hasta las cotas que ofrezcan mayor energía, con la finalidad de que el flujo pueda llegar hasta la zona de drenaje con la mayor eficiencia posible. También puede elegirse el método de riego con tubería de compuerta, en el cual no es necesario que se ubique la toma en la parte más alta de la parcela. Otra de las técnicas convenientes podría ser el riego por sifones, en el cual se deben construir regaderas. Finalmente se podría decir que es recomendable buscar la manera de que el riego se realice buscando minimizar la erosión del suelo, sin permitir que se pierda la agilidad en el riego.

4.2.2 CRITERIO PARA EL TRAZADO DE LA RED

En el módulo de la zona de estudio donde se aplicará el sistema de tubería de baja presión, se deben de considerar las dos tendencias del trazo las cuales son: **trazo por lindes** (3.2.1.1) y trazo mediante la utilización del **método de Girette** (3.2.1.2), el cual tiene la mecánica siguiente: conexión por proximidad,

trazado de longitud mínima y el trazo del costo mínimo, obteniendo al final una geometría que se aproxima a la óptima. Además se deberá pretender que la fuente de abastecimiento este interconectada a todas las tomas, buscando que el flujo se aleje lo más rápido posible de la entrada y se dirija hacia las cabeceras.

Es necesario que una vez que se cuente con los trazos anteriormente señalados, se proceda a hacer las modificaciones pertinentes en las directrices del trazado, considerando la ecuación: $\theta_1 = \arccos(C_{n+1}/C_1)$ (3.28), la cual permite determinar el ángulo de desviación pertinente de un punto a otro de la red, evitando fallas en las tuberías por variaciones en las presiones que pueden ser soportadas por la tubería.

Con las consideraciones anteriores se tendrán básicamente dos diseños, en los cuales serán analizados sus respectivos costos.

4.2.3 DETERMINACIÓN DE LOS GASTOS REQUERIDOS EN CADA TOMA

En la actualidad, en el sitio de proyecto, todos los productores están acostumbrados a utilizar agua en demasía, por lo que se hace necesario hacer una evaluación entre los agricultores acerca del volumen que utilizan regularmente, de tal manera que se obtenga un gasto práctico por suministrar a cada toma. Por lo regular el gasto suministrado es de 90 a 100 l.p.s., y la velocidad permisible se encuentra entre 2 y 3 m/s. Otra de las consideraciones que se debe emplear, es la determinación de la dotación en cada toma basándose en los coeficientes de requerimientos de riego, de tal forma que permita verificar cual es el grado de sobredimensionamiento de la red (ver 3.2.2).

4.2.4 CÁLCULO DE LOS GASTOS EN CADA TRAMO DE LA RED

El cálculo de los gastos en cada tramo de la red se basa en considerar el número posible de tomas abiertas a las cuales abastecerá dicho tramo, la expresión utilizada para estimar dichos gastos, es la conocida como **Ecuación de Clement** (ver 3.2.2.1), en la cual intervienen consideraciones probabilísticas y que es válida para muestras grandes.

El procedimiento para determinar los gastos en la red serán los siguientes:

- 1.- Definir el tiempo efectivo de riego (T_{er}), el cual deberá ser definido en el intervalo crítico de riego.
- 2.- Estimar el tiempo de riego requerido por toma y en función del área por regar.
- 3.- Se estima la probabilidad de que una toma se encuentre abierta, con la relación de tiempo de operación y el tiempo efectivo de riego.
- 4.- Definir la garantía de suministro (GS%) de la red, es decir, la probabilidad de que los caudales circulantes en la red no superen a los de diseño. Es recomendable considerar un valor mínimo de 95% (por experiencias en trabajos anteriores).
- 5.- Con base a la ecuación 3.31 se debe calcular el número máximo de tomas abiertas de manera simultánea.
- 6.- Finalmente se debe calcular el gasto de diseño de acuerdo con el número de tomas estimada en el punto 5 y la dotación por toma.

Para seleccionar los diámetros por tramo del sistema, se utilizará el programa de cómputo desarrollado en España **DIMRED**, el cual estima los diámetros en función de una carga mínima solicitada por toma, los caudales circulantes y las longitudes de los tramos. Este programa de cómputo arroja resultados de dimensionamiento y costo del sistema (sin considerar las conexiones especiales que con base a experiencia representa el 10% del costo de la tubería) y que se basa en el método discontinuo de Laybe.

4.2.5 FLEXIBILIDAD

La flexibilidad del sistema se refiere a la capacidad que la red tiene para poder entregar de manera oportuna y eficiente el agua en cada toma. Este análisis refleja la capacidad de disminuir las limitaciones impuestas en un sistema de distribución por turnos.

RESUMEN

Los materiales y métodos antes descritos, son los que ofrecen mejores resultados en la zona de estudio, permitiendo la correcta planeación de la zona de cultivo y el mejor suministro de agua en cada parcela.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 COEFICIENTES DE REQUERIMIENTO DE RIEGO

Por medio del análisis realizado en la región de estudio, se obtuvo un patrón de cultivos que ofrecen una mayor rentabilidad tanto en el mercado nacional como internacional, esto en coordinación con los productores y las dependencias federales y estatales, dicho patrón cuenta también con una distribución territorial en la superficie regable, así como su ciclo producción calendarizado. Los resultados anteriores se aprecian en el cuadro 5.1.

CUADRO 5.1 PATRON DE CULTIVOS DE MÁXIMA UTILIDAD

CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ARROZ	406.0												
CACAHUATE	4.0												
CHILE1	12.0												
CHILE2	12.0												
FRIJOL1	3,708.0												
FRIJOL2	1,831.0												
JITOMATE1	4.0												
JITOMATE2	103.0												
MELÓN	1.0												
PEPINO	2.0												
SANDÍA	40.0												
BORGO	41.0												
BOYA	2,487.0												
TABACO	3,389.0												
TOTALES (***)	12,040.0	7,461.0	7,461.0	7,461.0	364.0	5,733.0	7,461.0	7,460.0	7,419.0	7,461.0	7,461.0	7,461.0	7,461.0

(***) Superficie bajo riego durante el mes.

Una vez obtenido el patrón de cultivos de máxima utilidad, se procedió a investigar los ciclos vegetativos de cada uno de los cultivos que lo conforman. De esta manera se obtuvo el cuadro 5.2, el cual describe la duración en días de las cuatro diferentes etapas de crecimiento de todo el ciclo vegetativo.

CUADRO 5.2 NÚMERO DE DÍAS DEL PERÍODO VEGETATIVO

CULTIVO	Crecim. inicial	Crecim. rápido	Est. media	Est. tardía	periodo veget.días
AGUACATE	62	92	150	61	365
AJONJOLI	15	23	37	15	90
ARROZ	26	38	62	26	150
CACAHUATE	26	38	62	26	150
CHILE	15	23	37	15	90
FRIJOL	26	38	62	26	150
FRIJOL	26	38	62	26	150
JITOMATE	36	53	86	36	210
JITOMATE	36	53	86	36	210
MELÓN	26	38	62	26	150
PAPAYO	62	91	150	62	365
PEPINO	26	38	62	26	150
PLÁTANO	62	91	150	62	365
SANDÍA	26	38	62	26	150
SORGO	31	45	74	31	180
SOYA	31	45	74	31	180
TABACO	26	38	62	26	150

Primero se calculó la evapotranspiración de un cultivo de referencia, el cual fue el pasto. La metodología aplicada fué la de **Blaney y Criddle, versión S.C.S.E.U.** (ver 4.1.2.2), utilizando el programa de cálculo electrónico conocido como **WATER**, los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 5.3.

Durante el procedimiento de cálculo del presente trabajo, se observó que utilizando los coeficientes KC para el cultivo de referencia de 0.85 y 1.15, se obtuvieron resultados sobreestimados en lo que se refiere a las demandas hídricas de los cultivos, lo que ocasionaría que el dimensionamiento del sistema de riego, tuviera un alto grado de seguridad, esto quiere decir que la geometría obtenida utilizando este criterio no ofrecería el rendimiento cercano al óptimo, y tendría un elevado costo, por lo que se decidió utilizar los resultados obtenidos con el coeficiente $KC = 0.75$.

CUADRO 5.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA (mm/día)

MES	KC=0.75
ENERO	3.14
FEBRERO	3.15
MARZO	3.61
ABRIL	4.13
MAYO	4.68
JUNIO	5.22
JULIO	5.15
AGOSTO	5.05
SEPTIEMBRE	4.83
OCTUBRE	4.47
NOVIEMBRE	3.77
DICIEMBRE	3.42

mm/día

Una vez que se cuenta con el patrón de cultivos, se hace necesario estimar las fechas del desarrollo de los cultivos las cuales se muestran en el cuadro No. 5.4, en donde se denotan las diferentes etapas de: crecimiento inicial, crecimiento rápido, estación media y estación tardía o de producción. Auxiliándose de los cuadros 5.1 y 5.2, es posible calcular la porción de cada mes a que corresponde cada uno de los periodos anteriormente mencionados. Pudiendo también calcular los correspondientes coeficientes KDC1, KDC2 y KDC3 (ver 3.1.4). El valor de KDC1 depende del intervalo de riego el cual en este caso es > 4 días, dicho valor se verifica o compara con el dado en el cuadro No. 3.10.

CUADRO 5.4 FECHAS CLAVES EN EL DESARROLLO DE LOS CULTIVOS

CULTIVO	CreCIM. Inicial	CreCIM. rápido	Est. media	Est. tardía	Periodo Veget.	SÍMBOLOS
AGUACATE	62	92	150	61	365	DÍAS
	01/ENE - 02/MAR	03/MAR - 03/JUN	04/JUN - 01/NOV	02/NOV - 31/DIC		FECHAS
	31 días de ENE	29 días de MAR	27 días de JUN	29 días de NOV		
	29 días de FEB	30 días de ABR	31 días de JUL	31 días de DIC		
	02 días de MAR	31 días de MAY	31 días de AGO			
		03 días de JUN	30 días de SEP			
			31 días de OCT			
			01 días de NOV			
AJONJOLÍ 1	15	23	37	15	90	DÍAS
	01/MAY - 15/MAY	16/MAY - 07/JUN	08/JUN - 14/JUL	15/JUL - 29/JUL		FECHAS
	15 días de MAY	16 días de MAY	24 días de JUN	15 días de JUL		
		07 días de JUN	14 días de JUL			

CULTIVO	Crecim. inicial	Crecim. rápido	Est. media	Est. tardía	Periodo Veget.	SÍMBOLOS
AJONJOLI 2	15	23	37	15	90	DIAS
	30/JUL - 13/AGO	14/AGO - 05/SEP	08/SEP - 12/OCT	13/OCT - 27/OCT		FECHAS
	02 días de JUL	18 días de AGO	25 días de SEP	15 días de OCT		
	13 días de AGO	05 días de SEP	12 días de OCT			
	0.38	1.20	1.10	1.10		KC1 tabla = 1.13
ARROZ	31	45	74	31	180	DIAS
	01/MAY - 31/MAY	01/JUN - 15/JUL	16/JUL - 27/SEP	28/SEP - 28/OCT		FECHAS
	31 días de MAY	30 días de JUN	18 días de JUL	03 días de SEP		
		15 días de JUL	31 días de AGO	28 días de OCT		
			27 días de SEP			
	0.38	1.20	1.10	1.10		KC1 tabla = 1.13
CACAHUATE	26	38	62	26	150	DIAS
	01/MAY - 26/MAY	27/MAY - 03/JUL	04/JUL - 03/SEP	04/SEP - 29/SEP		FECHAS
	26 días de MAY	05 días de MAY	28 días de JUL	26 días de SEP		
		30 días de JUN	31 días de AGO			
		03 días de JUL	03 días de SEP			
	0.38	0.98	0.55	0.55		KC1 tabla = 0.40
CHILE 1	15	23	37	15	90	DIAS
	01/NOV - 15/NOV	16/NOV - 08/DIC	09/DIC - 14/ENE	15/ENE - 29/ENE		FECHAS
	15 días de NOV	15 días de NOV	23 días de DIC	15 días de ENE		
		09 días de DIC	14 días de ENE			
	0.42	1.03	0.85	0.85		KC1 tabla = 0.35
CHILE 2	15	23	37	15	90	DIAS
	30/ENE - 13/FEB	14/FEB - 07/MAR	08/MAR - 13/ABR	14/ABR - 28/ABR		FECHAS
	02 días de ENE	18 días de FEB	24 días de MAR	15 días de ABR		
	13 días de FEB	07 días de MAR	13 días de ABR			
	0.46	1.03	0.85	0.85		KC1 tabla = 0.35
FRIJOL 1	26	38	62	26	150	DIAS
	01/NOV - 26/NOV	27/NOV - 03/ENE	04/ENE - 05/MAR	06/MAR - 30/MAR		FECHAS
	26 días de NOV	04 días de NOV	28 días de ENE	25 días de MAR		
		31 días de DIC	29 días de FEB			
		03 días de ENE	05 días de MAR			
	0.42	1.00	0.90	0.30		KC1 tabla = 0.35
FRIJOL 2	26	38	62	26	150	DIAS
	01/JUN - 26/JUN	27/JUN - 04/AGO	05/AGO - 05/OCT	06/OCT - 31/OCT		FECHAS
	26 días de JUN	03 días de JUN	27 días de AGO	26 días de OCT		
		31 días de JUL	30 días de SEP			
		04 días de AGO	05 días de OCT			
	0.36	1.00	0.90	0.90		KC1 tabla = 0.35
JITOMATE 1	36	53	86	36	210	DIAS
	01/OCT - 05/NOV	06/NOV - 28/DIC	29/DIC - 23/MAR	24/MAR - 28/ABR		FECHAS
	31 días de OCT	25 días de NOV	03 días de DIC	08 días de MAR		
	05 días de NOV	28 días de DIC	31 días de ENE	28 días de ABR		
			29 días de FEB			
			23 días de MAR			
	0.39	1.15	0.73	0.73		KC1 tabla = 0.38
JITOMATE 2	36	53	86	36	210	DIAS
	01/NOV - 06/DIC	07/DIC - 28/ENE	29/ENE - 03/MAY	04/MAY - 08/JUN		FECHAS
	30 días de NOV	25 días de DIC	03 días de ENE	28 días de MAY		
	06 días de DIC	28 días de ENE	29 días de FEB	08 días de JUN		
			31 días de MAR			
			30 días de ABR			
			03 días de MAY			
	0.42	1.15	0.73	0.73		KC1 tabla = 0.38

CULTIVO	Crecim. inicial	Crecim. rápido	Est. media	Est. tardía	Periodo Veget.	SÍMBOLOS
MELÓN	26	38	62	26	150	DIAS
	01/FEB - 26/FEB	27/FEB - 04/ABR	05/ABR - 05/JUN	06/JUN - 01/JUL		FECHAS
	26 días de FEB	03 días de FEB	26 días de ABR	25 días de JUN		KC1 tabla = 0.28
		31 días de MAR	31 días de MAY	01 días de JUL		
		04 días de ABR	05 días de JUN			
0.45	1.05	0.60	0.60			
PAPAYO	62	92	150	61	365	DIAS
	01/ENE - 02/MAR	03/MAR - 03/JUN	04/JUN - 01/NOV	02/NOV - 31/DIC		FECHAS
	31 días de ENE	29 días de MAR	27 días de JUN	29 días de NOV		KC1 tabla =
	29 días de FEB	30 días de ABR	31 días de JUL	31 días de DIC		
	02 días de MAR	31 días de MAY	31 días de AGO			
	03 días de JUN	30 días de SEP				
		01 días de OCT				
		01 días de NOV				
PEPINO	26	38	62	26	150	DIAS
	01/SEP - 26/SEP	27/SEP - 03/NOV	04/NOV - 04/ENE	05/ENE - 29/ENE		FECHAS
	26 días de SEP	04 días de SEP	27 días de NOV	26 días de ENE		KC1 tabla = 0.30
		31 días de OCT	31 días de DIC			
		03 días de NOV	04 días de ENE			
0.38	0.95	0.75	0.75			
PLÁTANO	62	91	150	62	365	DIAS
	01/ENE - 02/MAR	03/MAR - 03/JUN	04/JUN - 01/NOV	02/NOV - 31/DIC		FECHAS
	31 días de ENE	29 días de MAR	27 días de JUN	29 días de NOV		KC1 tabla =
	29 días de FEB	30 días de ABR	31 días de JUL	31 días de DIC		
	02 días de MAR	31 días de MAY	31 días de AGO			
	03 días de JUN	30 días de SEP				
		31 días de OCT				
		01 días de NOV				
SANDÍA	26	38	62	26	150	DIAS
	01/SEP - 26/SEP	27/SEP - 03/NOV	04/NOV - 04/ENE	05/ENE - 29/ENE		FECHAS
	26 días de SEP	04 días de SEP	27 días de NOV	26 días de ENE		KC1 tabla = 0.38
		31 días de OCT	31 días de DIC			
		03 días de NOV	04 días de ENE			
0.38	1.05	0.45	0.45			
SORGO	31	45	74	31	180	DIAS
	01/FEB - 02/MAR	03/MAR - 16/ABR	17/ABR - 29/JUN	30/JUN - 30/JUL		FECHAS
	29 días de FEB	29 días de MAR	14 días de ABR	01 día de JUN		KC1 tabla = 0.26
	02 días de MAR	16 días de ABR	31 días de MAY	30 días de JUL		
			29 días de JUN			
0.45	1.13	0.40	0.40			
SOYA	31	45	74	31	180	DIAS
	01/MAY - 31/MAY	01/JUN - 15/JUL	16/JUL - 27/SEP	28/SEP - 28/OCT		FECHAS
	31 días de MAY	30 días de JUN	16 días de JUL	03 días de SEP		KC1 tabla = 0.35
		15 días de JUL	31 días de AGO	28 días de OCT		
			27 días de SEP			
0.38	1.08	0.50	0.50			
TABACO	26	38	62	26	150	DIAS
	01/NOV - 26/NOV	27/NOV - 03/ENE	04/ENE - 04/MAR	06/MAR - 30/MAR		FECHAS
	26 días de NOV	04 días de NOV	28 días de ENE	25 días de MAR		KC1 tabla = 0.35
		31 días de DIC	29 días de FEB			
		03 días de ENE	05 días de MAR			
0.42	1.10	0.80	0.80			

Los resultados denotados en el cuadro anterior, son de gran utilidad debido a que a partir de los coeficientes KCS de desarrollo se estima la evapotranspiración de cada cultivo en unidades de mm/día, en base a la

ecuación $ETC=KDC \cdot ET$ (3.22) vista en el apartado 3.1.4 denominado **evapotranspiración del cultivo**, los resultados de aplicar este procedimiento se aprecian en el cuadro 5.5

CUADRO 5.5 COEFICIENTES DE DESARROLLO DE LOS CULTIVOS Y EVAPOTRANSPIRACIÓN

COEFICIENTES KCS DE LOS CULTIVOS					EVAPOTRANSPIRACIÓN ESTIMADA (mm/día)	
CULTIVO	KC1	KC2	KC3	KCs	ET	ETC
ARROZ						
MESES						
MAYO	1.13			1.13	4.68	5.27
JUNIO		1.18		1.18	5.22	6.16
JULIO		1.20		1.20	5.15	6.18
AGOSTO		1.20		1.20	5.05	6.06
SEPTIEMBRE		1.15		1.15	4.83	5.53
OCTUBRE			1.10	1.10	4.47	4.92
CACAHUATE						
MESES						
MAYO	0.39			0.39	4.68	1.83
JUNIO		0.98		0.98	5.22	5.09
JULIO		0.98		0.98	5.15	5.02
AGOSTO		0.98		0.98	5.05	4.92
SEPTIEMBRE			0.57	0.57	4.83	2.77
CHILE 1						
MESES						
NOVIEMBRE	0.50			0.50	3.77	1.89
DICIEMBRE		1.03		1.03	3.42	3.51
ENERO			0.90	0.90	3.14	2.84
CHILE 2						
MESES						
ENERO	0.46			0.46	3.14	1.43
FEBRERO		1.03		1.03	3.15	3.23
MARZO		1.03		1.03	3.61	3.70
ABRIL			0.87	0.87	4.13	3.59
FRIJOL 1						
MESES						
NOVIEMBRE	0.46			0.46	3.77	1.72
DICIEMBRE		1.00		1.00	3.42	3.42
ENERO		1.00		1.00	3.14	3.14
FEBRERO		1.00		1.00	3.15	3.15
MARZO			0.30	0.30	3.61	1.08

COEFICIENTES KCS DE LOS CULTIVOS					EVAPOTRANSPIRACIÓN ESTIMADA (mm/día)	
CULTIVO	KC1	KC2	KC3	KCa	ET	ETC

FRIJOL 2						
MESES						
JUNIO	0.36			0.36	5.22	1.90
JULIO		1.00		1.00	5.15	5.15
AGOSTO		1.00		1.00	5.05	5.05
SEPTIEMBRE		1.00		1.00	4.83	4.83
OCTUBRE			0.92	0.92	4.47	4.10

JITOMATE 1						
MESES						
OCTUBRE	0.39			0.39	4.47	1.75
NOVIEMBRE	0.66			0.66	3.77	2.47
DICIEMBRE		1.15		1.15	3.42	3.93
ENERO		1.15		1.15	3.14	3.61
FEBRERO		1.15		1.15	3.15	3.62
MARZO		1.04		1.04	3.61	3.75
ABRIL			0.73	0.73	4.13	2.99

JITOMATE 2						
MESES						
NOVIEMBRE	0.42			0.42	3.77	1.58
DICIEMBRE	0.49			0.49	3.42	1.67
ENERO		1.15		1.15	3.14	3.61
FEBRERO		1.15		1.15	3.15	3.62
MARZO		1.15		1.15	3.61	4.15
ABRIL		1.15		1.15	4.13	4.75
MAYO		0.79		0.79	4.68	3.70
JUNIO			0.73	0.73	5.22	3.78

MELÓN						
MESES						
FEBRERO	0.45			0.45	3.15	1.43
MARZO		1.05		1.05	3.61	3.79
ABRIL		1.05		1.05	4.13	4.34
MAYO		1.05		1.05	4.68	4.91
JUNIO			0.68	0.68	5.22	3.52
JULIO			0.60	0.60	5.15	3.09

PEPINO						
MESES						
SEPTIEMBRE	0.38			0.38	4.63	1.82
OCTUBRE		0.95		0.95	4.47	4.25
NOVIEMBRE		0.95		0.95	3.77	3.58
DICIEMBRE		0.95		0.95	3.42	3.25
ENERO			0.78	0.78	3.14	2.44

COEFICIENTES KCS DE LOS CULTIVOS					EVAPOTRANSPIRACIÓN ESTIMADA (mm/día)	
					KC=0.75	
CULTIVO	KC1	KC2	KC3	KCa	ET	ETC

SANDÍA						
MESES						
SEPTIEMBRE	0.38			0.38	4.83	1.82
OCTUBRE		1.05		1.05	4.47	4.69
NOVIEMBRE		1.05		1.05	3.77	3.96
DICIEMBRE		1.05		1.05	3.42	3.59
ENERO			0.53	0.53	3.14	1.66

SORGO						
MESES						
FEBRERO	0.45			0.45	3.15	1.43
MARZO	0.75			0.75	3.61	2.70
ABRIL		1.13		1.13	4.13	4.65
MAYO		1.13		1.13	4.68	5.27
JUNIO		1.10		1.10	5.22	5.74
JULIO			0.40	0.40	5.15	2.06

SOYA						
MESES						
MAYO	0.38			0.38	4.68	1.79
JUNIO		1.08		1.08	5.22	5.61
JULIO		1.08		1.08	5.15	5.54
AGOSTO		1.08		1.08	5.05	5.43
SEPTIEMBRE		1.02		1.02	4.83	4.91
OCTUBRE			0.50	0.50	4.47	2.24

TABACO						
MESES						
NOVIEMBRE	0.43			0.43	3.77	1.62
DICIEMBRE		1.10		1.10	3.42	3.76
ENERO		1.10		1.10	3.14	3.45
FEBRERO		1.10		1.10	3.15	3.47
MARZO			0.84	0.84	3.61	3.03

Otro de los datos importantes que se tuvo que investigar y procesar, fué la lluvia efectiva (LLe). En el cuadro 5.6 se aprecian los resultados obtenidos en donde se utilizó el criterio de Ogrosky y Mockus (ver 3.1.5), y en donde intervienen las variables de precipitación mensual (HP); evapotranspiración mensual del cultivo (ETC); déficit propio del suelo(D); y disminución hídrica del cultivo (Lmc) .

CUADRO 5.6 DETERMINACIÓN DE LA LLUVIA EFECTIVA EN LA ZONA DE ESTUDIO

Criterio de Ogrosky y Mockus (1964) = $(ETc/HP)/(1.53+(0.80*(ETc/HP)))*HP$

CULTIVO	D (mm.)	HP (mm/mes)	ETc mm/mes	LE (mm/mes)	(ETc - LE)	Lmc (mm)	balance
ARROZ							
MESES							
MAYO	80.00	8.30	158.10	8.30	149.80	7.50	142.30
JUNIO	80.00	176.10	184.80	77.99	106.81	7.50	99.31
JULIO	80.00	372.10	185.40	98.13	89.27	7.50	81.77
AGOSTO	80.00	437.70	181.80	97.62	84.18	7.50	76.68
SEPTIEMBRE	80.00	458.20	165.90	91.17	74.73	7.50	67.23
OCTUBRE	80.00	129.20	147.60	60.39	87.21	7.50	79.71

CACAHUATE							
MESES							
MAYO	80.00	8.30	54.90	8.05	46.85	12.00	34.85
JUNIO	80.00	176.10	152.70	68.67	84.03	12.00	72.03
JULIO	80.00	372.10	150.80	81.24	69.36	12.00	57.36
AGOSTO	80.00	437.70	147.60	82.01	65.59	12.00	53.59
SEPTIEMBRE	80.00	458.20	83.10	49.61	33.49	12.00	21.49

CHILE 1							
MESES							
NOVIEMBRE	80.00	17.60	56.70	13.80	42.90	9.00	33.90
DICIEMBRE	80.00	26.80	105.30	22.53	82.77	9.00	73.77
ENERO	80.00	28.80	85.20	21.86	63.34	9.00	54.34

CHILE 2							
MESES							
ENERO	80.00	28.80	42.90	15.76	27.14	9.00	18.14
FEBRERO	80.00	12.50	96.90	12.53	84.37	9.00	75.37
MARZO	80.00	5.60	111.00	6.38	104.62	9.00	95.62
ABRIL	80.00	7.00	107.70	7.78	99.92	9.00	90.92

FRIJOL 1							
MESES							
NOVIEMBRE	80.00	17.60	51.60	13.31	38.29	7.50	30.79
DICIEMBRE	80.00	26.80	102.80	22.34	80.26	7.50	72.76
ENERO	80.00	28.80	94.20	22.72	71.48	7.50	63.98
FEBRERO	80.00	12.50	94.50	12.47	82.03	7.50	74.53
MARZO	80.00	5.60	32.40	5.60	26.80	7.50	19.30

CULTIVO	D (mm.)	HP (mm/mes)	ETc mm/mes	LLe (mm/mes)	(ETc - LLe)	Lmc (mm)	balance
FRJOL 2							
MESES							
JUNIO	80.00	176.10	57.00	31.86	25.14	7.50	17.64
JULIO	80.00	372.10	154.50	82.97	71.53	7.50	64.03
AGOSTO	80.00	437.70	151.50	83.85	67.65	7.50	60.15
SEPTIEMBRE	80.00	458.20	144.90	81.27	63.63	7.50	56.13
OCTUBRE	80.00	129.20	123.00	53.67	69.33	7.50	61.83
JITOMATE 1							
MESES							
OCTUBRE	80.00	129.20	52.50	28.30	24.20	3.00	21.20
NOVIEMBRE	80.00	17.60	74.10	15.13	58.97	3.00	55.97
DICIEMBRE	60.00	26.80	117.90	23.35	94.55	3.00	91.55
ENERO	80.00	28.80	108.30	23.86	84.44	3.00	81.44
FEBRERO	80.00	12.50	108.60	12.81	95.79	3.00	92.79
MARZO	80.00	5.60	112.50	5.60	106.90	3.00	103.90
ABRIL	80.00	7.00	89.70	7.00	82.70	3.00	79.70
JITOMATE 2							
MESES							
NOVIEMBRE	80.00	17.60	47.40	12.86	34.54	3.00	31.54
DICIEMBRE	80.00	26.80	50.10	16.56	33.54	3.00	30.54
ENERO	80.00	28.80	108.30	23.86	84.44	3.00	81.44
FEBRERO	80.00	12.50	108.60	12.81	95.79	3.00	92.79
MARZO	80.00	5.60	124.50	5.60	118.90	3.00	115.90
ABRIL	80.00	7.00	142.50	7.00	135.50	3.00	132.50
MAYO	80.00	8.30	111.00	8.30	102.70	3.00	99.70
JUNIO	80.00	176.10	113.40	55.45	57.95	3.00	54.95
MELON							
MESES							
FEBRERO	80.00	12.50	42.90	10.03	32.87	9.00	23.87
MARZO	80.00	5.60	113.70	6.40	107.30	9.00	98.30
ABRIL	80.00	7.00	130.20	7.93	122.27	9.00	113.27
MAYO	80.00	8.30	147.30	9.37	137.93	9.00	128.93
JUNIO	80.00	176.10	105.60	52.54	53.06	9.00	44.06
JULIO	80.00	372.10	92.70	53.61	39.09	9.00	30.09

CULTIVO	D (mm.)	HP (mm/mes)	ETc mm/mes	LLe (mm/mes)	(ETc - LLe)	Lmc (mm)	balance
---------	---------	-------------	------------	--------------	-------------	----------	---------

PEPINO							
MESES							
SEPTIEMBRE	80.00	458.20	54.60	33.59	21.01	4.50	16.51
OCTUBRE	80.00	129.20	127.50	54.97	72.53	4.50	68.03
NOVIEMBRE	80.00	17.60	107.40	16.75	90.65	4.50	86.15
DICIEMBRE	80.00	26.80	97.50	21.96	75.54	4.50	71.04
ENERO	80.00	28.80	73.20	20.54	52.66	4.50	48.16

SANDIA							
MESES							
SEPTIEMBRE	80.00	458.20	54.60	33.59	21.01	12.00	9.01
OCTUBRE	80.00	129.20	140.70	58.60	82.10	12.00	70.10
NOVIEMBRE	80.00	17.60	116.80	17.14	101.66	12.00	89.66
DICIEMBRE	80.00	26.80	107.70	22.70	85.00	12.00	73.00
ENERO	80.00	28.80	49.80	17.09	32.71	12.00	20.71

SORGO							
MESES							
FEBRERO	80.00	12.50	42.90	10.03	32.87	3.00	29.87
MARZO	80.00	5.60	81.00	5.60	75.40	3.00	72.40
ABRIL	80.00	7.00	139.50	7.00	132.50	3.00	129.50
MAYO	80.00	8.30	158.10	8.30	149.80	3.00	146.80
JUNIO	80.00	176.10	172.20	74.47	97.73	3.00	94.73
JULIO	80.00	372.10	61.80	37.16	24.64	3.00	21.64

SOYA							
MESES							
MAYO	80.00	8.30	53.70	8.01	45.69	3.00	42.69
JUNIO	80.00	176.10	168.30	73.35	94.95	3.00	91.95
JULIO	80.00	372.10	166.20	88.06	78.14	3.00	75.14
AGOSTO	80.00	437.70	162.90	89.13	73.77	3.00	70.77
SEPTIEMBRE	80.00	458.20	147.30	82.42	64.88	3.00	61.88
OCTUBRE	80.00	129.20	67.20	34.53	32.67	3.00	29.67

TABACO							
MESES							
NOVIEMBRE	80.00	17.60	48.60	13.00	35.60	4.50	31.10
DICIEMBRE	80.00	26.80	112.80	23.03	89.77	4.50	85.27
ENERO	80.00	28.80	103.50	23.50	80.00	4.50	75.50
FEBRERO	80.00	12.50	104.10	12.71	91.39	4.50	86.89
MARZO	80.00	5.60	90.90	5.60	85.30	4.50	80.80

En el marco de referencia del presente trabajo, la caracterización agrológica de la zona de estudio muestra cuatro series de suelo, la zona de cultivo y con posibilidad de riego se sitúa sobre la **Serie Rosarito** con una superficie de 12,166 has. y con una textura con tendencia a ser suelo **Franco Arcilloso**, arcillo arenoso. En base a lo anteriormente descrito, se hace necesario determinar la lámina neta, tomando como información básica la profundidad radicular, el porcentaje de abatimiento, y la humedad aprovechable en el suelo, para ello se utiliza la expresión $L_n = HA \cdot Prad \cdot GA$ (3.17), los resultados de aplicar esta ecuación se aprecian en el cuadro 5.7.

CUADRO 5.7 LÁMINA NETA EN BASE A LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

CULTIVO	Prof. Radicular (m)	Porcentaje de abatimiento %	Humedad aprovechable (mm/m)	Ln (mm)
ARROZ	1.25	50	180	112.5
CACAHUATE	0.60	60	180	64.8
CHILE 1	1.00	40	180	72
CHILE 2	1.25	40	180	90
FRIJOL 1	1.25	40	180	90
FRIJOL 2	1.25	40	180	90
JITOMATE 1	2.40	40	180	172.8
JITOMATE 2	2.40	40	180	172.8
MELÓN	1.35	35	180	85.05
PEPINO	0.75	50	180	67.5
SANDÍA	1.80	50	180	162
SORGO	1.20	55	180	118.8
SOYA	1.05	50	180	94.5
TABACO	1.20	65	180	140.4

La contribución de humedad a la zona radicular, se obtuvo a partir del tipo de suelo (descrito con anterioridad), y utilizando los resultados de la investigación de Doorenbos y Pruitt (Figura 3.10), obteniendo los resultados que se pueden apreciar en el cuadro 5.8, en donde se expresa la contribución en unidades de mm. por cada mes (mm/mes).

5.8 CONTRIBUCIÓN HÍDRICA DEL SUBSUELO

CULTIVO	Prof. Radicular (cm)	velocidad de contribución (mm/día)	Lmc (mm.)
ARROZ	125.00	0.25	7.50
CACAHUATE	60.00	0.40	12.00
CHILE 1	100.00	0.30	9.00
CHILE 2	100.00	0.30	9.00
FRIJOL 1	125.00	0.25	7.50
FRIJOL 2	125.00	0.25	7.50
JITOMATE 1	240.00	0.10	3.00
JITOMATE 2	240.00	0.10	3.00

CONTINUACIÓN CUADRO 5.4

CULTIVO	Prof. Radicular (cm)	velocidad de contribución (mm/día)	L _{mc} (mm.)
MELÓN	135.00	0.30	9.00
PEPINO	75.00	0.15	4.50
SANDÍA	180.00	0.40	12.00
SORGO	120.00	0.10	3.00
SOYA	105.00	0.10	3.00
TABACO	120.00	0.15	4.50

Una vez conocidos los parámetros de necesidades hídricas de cada uno de los cultivos, se hace necesario analizar el comportamiento de la evapotranspiración acumulada de las plantas, con respecto al tiempo. También se debe conocer la lámina de agua que el suelo puede retener, así como los intervalos de riego derivados del cruce de las dos informaciones anteriormente mencionadas. Para lograr esto se instrumentó lo siguiente:

- 1.- Se construyeron las gráficas de Lámina consuntiva (cm/ 10 días) versus Tiempo en decenas de días.
- 2.- Se obtuvieron de forma analítica y gráfica, con base en los resultados que se aprecian en el cuadro 5.7, y las gráficas de evapotranspiración acumulada, los intervalos de riego que necesitan cada uno de los cultivos pertenecientes al patrón.

Una vez realizado lo anterior, se elaboró el "Plan de Riegos del Proyecto Costa de Chile". En dicha programación se plasmó; tanto los volúmenes calendarizados como las láminas por aplicar para cada cultivo. De esta forma y haciendo un análisis de los volúmenes demandados, se observó que el mes de mayor demanda es el de **Noviembre** con **4'959,130.00 m³** como volumen neto, el cual considerando las eficiencias en la conducción de: **49.0%**, **52.5%**, y **59.5%**, resultan de: **10'120,673.00 m³**; **9'445,962.00 m³**; y **8'334,672.00 m³**, respectivamente. Finalmente se estiman los coeficientes de requerimiento de riego del área de estudio, los cuales se obtienen de dividir el volumen mensual entre los segundos del mes multiplicados por el área acumulada, obteniendo las unidades de **lt/seg/ha**. En este caso de estudio la lámina

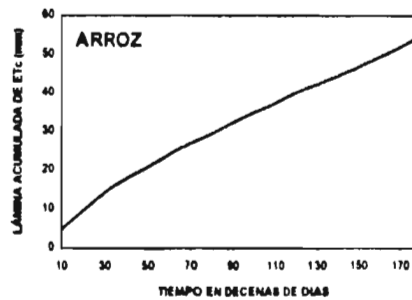
neta es de 4.12 cm/mes. Los resultados obtenidos son esquematizados en los cuadros: 5.9, 5.10 Y 5.11, así como las gráficas de evapotranspiración acumulada y de coeficientes unitarios de riego.

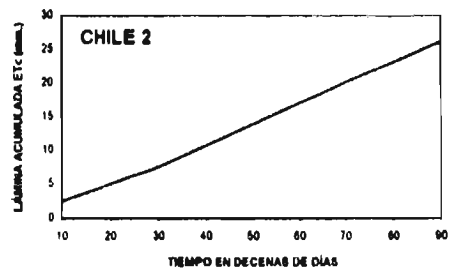
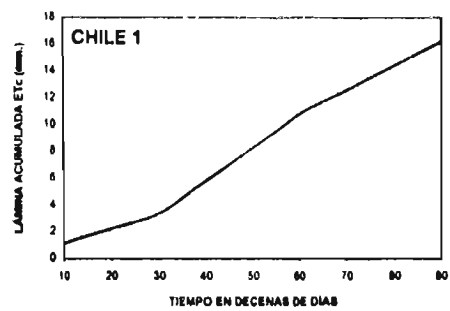
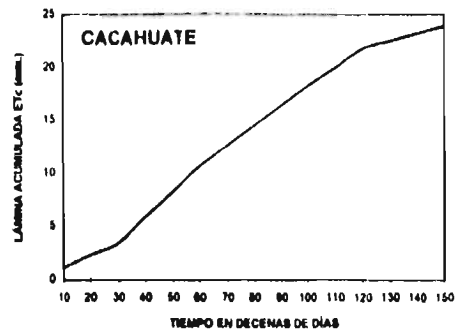
En el cuadro 5.9 se presentan las láminas de aplicación y los intervalos de riego por cultivo. En este cuadro se observa que el intervalo de riego más corto es para el cultivo de jitomate y la lámina de riego más alta es de 17.28 cm.

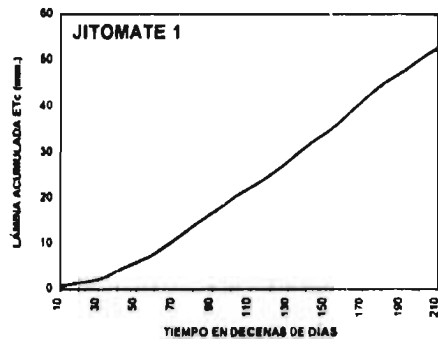
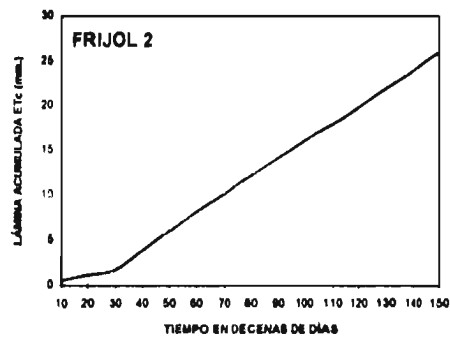
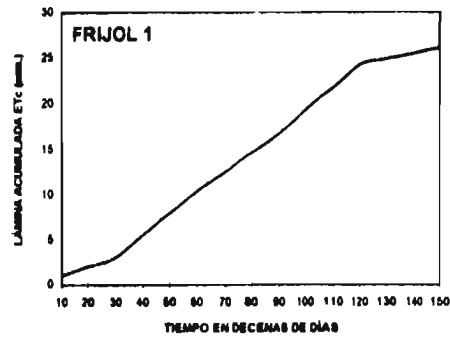
En el cuadro 5.10 se presenta el Plan de Riegos del "Proyecto Costa de Chila", para 2040 has. En este cuadro se pueden observar las demandas por mes para la zona de riego, también se aprecia que las eficiencias de conducción utilizadas para estimar los volúmenes brutos son de:49%, 52.5% y 59.5%.

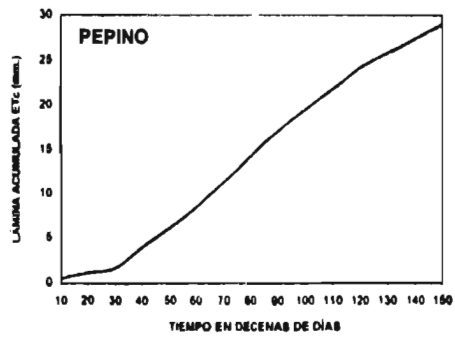
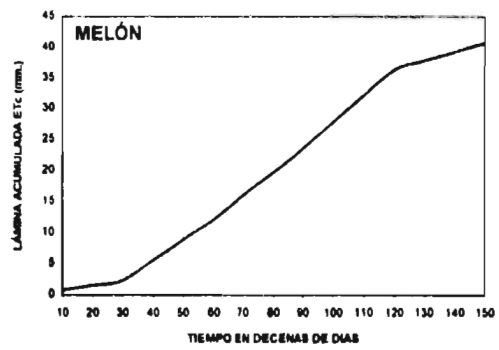
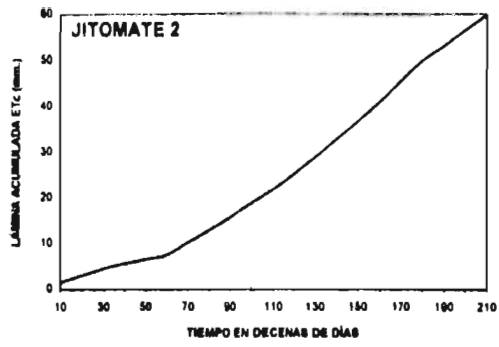
De acuerdo con la experiencia práctica de los ingenieros de la C.N.A. en el Distrito de Riego 043, se tienen eficiencias de 52.5% para canales de tierra en la zona de riego del "Proyecto Costa de Chila".

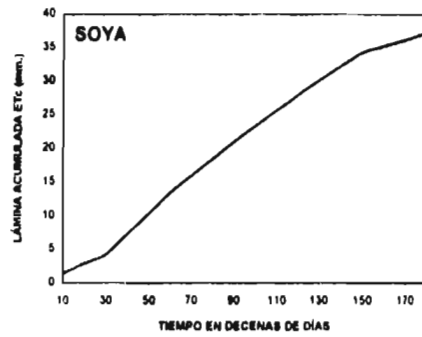
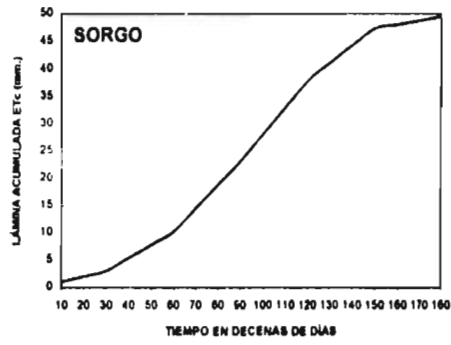
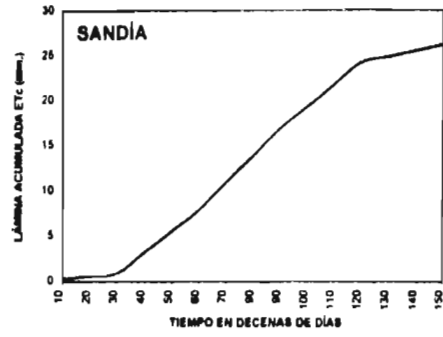
GRÁFICAS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN ACUMULADA EN EL SITIO DE PROYECTO

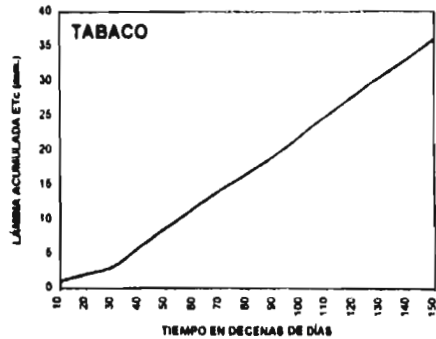












CUADRO 5.9 LÁMINA DE APLICACIÓN Y INTERVALO DE RIEGO PROYECTO "COSTA DE CHILA"

ARROZ					
Lámina	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25 cm
Intervalo	0	24	54	94	141 días

CACAHUATE					
Lámina	6.48	6.48	6.48	6.48	cm
Intervalo	0	42	72	108	días

CHILE 1					
Lámina	7.2	7.2	7.2		cm
Intervalo	0	46	81		días

CHILE2					
Lámina	9	9	9		cm
Intervalo	0	34	63		días

FRIJOL 1					
Lámina	9	9	9		cm
Intervalo	0	55	95		días

FRIJOL 2					
Lámina	9	9	9		cm
Intervalo	0	64	110		días

JITOMATE 1					
Lámina	17.28	17.28	17.28	17.28	cm
Intervalo	0	91	151	207	días

TOMATE 2						
Lámina	17.28	17.28	17.28	17.28	cm	
Intervalo	0	95	145	185	días	

MELON						
Lámina	8.51	8.51	8.51	8.51	8.51	cm
Intervalo	0	48	72	95	115	días

PEPINO						
Lámina	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	cm
Intervalo	0	52	77	104	137	días

MAÍZ			
Lámina	16.2	16.2	cm
Intervalo	0	88	días

SORGO						
Lámina	11.88	11.88	11.88	11.88	11.88	cm
Intervalo	0	64	91	115	150	días

SOYA						
Lámina	9.45	9.45	9.45	9.45	cm	
Intervalo	0	48	81	121	días	

TABACO						
Lámina	4.04	4.04	4.04	cm		
Intervalo	0	69	121	días		

CUADRO 5.10 PLAN DE RIEGOS DEL PROYECTO COSTA DE CHILA

CULTIVO	Meses Eup. (ha)	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
ARROZ	406							volumenes en m ³ Lámina cm. 456 750 11 25	456 750 11 25	456 750 11 25		456 750 11 25	456 750 11 25
CACAHUATE	4								volumenes en m ³ Lámina cm. 2 592 0 48	2 592 0 48	2 592 0 48	2 592 0 48	2 592 0 48
CHILE 1	12		0 640 Lámina cm. 7 20	0 640 7 20									
CHILE 2	12				10 800 Lámina cm. 9 00	10 800 9 00	10 800 9 00						
FRÍJOL 1	3 708		3 337 200 Lámina cm. 9 00	3 337 200 9 00		3 337 200 9 00							
FRÍJOL 2	1 831	1 647 900 Lámina cm. 8 00							volumenes en m ³ Lámina cm. 1 647 900 8 00			1 647 900 8 00	1 647 900 8 00
JITOMATE 1	4	6 912 00 Lámina cm. 17 28	6 912 00 17 28			6 912 00 17 28		6 912 00 17 28					
JITOMATE 2	163		177 984 Lámina cm. 17 28	177 984 17 28	177 984 17 28		177 984 17 28	177 984 17 28					
MELÓN	1					851 Lámina cm. 8 61	851 8 61	851 8 61	851 8 61	851 8 61			
PEPINO	2	1 350 Lámina cm. 6 75	1 350 6 75	1 350 6 75	1 350 6 75								volumenes en m ³ Lámina cm. 1 350 6 75
SANDÍA	40		64 800 Lámina cm. 16 20										volumenes en m ³ Lámina cm. 64 800 16 20
BORGO	41					48 708 Lámina cm. 11 88	48 708 11 88	48 708 11 88	48 708 11 88	48 708 11 88			
SOYA	2 447								volumenes en m ³ Lámina cm. 2 350 215 8 45	2 350 215 8 45	2 350 215 8 45	2 350 215 8 45	2 350 215 8 45
TABACO	3 348		1 369 156 Lámina cm. 4 04	1 369 156 4 04		1 369 156 4 04							

Área (ha):	12 048												
Neto (m ³):	31 831 186	1 856 162	4 959 130	4 723 258	180 134	4 775 027	238 343	513 221	3 037 100	4 507 516	2 352 807	4 457 457	522 900
Bruto (a=49,8%):	65 183 622	3 376 922	10 120 873	9 639 302	368 029	9 742 098	488 414	1 047 390	6 198 163	9 197 992	4 801 647	8 096 831	1 067 143
Bruto (a=52,8%):	60 821 246	3 154 594	9 445 962	8 998 862	362 180	9 092 623	453 947	577 564	5 784 852	8 584 793	4 481 537	8 490 394	998 000
Bruto (a=69,6%):	53 685 807	2 763 466	8 334 672	7 838 249	318 553	8 022 903	400 578	862 556	5 104 370	7 574 817	3 954 297	7 491 524	878 824
% de volumenes:	100 00%	5 19%	15 53%	14 79%	0 60%	14 95%	0 75%	1 61%	9 51%	14 11%	7 37%	13 96%	1 64%

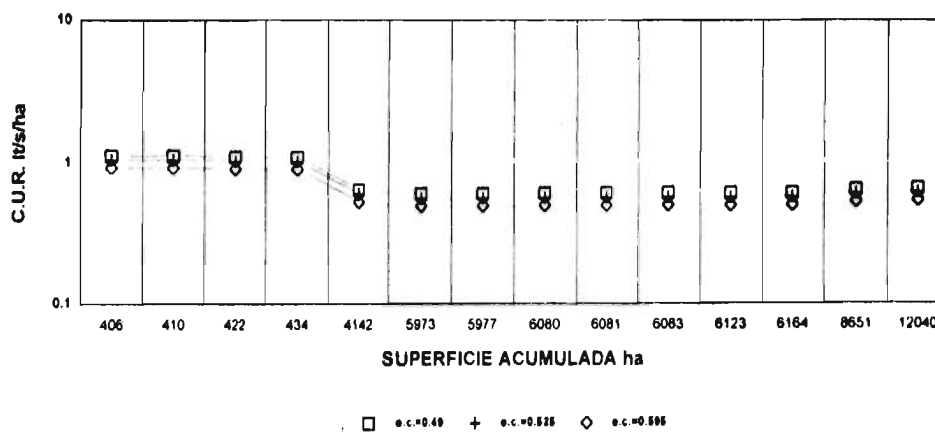
Nota: La variable denotada por "a" se denomina eficiencia de conducción

CUADRO 5.11 COEFICIENTES UNITARIOS DE RIEGO "PROYECTO COSTA DE CHILA"

CULTIVOS	cm/día	Sup. (ha)	Sup. Acum (ha)	volumen m3	vol.acum m3	lts/s/ha	lts/s/ha	lts/s/ha
						CUR 0.49	CUR 0.525	CUR 0.595
ARROZ	0.474	406	406	577,738.0	577,738.0	1.120	1.046	0.923
CACAHUATE	0.240	4	410	2,881.2	580,619.2	1.115	1.041	0.918
CHILE 1	0.246	12	422	8,852.4	589,471.6	1.100	1.026	0.906
CHILE 2	0.319	12	434	11,474.4	600,946.0	1.090	1.018	0.898
FRIJOL 1	0.248	3,708	4,142	2,763,572.4	3,364,518.4	0.640	0.597	0.527
FRIJOL 2	0.213	1,831	5,973	1,172,389.3	4,536,907.7	0.598	0.558	0.493
JITOMATE 1	0.346	4	5,977	4,156.0	4,541,063.7	0.598	0.558	0.493
JITOMATE 2	0.442	103	6,080	136,475.0	4,677,538.7	0.606	0.565	0.499
MELÓN	0.430	1	6,081	1,289.3	4,678,828.0	0.606	0.565	0.499
PEPINO	0.287	2	6,083	1,723.0	4,680,551.0	0.606	0.565	0.499
SANDÍA	0.299	40	6,123	35,864.0	4,716,415.0	0.606	0.566	0.499
SORGO	0.489	41	6,164	60,188.0	4,776,603.0	0.610	0.569	0.502
SOYA	0.307	2,487	8,651	2,286,796.5	7,063,399.5	0.643	0.600	0.529
TABACO	0.290	3,389	12,040	2,944,702.1	10,008,101.6	0.654	0.611	0.539

El coeficiente unitario de riego, se obtiene de dividir el volumen mensual entre los segundos de mes y multiplicando este resultado por el área acumulada, obteniendo las unidades siguientes lts/ha.

GRÁFICA DE COEFICIENTES UNITARIOS DE RIEGO



RESUMEN DEL APARTADO 5.1

En la zona de estudio, los cultivos que tienen mayor demanda hídrica son el **jitomate 1** y la **sandía**, el mes de máxima demanda es el de noviembre con un volumen bruto demandado de **8,334,672 m³**, el intervalo crítico de riego descontando domingos y días festivos es de **16 días**, y la lámina real aplicable es de 8.5 cm. Si se considerará una superficie pequeña (menor de 100 ha) y un solo cultivo, con el intervalo de riego de 16 días, la lámina de riego de 8.5 cm y una eficiencia de conducción de 59.2% se tendría un coeficiente unitario de riego de 1.04 lt/s. Cuando se tienen proyectos a gran escala para no sobrediseñar los canales es importante realizar un análisis en el que se considere el padrón de cultivos de la región como se hizo en el cuadro 5.11, donde se obtuvo un coeficiente unitario de riego de 0.692 lt/s/ha. En la zona de Nayarit sería recomendable que se diseñen proyectos que tengan cuando menos coeficientes de 0.7 lt/s/ha. Por ejemplo si se va a regar una superficie de 500 has el gasto mínimo del proyecto debe ser de 350 lt/s. A medida que más grande sea este coeficiente unitario mayor flexibilidad tendrá el sistema de riego. Sin embargo el sistema será más costoso entre más flexible sea. En el próximo apartado se investigará el efecto de este coeficiente en la flexibilidad de operación de la red.

5.2 TRAZO DE LA RED

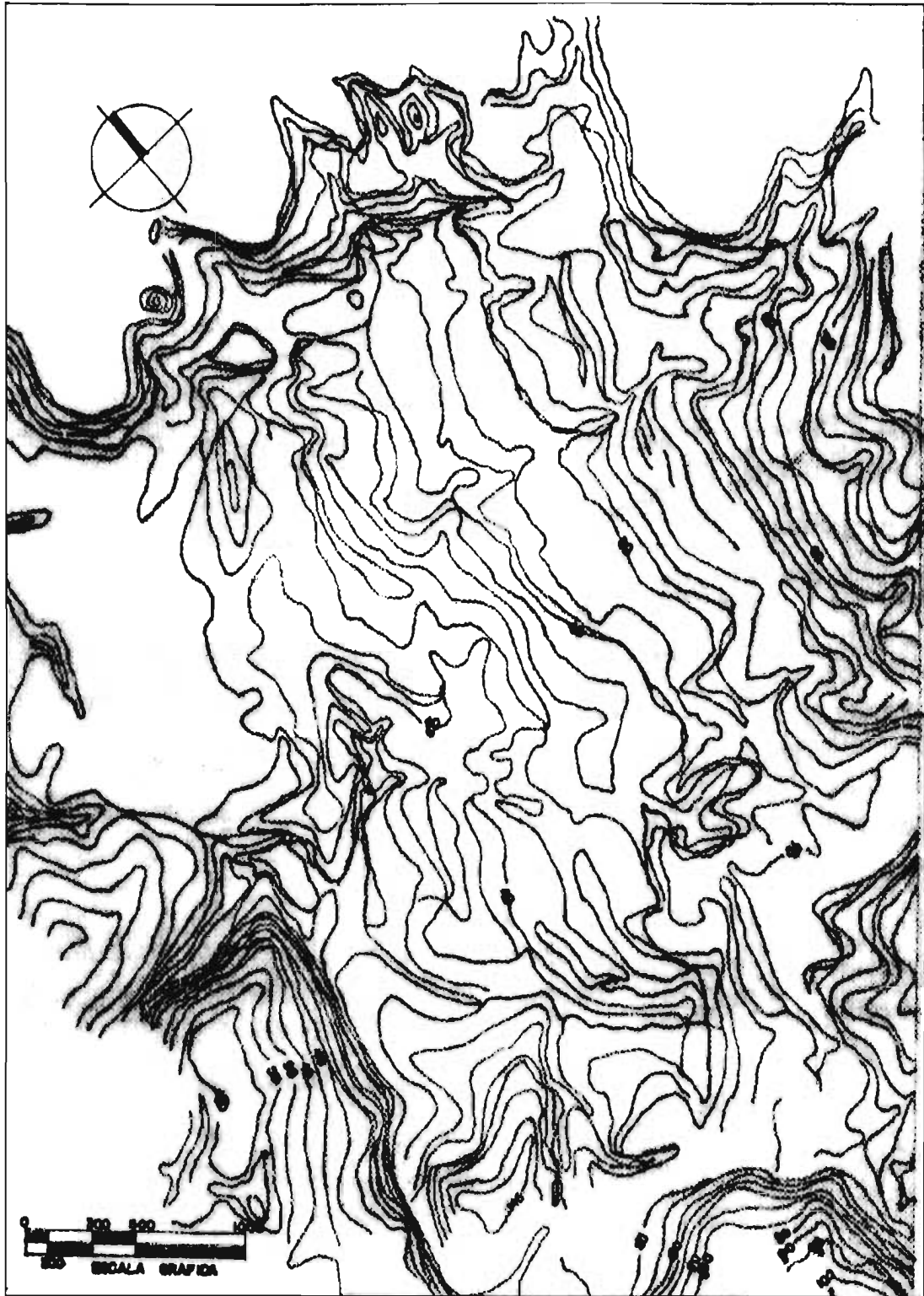
Una de las propuestas de este trabajo, es la de introducir en un módulo de la zona de riego el sistema de tubería de baja presión, para ello se eligió el módulo ubicado en la cola de la red de canales en donde existe una obra de rebombío la cual irrigará la parte alta del área de estudio (ver planta de conjunto) y a la que en lo sucesivo denominaremos Módulo No.1, el cual tiene una superficie de 513.204 ha., así como una topografía que se puede apreciar en el plano No.7. Dicha área se encuentra dividida en 11 predios de los cuales cada uno tiene una toma.

Para realizar el trazado de la red se utilizaron dos criterios, el primero denominado trazo linderos (ver 3.2.1.1) y el segundo denominado trazado por el método de Girette (ver 3.2.1.2), los trazos resultantes se aprecian en los planos No. 8 y No. 9. En donde además se ubican las tomas (T_n), las longitudes de cada uno de los tramos en metros y la indentificación de los lotes (LOTE-n).

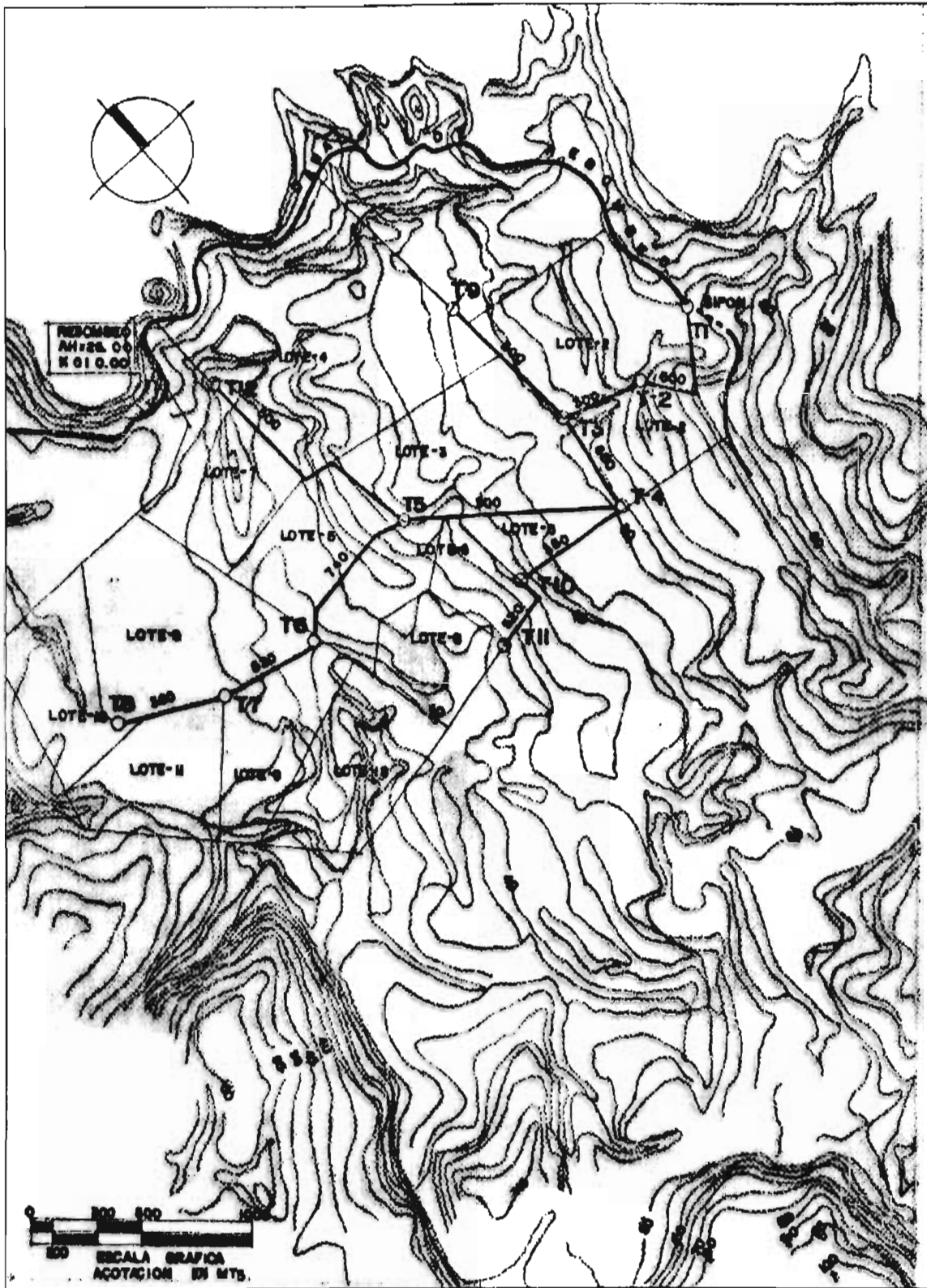
Una vez que se realizó el trazado de la red se procedió a estimar los gastos que circularían por ella, con apoyo en los coeficientes unitarios de riego y la función de densidad de la Ley de distribución binomial dada por la ecuación 3.31, por lo que se hicieron las siguientes consideraciones:

- 1.- El tiempo efectivo de riego T_{er} resultó de 16 días durante el intervalo crítico de riego.
- 2.- La probabilidad de apertura promedio por toma fué de 0.327.
- 3.- El gasto de diseño para cada toma se consideró de 80 l/s.

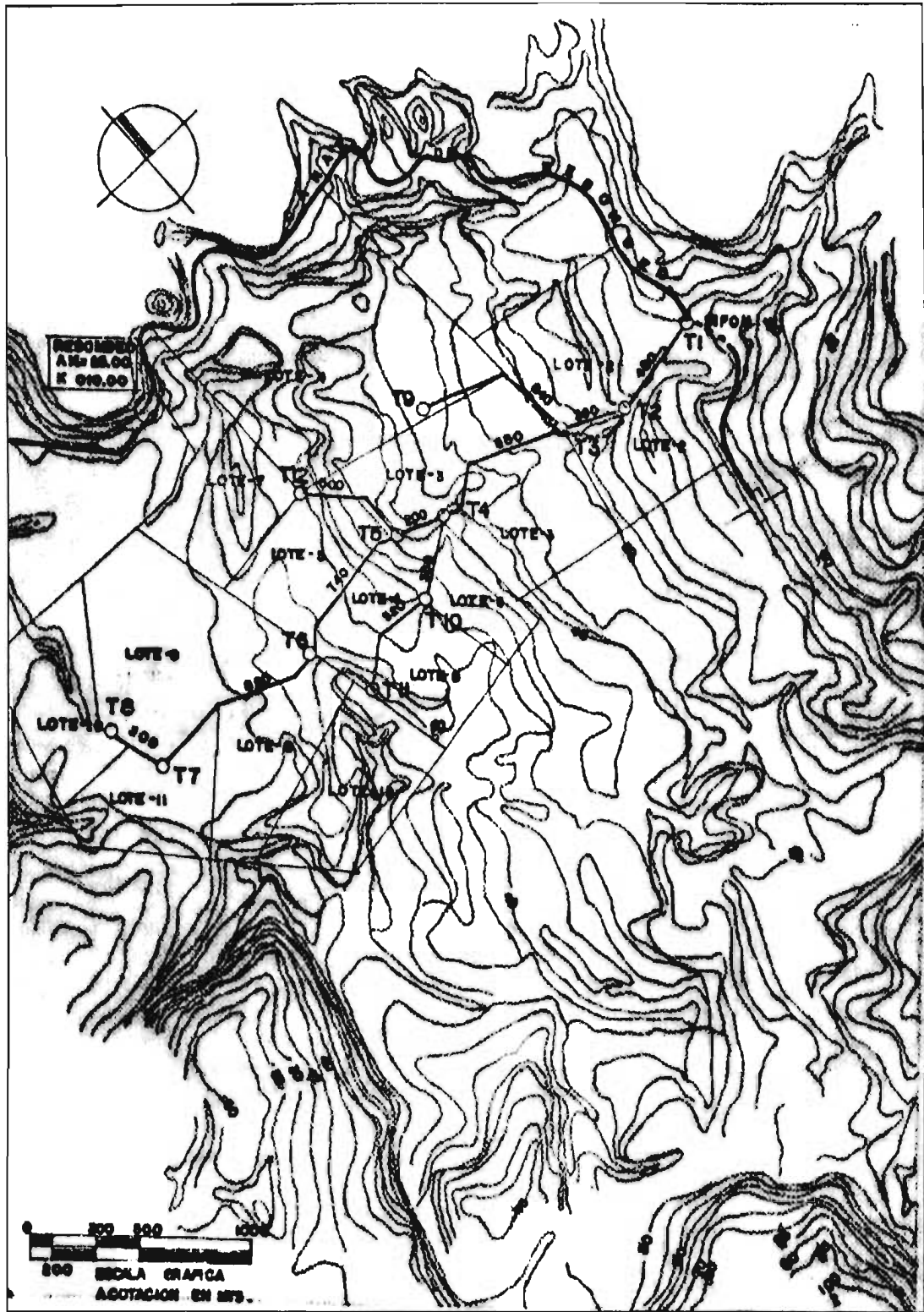
Con dichas consideraciones, se procedió a realizar un análisis detallado del funcionamiento futuro de la red, por lo que el estudio de los requerimientos de riego (C.U.R.) y la caracterización agrológica descrita en el marco de referencia fué de mucha importancia.



PLANO No. 7 TOPOGRAFÍA DEL MÓDULO No. 1



PLANO No. 8 TRAZADO POR LINDES EN MÓDULO No. 1



PLANO No. 9 TRAZADO POR EL MÉTODO DE GIRETTE EN MÓDULO No.1

En el cuadro 5.12, se puede apreciar la información referente a las áreas de cada uno de los lotes, tiempos de riego en días y la probabilidad de apertura, la cual se determinó con la relación **tiempo de riego** (T_r) y el **tiempo efectivo de riego** (T_{er}), el cual corresponde al intervalo crítico de riego en el área de estudio.

5.12 NECESIDADES DE LA RED

PREDIO (n)	C.U.R. (l/s/ha)	GASTO DEMANDADO (l/s)	(C.U.R.) GASTO en el día	AREA PREDIO (ha)	Ef. Cond. 49.6% Lám. 3.8 cm. Lr (m)	Tiempo de Riego (T_r días)	TIEMPO EFECTIVO DE RIEGO (T_{er} días)	PROBABILIDAD DE ABERTURA POR TOMAS	PROBABILIDAD PROMEDIO DE SUMINISTRO EN LA RED
02	0.692	50.837	6912	73.442	0.085	8.99	16	0.562	0.327
03	0.692	44.983	6912	64.985	0.085	7.95	16	0.497	0.327
04	0.692	31.118	6912	44.955	0.085	5.50	16	0.344	0.327
05	0.692	20.643	6912	29.822	0.085	3.65	16	0.228	0.327
06	0.692	56.999	6912	82.344	0.085	10.08	16	0.630	0.327
07	0.692	16.638	6912	24.036	0.085	2.94	16	0.184	0.327
08	0.692	15.405	6912	22.255	0.085	2.72	16	0.170	0.327
09	0.692	56.382	6912	81.454	0.085	9.97	16	0.623	0.327
10	0.692	16.638	6912	24.036	0.085	2.94	16	0.184	0.327
11	0.692	24.032	6912	34.718	0.085	4.25	16	0.266	0.327
12	0.692	21.567	6912	31.157	0.085	3.81	16	0.238	0.327

En base a la garantía de suministro de la red ($F_x(x)$), que para fines prácticos se adopta del 95%, de acuerdo a la experiencia tomada de otros trabajos similares y para una probabilidad de apertura promedio en toda la red se calcula el número máximo x de tomas abiertas simultáneamente para finalmente calcular el gasto de diseño de cada tramo, obtenido como el producto del número máximo de tomas abiertas, la dotación por toma y el gasto demandado por cada unidad de área, el cual a su vez resulta del producto del coeficiente unitario de riego (C.U.R.) y el área de cada predio.

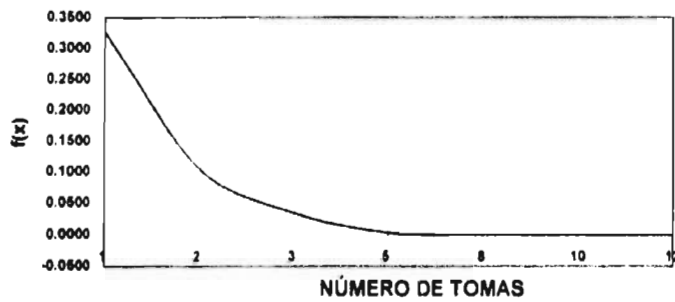
El comportamiento de la función binomial de probabilidad aplicada al módulo No. 1, se analiza a partir de los cuadros 5.13 y 5.14. En donde se tienen 11 tramos que abastecen a 12 tomas, de tal forma que el desarrollo de $F(x)$ llega hasta el número 12, en el cuadro 5.13 se observa también la garantía de suministro con lo que se obtiene el número máximo de tomas abiertas para ese tramo.

CUADRO 5.13 COMPORTAMIENTO DE LA FUNCIÓN F(x) DE PROBABILIDAD BINOMIAL EN LA RED DEL MÓDULO No.1

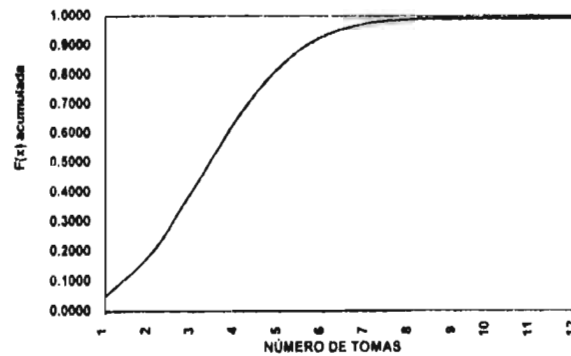
TRAMO N°	PROBABILIDAD PROMEDIO	N° TOMAS EN EL TRAMO	N° TOMAS PARA F(x)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
				F(x)	f(x)	F(x)	f(x)	F(x)	f(x)	F(x)	f(x)	F(x)	f(x)	F(x)	f(x)	F(x)
11	0.327	12	F(x)	0.05027	0.18467	0.40245	0.64065	0.82591	0.82591	0.82591	0.82591	0.82591	0.82591	0.82591	0.82591	0.99138
			f(x)	0.05027	0.13440	0.21778	0.23819	0.18526	0.10507	0.04378	0.01330	0.00287	0.00042	0.00004	0.00002	
10	0.327	10	F(x)	0.09252	0.29490	0.55725	0.78043	0.91061	0.91061	0.91061	0.91061	0.91061	0.91061	0.91061	0.91061	0.91061
			f(x)	0.09252	0.20238	0.26235	0.22317	0.13018	0.05274	0.01465	0.00267	0.00029	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
9	0.327	1	F(x)	0.32710												
			f(x)	0.32710												
8	0.327	8	F(x)	0.16346	0.44158	0.71196	0.87626	0.94015	0.94015	0.94015	0.94015	0.94015	0.94015	0.94015	0.94015	0.94015
			f(x)	0.16346	0.27811	0.27038	0.16429	0.06389	0.01553	0.00216	0.00013	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
7	0.327	1	F(x)	0.32710												
			f(x)	0.32710												
6	0.327	2	F(x)	0.44021	0.54721											
			f(x)	0.44021	0.10699											
5	0.327	5	F(x)	0.33531	0.66131	0.81978	0.85830	0.86204								
			f(x)	0.33531	0.32600	0.15847	0.03852	0.00374								
4	0.327	1	F(x)	0.32710												
			f(x)	0.32710												
3	0.327	3	F(x)	0.44433	0.66032	0.69531										
			f(x)	0.44433	0.21599	0.03500										
2	0.327	2	F(x)	0.44021	0.54721											
			f(x)	0.44021	0.10699											
1	0.327	1	F(x)	0.32710												
			f(x)	0.32710												

Por otra parte, a partir del análisis explicado anteriormente, se hace posible la construcción de la gráfica 5.1 de la función $f(x)$, para las tomas abastecidas y la gráfica 5.2 para la $F(x)$ con lo que es posible comprender el comportamiento propio acumulado de la función. En dicha grafica se observa que de un total de 12 tomas, se tiene la probabilidad del 97% de que esten funcionando 7 de ellas, esto se debe a los valores medios de la probabilidad p , lo que ocasiona que el área bajo la curva se acumule paulatinamente hasta llegar al comportamiento asintótico en la abscisa marcada con el número 7 y la ordenada 0.97.

GRÁFICA 5.1 FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD BINOMIAL $f(x)$



GRÁFICA 5.2 FUNCIÓN DE PROBABILIDAD ACUMULADA $F(x)$



Una vez definidos los gastos que circularán por la red se construyeron las figuras 5.1 y 5.2, que definen la red en cuanto a gastos por tramo, longitudes entre nudos y elevaciones de las diferentes tomas.

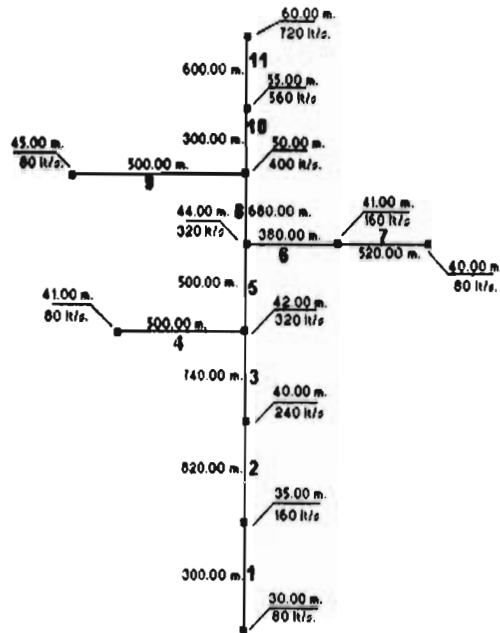


FIGURA 5.1 TRAZO EN MÓDULO No.1 POR LINEAS

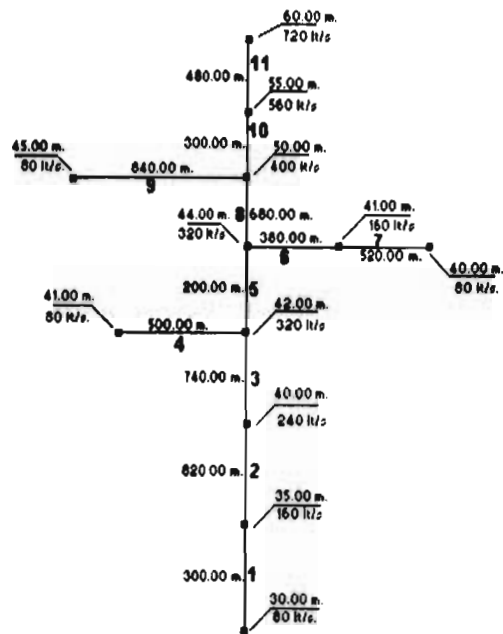


FIGURA 5.2 TRAZO EN MÓDULO No.1 POR EL MÉTODO DE GIRETTE

Definidos los gastos demandados en cada uno de los tramos y el trazo propio de la red, se determinaron los diámetros requeridos, para ello se define la red en el programa de cómputo **DIMRED**, para cada uno de los trazos, los cuales están definidos en los cuadros 5.14 (trazo por linderos) y 5.15 (trazo por el método de Girette). De igual forma respectivamente los resultados obtenidos se aprecian en los cuadros 5.16 y 5.17, en donde también se dan los costos de la tubería.

**CUADRO 5.14 DEFINICIÓN DE LA RED DEL MÓDULO DE ESTUDIO
TRAZO POR LINDES
LÁMINA DE RIEGO $L_r = 8.50$ cm.
INTERVALO DE RIEGO CRÍTICO IRC= 16 días (REHACER)**

N° DE TRAMO	TRAMO ANTERIOR	LONGITUD (m)	COTA (m.)	PRESIÓN MÍNIMA (m.)	GASTO (lps)
01	02	300.00	30.00	0.20	80.00
02	03	820.00	35.00	0.20	160.00
03	05	740.00	40.00	0.20	240.00
04	05	500.00	41.00	0.20	80.00
05	08	500.00	42.00	0.20	320.00
06	08	380.00	41.00	0.20	160.00
07	06	520.00	40.00	0.20	80.00
08	10	680.00	44.00	0.20	400.00
09	10	500.00	45.00	0.20	80.00
10	11	300.00	50.00	0.20	560.00
11	00	600.00	55.00	0.20	720.00

**CUADRO 5.15 DEFINICIÓN DE LA RED DEL MÓDULO DE ESTUDIO
TRAZO POR EL MÉTODO DE GIRETTE
LÁMINA DE RIEGO $L_r = 8.50$ cm.
INTERVALO DE RIEGO CRÍTICO IRC= 16 días**

N° DE TRAMO	TRAMO ANTERIOR	LONGITUD (m)	COTA (m.)	PRESIÓN MÍNIMA (m.)	GASTO (lps)
01	02	300.00	30.00	0.20	80.00
02	03	820.00	35.00	0.20	160.00
03	05	740.00	40.00	0.20	240.00
04	05	500.00	41.00	0.20	80.00
05	08	200.00	42.00	0.20	320.00
06	08	380.00	41.00	0.20	160.00
07	06	520.00	40.00	0.20	80.00
08	10	680.00	44.00	0.20	400.00
09	10	840.00	45.00	0.20	80.00
10	11	300.00	50.00	0.20	560.00
11	00	480.00	55.00	0.20	720.00

**CUADRO 5.16 DIMENSIONAMIENTO DE LA RED
A PARTIR DEL TRAZO POR LINDES**

TRAMO	COSTO (\$)	COTA PIEZOMÉTRICA (m).	DIÁMETRO DE LA TUBERÍA (m)	PRESIÓN (atm)	LONGITUD (m).
1	18,885	30.54	0.254 0.305	5.50 5.00	300 0
2	127,141	35.2	0.356 0.547	5.00 5.00	820 0
3	242,439	44.08	0.457 0.610	5.00 5.00	740 0
4	31,475	41.34	0.254 0.305	5.50 5.00	500 0
5	215,268	49.11	0.457 0.610	5.00 5.00	28.82 471.18
6	58,919	47.31	0.356 0.457	5.00 5.00	380 0
7	37,774	40.2	0.254 0.305	5.50 5.00	344.1 175.9
8	297,044	51.42	0.610 0.700	5.00 5.00	680 0
9	31,475	45.2	0.254 0.305	5.50 5.00	500 0
10	131,049	54.34	0.610 0.700	5.00 5.00	300 0
11	300,000	56.74	0.700 0.800	5.00 5.00	600 0

**1,491,469 COSTO
TOTAL.**

El trazado por linderos, ofrece la no servidumbre de paso, que puede causar molestias a los usuarios. A este costo promedio se le debe adicionar un 10% por las conexiones especiales necesarias para su correcto funcionamiento. En el siguiente cuadro se analiza el trazado por el método de Girette, el cual ofrece un costo relativamente menor, al obtenido a partir del primer trazo.

**CUADRO 5.17 DIMENSIONAMIENTO DE LA RED
A PARTIR DEL TRAZO POR EL MÉTODO DE GIRETTE**

TRAMO	COSTO (\$)	COTA PIEZOMÉTRICA (m).	DIÁMETRO DE LA TUBERÍA (m)	PRESIÓN (atm)	LONGITUD (m).
1	18,885	30.54	0.254 0.305	5.50 5.00	300 0
2	127,141	35.2	0.356 0.547	5.00 5.00	820 0
3	242,439	44.08	0.457 0.610	5.00 5.00	740 0
4	31,475	41.34	0.254 0.305	5.50 5.00	500 0
5	65,524	49.11	0.457 0.610	5.00 5.00	200 0
6	58,919	47.31	0.356 0.457	5.00 5.00	380 0
7	35,755	40.2	0.254 0.305	5.50 5.00	414.56 105.44
8	297,044	51.42	0.610 0.700	5.00 5.00	680 0
9	65,093	45.2	0.254 0.305	5.50 5.00	413.66 426.34
10	131,049	54.34	0.610 0.700	5.00 5.00	300 0
11	228,661	56.74	0.610 0.700	5.00 5.00	179.49 300.51

**1,301,985 COSTO
TOTAL.**

En el marco de referencia del presente trabajo se describe la propuesta definitiva para la realización del "Proyecto Costa de Chila", con base en canales revestidos. El costo de construcción del módulo No. 1 con esta tendencia alcanza un monto de \$ 1,000,000 (Ref. Estudio de factibilidad técnica económica "Proyecto Costa de Chila"), pero no se contempla el costo de operación, pues el riego se realiza con la política rotacional y se demanda además de la rehabilitación la implantación de un sistema de vigilancia que permita el cumplimiento de los lineamientos de operación. Con esta consideración se demandaría un costo adicional del 2% anual del costo de construcción, con lo que se igualaría en pocos años la inversión que resulta de construir una red de tubería de baja presión y que ofrece flexibilidad en su utilización como ya se expresó con los resultados obtenidos anteriormente. Por otra parte pueden ser analizadas varias alternativas de solución

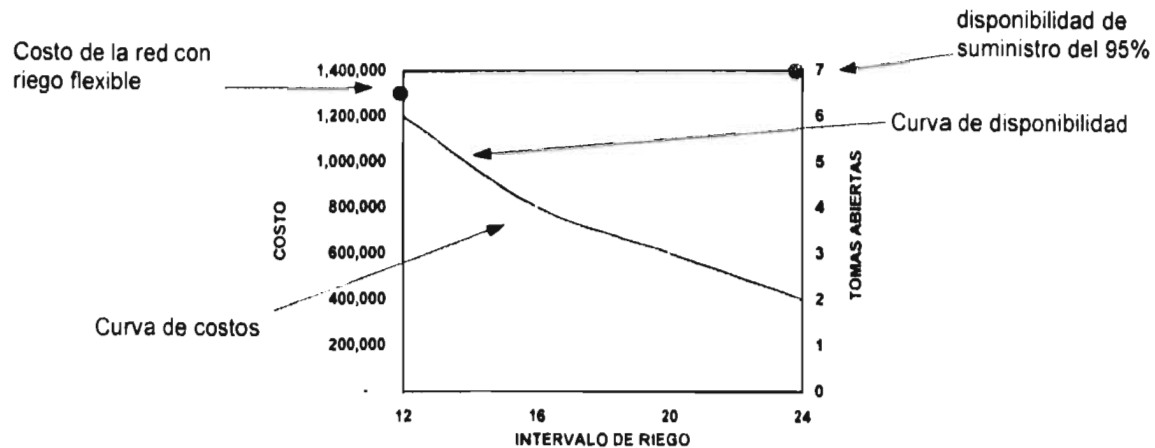
para la concepción de la red de tubería de baja presión, para cada una de ellas se determinan sus costos y su Coeficiente Unitario de Riego basado en el intervalo de riego en días. Para el presente caso de estudio, fue planteado analizar con el trazado de Girette obtenido, alternativas de solución para riego por rotación y compararlo con el riego flexible obtenido que permite un porcentaje de disponibilidad del 95%. Dichos resultados se aprecian en el cuadro 5.18.

CUADRO 5.18 CUADRO COMPARATIVO DE RIEGO APARTIR DEL TRAZADO POR EL MÉTODO DE GIRETTE

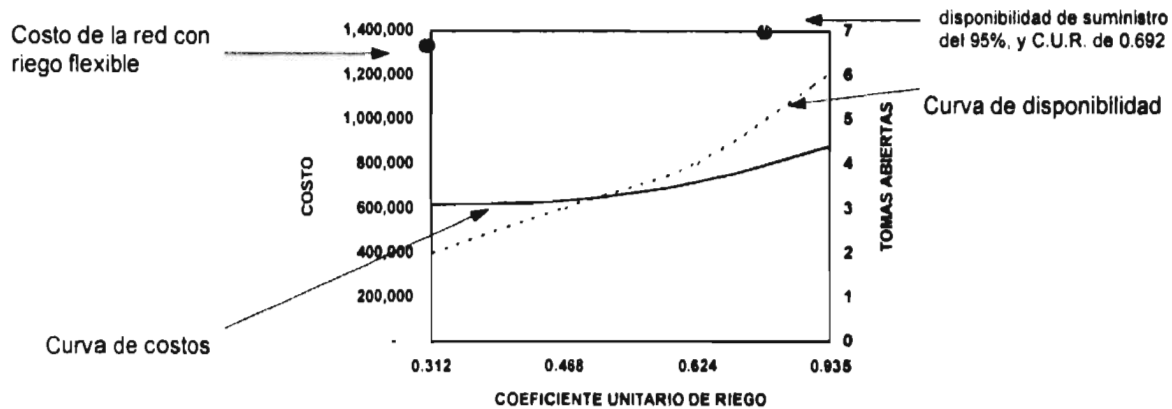
ALTERNATIVAS	COSTO	INTERVALO DE RIEGO EN DÍAS	COEFICIENTE UNITARIO DE RIEGO
No. 1 Riego Flexible Trazo por el Método de Girette utilizando la fórmula probabilística de Clement.	1,301,985	16	0.692
No. 2 Riego por Rotación, Trazo por el Método de Girette.	880,606	12	0.935
No. 3 Riego por Rotación, Trazo por el Método de Girette.	720,527	16	0.624
No. 4 Riego por Rotación, Trazo por el Método de Girette.	636,655	20	0.468
No. 5 Riego por Rotación, Trazo por el Método de Girette.	618,257	24	0.312

Una vez, que se obtuvieron los resultados del cuadro anterior, se procedió a realizar un análisis probabilístico para estimar el número de tomas abiertas para cada alternativa. De esta forma se construyeron las gráficas 5.3 y 5.4 las cuales esquematizan el comportamiento de la red flexible y la solución por medio de rotación, esto para diferentes intervalos de riego y su correspondiente coeficiente unitario de riego.

GRÁFICA 5.3 IMPACTO DEL INTERVALO DE RIEGO EN COSTOS Y DISPONIBILIDAD HÍDRICA



GRÁFICA 5.3 IMPACTO DEL C.U.R EN COSTOS Y DISPONIBILIDAD HÍDRICA



Analizando las anteriores gráficas, se puede decir que cuando más largo sea el intervalo de riego y más pequeño el Coeficiente Unitario de Riego, la red resultante es más económica que una diseñada con Periodos de riego más cortos y C.U.R. mayores. Sin embargo, no se cuenta con una red flexible que ofrezca los beneficios discutidos en el presente trabajo. Los puntos marcados para el riego flexible en cada gráfica denotan un costo ligeramente mayor al de la alternativa más favorable de riego por rotación. Por otra parte la disponibilidad hídrica se eleva a una toma más y el Coeficiente Unitario de Riego es de 0.692 menor que 0.935 correspondiente a la alternativa de un intervalo de 12 días.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

1.- En la zona costera de Nayarit, con el patrón de cultivos de la zona se obtuvo un Coeficiente Unitario de Riego (C.U.R.) de 0.7 l/s/ha. Si se considera un solo cultivo, se tomaría el cultivo del Jitomate, que resulta ser el más crítico, teniendo un Intervalo de Riego (I.R.) de 16 días y una evapotranspiración (Etc) de 800 mm en todo su ciclo vegetativo y un suelo con textura Franco Arcillosa, arcillo arenosa, con una lámina real de aplicación de 8.5 cm, la cual equivale a un Coeficiente Unitario de Riego de 0.6922 l/s/ha. De aquí se concluye que el coeficiente dependerá grandemente del número y tipo de cultivos es decir este puede ser más bajo debido a una ponderación.

2.- Al realizar el análisis de flexibilidad se varió el Coeficiente Unitario de Riego (C.R.U) afectando el intervalo de riego.

Un sistema flexible es aquel que tiene un Intervalo de Riego más corto o un Coeficiente Unitario de Riego más grande. En el caso de estudio analizado se empleó una metodología para diseñar una red flexible utilizando la fórmula probabilística de Clement (3.30) y estimando un 95% de garantía de suministro en cada toma, con lo que se obtuvo una red con un costo de 1'301,985 y los parámetros especificados en el anterior punto. Además se estudiaron 4 opciones de riego por rotación y se analizaron para intervalos de riego de 12, 16, 20 y 24 días para los cuales correspondieron los C.U.R. de: 0.935, 0.624, 0.468 y 0.312 y los costos de 880,606; 720,527; 636,655; y 618,257 respectivamente. Se concluyó que el sistema propuesto resulta más costoso que cualquiera de las 4 opciones de riego por rotación, pero con la ventaja de tener mayor probabilidad en la garantía de suministro y menor coeficiente unitario de riego comparado con la opción crítica (12 días I.R.) de riego por rotación, por lo que para disminuir costos se debe determinar un Intervalo de Riego que sea adecuado como el de 16 días en este caso para 0.6922 de C.R.U. el cual se obtuvo con la metodología propuesta y elegir la alternativa que satisfaga las necesidades de la zona.

3.- El costo del canal revestido a cielo abierto es de 1'700,000 lo que resulta ser un 30% más costoso que la red entubada flexible propuesta en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Aparicio Mijares Javier, 1989;
Fundamentos de Hidrología de Superficie
Editorial LIMUSA, Grupo Noriega Editores.

Blaney H. Y W.D. Criddle 1962
Determining consumptive use and irrigation water requirements,
U.S Department of agriculture,
Research Service
Technical Bulletin 1275

Bruce Withers y Stanley Vipond, 1979;
El Riego: Diseño y Práctica,
Editorial DIANA.

Burden Richard L. y J. Faires Douglas, 1985;
Análisis Numérico,
Grupo Editorial Iberoamericana.

Clement
Calcul des réseaux d'irrigation sous pression, 8vas. Jornadas Europeas del ICID,
Aix- en Provence,
Junio 1971

CNA, 1995;
Programa Hidráulico del Estado de Nayarit.

Chow, 1983,
Hidráulica de los Canales Abiertos,
Editorial DIANA.

Doorenbos J. Y W.O.,
Pruit. 1975.
Guideline for predicting
Crop Water Requirements,
De. F.A.O. Roma,

Enciso Medina Juan, 1993;
Anexo Técnico, Cuando y Cuanto Regar.
IMTA.

Espinoza V. Enrique 1962,
Los distritos de riego,
De. Cecsá México,

FAO Chapter No. 3; 1971;
Network Layout and Design Discharge.

G.J.Hoffman, T.A. Howell, K.H. Solomon, 1990,
Management of Farm Irrigation Systems ,
American Society of Agricultural Engineers.

Granados Alfredo, 1986;
Redes Colectivas de Riego a Presión.
IMTA, 1992;

Guía Para la Elaboración del Anexo Técnico Para la Formulación y Ajuste de Planes de Riego en
Módulos de Distritos de Riego Transferidos

Jean Béthery
Réseaux Collectifs d'irrigation ramifiés sous pression
Calcul et fonctionnement
CEMAGREF

Jensen Marvin y H. R. Haise 1963,
Estimating evapotranspiration from solar radiation,
Journal of irrigation and drainage division,
Asce, Vo. 89 No. 1R4, pag. 15-41

Labye/Lechapt
Methodes permettant de determiner les caracteristiques optimales d'un reseau de distribution d'eau,
Boletin Técnico del Génie Rural no. 50 1961.

Linsley Ray E. Y J. Franzini 1967,
Ingeniería de los Recursos Hidráulicos (Trad. del Inglés)
Cecsa, México.

Levi Lattes Enzo, 1960;
Teorías y Métodos de las Matemáticas Aplicadas,
División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

Magaña Sosa Gustavo, 1994;
La Flexibilidad del Riego en un Sistema de Distribución Interparcelario, con Tuberías de baja
Presión: Estudio de Caso,
Tesis de Maestría.

Oliver Henry 1963,
Riego y Clima (Trad. del Inglés)
Cecsa, México.

Palacios V. Enrique, 1971,
Manual de Operación de distritos de riego,
Depto. De irrigación de Ena Chapingo.

Palacios Velez Enrique, 1989;
Introducción a la Teoría de la Operación de Sistemas de Riego.
S.R.H. 1969; Diseño de Sistemas de Irrigación.

Panton Ronald, 1984;
Incompressible Flow, Mechanical engineering Department University of
Texas, Austin.

Simon and Schuster, New Jersey, 1987;
Surface Irrigation Theory and Practice,
Utah State University.

Sotelo Ávila Gilberto, 1979;
Hidráulica General,
Volumen No. 1 Fundamentos,
Editorial NORIEGA/LIMUSA.

Soil Conservation Service, 1984;
Irrigation Chapter 5, Furrow Irrigation.

Seymour Lipschutz, 1978;
Probabilidad, Schaum McGraw-Hill.

Guía Para la Elaboración del Anexo Técnico Para la Formulación y Ajuste de Planes de Riego en Módulos de Distritos de Riego Transferidos.

Jean Béthery
Réseaux Collectifs d' irrigation ramifiés sous pression
Calcul et fonctionnement
CEMAGREF

Jensen Marvin y H. R. Haise 1963,
Estimating evapotranspiration from solar radiation,
Journal of irrigation and drainage division,
Asce, Vo. 89 No. 1R4, pag. 15-41

Labye/Lechapt
Methodes permettant de determiner les caracteristiques optimales d' un r'eseau de distribution d'eau,
Boletin Técnico del Génie Rural no. 50 1961.

Linsley Ray E. Y J. Franzini 1967,
Ingeniería de los Recursos Hidraulicos (Trad: del Inglés)
Cecsa, México.

Levi Lattes Enzo, 1960.
Teorías y Métodos de las Matemáticas Aplicadas,
División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

Magaña Sosa Gustavo, 1994;
La Flexibilidad del Riego en un Sistema de Distribución Interpacelario, con Tuberías de baja
Presión: Estudio de Caso,
Tesis de Maestría.

Oliver Henry 1963,
Riego y Clima (Trad: del Inglés)
Cecsa, México.

Palacios V. Enrique, 1971,
Manual de Operación de distritos de riego,
Depto. De irrigación de. Ena Chapingo.

Palacios Velez Enrique, 1989;
Introducción a la Teoría de la Operación de Sistemas de Riego.
S.R.H. 1969; Diseño de Sistemas de Irrigación.

Panton Ronald, 1984;
Incompressible Flow, Mechanical engineering Department University of
Texas. Austin

Simon and Schuster, New Jersey, 1987;
Surface Irrigation Theory and Practice,
Utah State University.

Sotelo Ávila Gilberto, 1979;
Hidráulica General,
Volumen No 1 Fundamentos,
Editorial NORIEGA/LIMUSA.

Soil Conservation Service, 1984;
Irrigation Chapter 5, Furrow Irrigation.

Seymour Lipschutz, 1978,
Probabilidad, Schaum McGraw-Hill.

Sistema de Información Geográfica del Agua (S.I.G.A);
bases de datos de C.N.A.
Gerencia Estatal en Nayarit.

Zierold R. Luis 1969,
Estimación de la capacidad de los canales, en Ingeniería Hidráulica en Mexico
Vol. XXIV no. 1 pag. 78-100