

**MODELACION DE BALANCES AGROCLIMATICOS
EN DISTRITOS DE RIEGO DEL NORTE DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA
CON FINES DE OPTIMIZAR EL MANEJO DE LOS RECURSOS AGUA - SUELO
EN EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS**

DIEGO ALEJANDRO CADENA ARIZA



**GRUPO DE INVESTIGACIÓN
“HIDROINGENIERÍA Y DESARROLLO AGROPECUARIO”
(GHIDA)**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
2007**

**MODELACION DE BALANCES AGROCLIMATICOS
EN DISTRITOS DE RIEGO DEL NORTE DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA
CON FINES DE OPTIMIZAR EL MANEJO DE LOS RECURSOS AGUA - SUELO
EN EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS**

DIEGO ALEJANDRO CADENA ARIZA

**Trabajo presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO AGRÍCOLA**



**DIRECTOR
Jaime Izquierdo Bautista
M.Sc. en Ingeniería Civil**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
2007**

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Neiva, Julio de 2007

DEDICATORIA

Primero, dedico este trabajo a JESUCRISTO, ya que Él conoce todas las dificultades y los problemas que afronte para sacar adelante mis estudios, y gracias a Él pude superarlos; en momentos en que me sentía desanimado estuvo ahí para ayudarme. En segundo término, dedico el trabajo a mis padres, por todos los sacrificios realizados para que yo pudiera estudiar y los sinsabores que les he causado en estos años.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

Juan Antonio Castro, Ingeniero de Sistemas de la oficina de gestión y redes de la Universidad Surcolombiana, por los conocimientos transmitidos para el cumplimiento de este proyecto.

Luis Gregorio Ramón, Ingeniero de Sistemas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Surcolombiana por el decidido apoyo a este proyecto.

Hernán Guzmán, profesor de la Facultad de Ingeniería, por la información suministrada para la realización de este proyecto.

Jorge Iván Chávarro, Ingeniero Agrícola, por sus aportes a este proyecto.

Jaime Izquierdo Bautista, Magíster en Ingeniería Civil, por la oportunidad de trabajar en el proyecto y el apoyo brindado durante su ejecución.

Armando Torrente Trujillo, Doctor en Ciencias Agropecuarias, por los aportes a esta investigación.

A todas aquellas personas que con su apoyo, entusiasmo y sugerencias contribuyeron para el éxito de la investigación.

CONTENIDO

	Pag.
1. INTRODUCCIÓN.	13
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	15
3. AREA DE APLICACIÓN.	16
3.1. DISTRITO DE RIEGO EL JUNCAL.	16
3.2. DISTRITO DE RIEGO SAN ALFONSO.	16
3.3. DISTRITO DE RIEGO EL PORVENIR.	17
4. REVISIÓN DE LITERATURA.	18
5. PROCEDIMIENTO.	20
5.1. DIGITALIZACIÓN DE PLANOS.	21
5.2. DESARROLLO DEL PROGRAMA INFORMÁTICO.	21
6. RESULTADOS.	23
6.1. PLANOS DE LOS DISTRITOS DE RIEGO.	24
6.2 PROGRAMA INFORMÁTICO “MOBAYN 1.0”.	24
6.3. MANUAL DE USUARIO “MOBAYN 1.0”.	24
6.3.1. Manual de usuario.	28
6.3.1.1 Instalación del programa MOBAYN 1.0.	28
6.3.1.2 Empezar a trabajar con MOBAYN 1.0.	32
6.3.1.2.1. Menú Bases de datos.	34
6.3.1.2.2. Menú Actualizar.	40
6.3.1.2.3. Menú Cálculo.	44
6.3.1.3 Ejemplos de manejo de MOBAYN 1.0.	51
6.3.1.3.1 Para calcular requerimientos hídricos.	51
6.3.1.3.2. Para obtener las sugerencias de diseño del riego.	55
6.3.1.3.3. Para actualizar los lotes.	57
6.3.1.3.4. Para agregar un nuevo lote.	59
6.3.1.3.5. Para eliminar un lote.	60
7. CONCLUSIONES.	62
8. RECOMENDACIONES	64
BIBLIOGRAFÍA.	
ANEXOS.	
GLOSARIO	

LISTA DE ANEXOS

	pág
Anexo 1. Métodos indirectos para calcular la evapotranspiración	69
Anexo 2. Muestras de suelos con sus correspondientes texturas para los tres distritos de riego en estudio	70
Anexo 3. Valores medios mensuales multianuales para las variables climatológicas brillo solar, temperatura, humedad relativa, precipitación y velocidad del viento en los distritos de riego en estudio	71
Anexo 4. Valores utilizados para el cálculo de requerimientos hídricos	72
Anexo 5. Valores utilizados para el cálculo de evapotranspiración según el método de penman (modificado por la FAO)	75

LISTA DE FIGURAS

	pág
Figura 1. Algoritmo para la consulta de las bases de datos	25
Figura 2. Algoritmo para la actualización de las bases de datos	26
Figura 3. Algoritmo para el cálculo de necesidades hídricas de los cultivos	27
Figura 4. Ventana de exploración de CD	29
Figura 5. Contenido del CD	29
Figura 6. Proceso de copiado de archivos para la instalación de MOBAYN	30
Figura 7. Ventana de bienvenida del asistente de instalación	30
Figura 8. Selección de la carpeta en donde se instalará la aplicación	31
Figura 9. Ubicación del acceso directo MOBAYN.exe	31
Figura 10. Finalización del proceso de instalación	32
Figura 11. Menú de acceso al programa	32
Figura 12. Selección del distrito de riego	33
Figura 13. Ventana de inicio de MOBAYN	33
Figura 14. Menú bases de datos	34
Figura 15. Selección de la variable climatológica	34
Figura 16. Base de datos climatológica de brillo solar	35
Figura 17. Menú propiedades físicas de los suelos	36
Figura 18. Menú "Predios"	37
Figura 19. Listado de predios del distrito de riego respectivo	38
Figura 20. Listado de predios para impresión	38
Figura 21. Ventana de opciones de impresión	39
Figura 22. Menú Actualizar, opción "Datos meteorológicos"	40
Figura 23. Formulario de actualización de variables climatológicas	41
Figura 24. Formulario de actualización de valores medios mensuales multianuales para la variable climatológica escogida	41
Figura 25. Menú Actualizar, opción "Datos cultivos"	44
Figura 26. Formulario de actualización de coeficientes de cultivo	43
Figura 27. Menú Actualizar, opción "Lotes"	43
Figura 28. Formulario de actualización de lotes	44
Figura 29. Menú Cálculo	45
Figura 30. Formulario para cálculo de balance de Precipitación Vs. Evapotranspiración	46
Figura 31. Cálculo de balance de Precipitación Vs. Evapotranspiración	47
Figura 32. Balance gráfico de Precipitación Vs. Evapotranspiración	47
Figura 33. Menú Complementos	48

Figura 34. Presentación inicial del formulario de sugerencias para el diseño del riego por superficie	49
Figura 35. Elementos restantes del formulario	49
Figura 36. Pendientes sugeridas para el diseño del sistema de riego para arroz	50
Figura 37. Pendientes sugeridas para el diseño del riego de los demás cultivos	50
Figura 38. Selección del cultivo	54
Figura 39. Selección del mes de siembra	51
Figura 40. Selección del lote	51
Figura 41. Resultados de la modelación	52
Figura 42. Resultados de precipitación vs evapotranspiración potencial	53
Figura 43. Resultados de precipitación vs evapotranspiración del cultivo	53
Figura 44. Datos prediales	54
Figura 45. Selección de la opción “Complementos”	55
Figura 46. Selección del cultivo “TABACO”	55
Figura 47. Valores seleccionados para el programa	56
Figura 48. Valores sugeridos por el programa	56
Figura 49. Dato a actualizar	57
Figura 50. Dato ingresado	57
Figura 51. Botón para actualizar	57
Figura 52. Línea de ingreso de nuevo registro	58
Figura 53. Datos del nuevo registro	58
Figura 54. Desplazamiento de las celdas con la barra horizontal	58
Figura 55. Registro ingresado en la base de datos	59
Figura 56. Selección del registro a eliminar	59
Figura 57. Botón eliminar	59
Figura 58. Registro eliminado	60

ADVERTENCIA

La información contenida en este informe, junto con los datos suministrados por el programa es de carácter académico, con fines de referencia. Ni los autores, ni la Universidad Surcolombiana se hacen responsables por el manejo que de ella hagan terceras personas, ni de las consecuencias que de ellas se deriven.

Windows, así como las palabras descriptivas del programa son propiedad de la empresa Microsoft Corporation. Ninguna de estas podrá ser utilizada sin el consentimiento previo de la empresa.

RESUMEN

El propósito de la investigación es determinar el modelo básico de requerimientos hídricos para los distritos de riego El Juncal, San Alfonso y El Porvenir, los cuales se ubican en la zona norte del departamento del Huila - Colombia. Se tomaron muestras de suelo representativas de cada distrito para la zonificación de suelos. Se recopiló información meteorológica histórica del IDEAM para los elementos precipitación, humedad relativa, velocidad del viento, temperatura y brillo solar, con las cuales se estimaron los requerimientos hídricos agrícolas en las áreas respectivas. Se consultaron datos sobre los diferentes coeficientes de cultivo para la estimación de las necesidades de riego durante el ciclo fenológico del cultivo. Se caracterizaron las texturas de los suelos según el análisis de las muestras, además se desarrollo un modelo básico en computador, el cual con base en los datos permite calcular los requerimientos hídricos del plan de cultivos en la zona de estudio. También se actualizaron los planos de los distritos de riego, con la distribución de los lotes; se presenta el software como herramienta valiosa para la programación de los requerimientos hídricos de los cultivos, en los distritos del norte del Departamento del Huila.

SUMMARY.

The purpose of the investigation is to determine the basic pattern of hidryc requirements for the watering districts El Juncal, San Alfonso and El Porvenir, which are located in the north area of the department of the Huila - Colombia. They took representative soil samples of each district with those which you history the classification of soils zone. Historical meteorological information of the IDEAM was gathered for the variable precipitation, relative humidity, speed of the wind, temperature and solar shine, with which the hidryc requirements are calculated in the respective areas. Data were consulted about the different values of cultivation coefficients for the calculation of watering necessities during the cycle of the cultivation. The textures of the soils were characterized according to the analysis of the samples, also you development a basic model in computer, the one which with base in the data allows to calculate the hidryc requirements of the plan of cultivations in the study area. The planes of the watering districts were also upgraded with the distribution of the lots; it is presented the software like valuable tool for the programming of the hidryc requirements of the cultivations, in the districts of the north of the Department of the Huila.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existe la tendencia de determinar parámetros cada vez más precisos para el desarrollo de los cultivos, cuyo fin es de obtener mayores rendimientos por hectárea, utilizar menores cantidades de agua para el riego, obtener mayor calidad de los productos cosechados y otras características deseables para la optimización de la agricultura. Esta tendencia ha hecho que las investigaciones se enfoquen hacia lo que se denomina “Agricultura de precisión”, cuyos objetivos se identifican con los premisas anteriormente mencionadas. Para el desarrollo de estos objetivos, se han estructurado investigaciones en los campos de la meteorología, la edafología, la labranza de los suelos y últimamente, la informática aplicada a la agricultura. Se resalta el hecho de que la tecnología de las computadoras brinda en la actualidad, un soporte físico mas robusto posible para el desarrollo de programas informáticos o software, cuyo fin es el de modelar los aspectos claves de la agricultura de precisión. La aplicación de modelos analíticos se convierte en una herramienta valiosa para el modelamiento de los fenómenos, los cuales incorporan las variables que componen el entorno ambiental, y tratan de proporcionar una descripción del comportamiento de los fenómenos hidroclimatológicos. La presente investigación aplica para las zonas denominadas distritos de riego del Norte del Departamento del Huila e incorpora propiedades fundamentales seleccionadas y aquí referenciadas la textura y propiedades de los suelos, la climatología y las necesidades hídricas de los cultivos. En la recolección de la información se presentan algunas dificultades que son amparadas con el suministro de la información histórica disponible.

Basados en estos registros y en la plataforma de programación que ofrece el paquete Visual Studio versión académica, se diseñó un software para la modelación, evaluación y proyección de estos fenómenos ambientales generados en los últimos 20 años y que gobiernan el comportamiento climático de la zona norte donde se localizan los distritos de riego más importantes en la economía agrícola del Departamento del Huila. Por esto MOBAYN 1.0 es un paquete informático que agiliza los cálculos y permite tomar decisiones de forma rápida, dando una idea de las posibles necesidades de agua de los cultivos allí establecidos. El resultado de los estudios se compila en una aplicación informática interactiva para los usuarios de la zona norte del departamento del Huila; compara las precipitaciones ocurridas durante los meses subsiguientes con las pérdidas de agua por evapotranspiración de los cultivos implantados en la zona; además, brinda información adicional sobre los datos recopilados de años

anteriores sobre los eventos de carácter climatológico (precipitación, humedad relativa, brillo solar, temperatura y velocidad del viento). El programa cuenta con un manual de referencia que explica, paso a paso su forma de utilización.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La necesidad de producir cada día mas alimentos y de mejor calidad, ha llevado a los agricultores a tecnificar las áreas agrícolas y a ampliar la frontera agrícola buscando producir de manera intensiva y rentable.

El riego ha dejado de ser una práctica empírica y se ha convertido en la práctica de Ingeniería mas obvia para elevar la eficiencia del agua y del suelo. Con la aplicación de riego se regulariza el suministro de agua según las exigencias de los cultivos, lo cual implica un mejor conocimiento de las relaciones entre el suelo, el clima y los cultivos.

El auge en Colombia y el departamento del Huila de los proyectos de adecuación de tierras exige la disponibilidad de metodologías que permitan a los usuarios seleccionar las zonas más adecuadas y la identificación de las obras de adecuación requeridas, de acuerdo con criterios agroclimáticos precisos.

La caracterización y modelación agroclimática de áreas bajo riego en el norte del departamento del Huila tiene como finalidad analizar la influencia que tiene el clima sobre el desarrollo de los cultivos con base en los balances hídricos, caracterizar su dinámica en el periodo vegetativo de los cultivos más importantes en los distritos de riego y dar pautas para el manejo y el aprovechamiento eficiente de los recursos clima, agua y suelo.

El objetivo fundamental de la investigación es caracterizar y modelar los balances hídricos agroclimáticos de tres distritos de riego del norte del departamento del Huila, Juncal, San Alfonso y Porvenir, con fines de optimizar la producción en áreas agrícolas del departamento.

3. AREA DE APLICACIÓN

3.1. DISTRITO DE RIEGO EL JUNCAL

Este distrito dista a 7 Km. al sur de la ciudad de Neiva al cual se llega por carretera pavimentada. El distrito de riego El Juncal se encuentra ubicado en los 2°50' N y 75°20' W en el municipio de Palermo, con temperatura media multianual de 27 °C, promedio de lluvia anual de 1357 mm y su elevación media es de 460 msnm, lo cual indica que el clima es cálido seco. Predomina el cultivo de arroz como principal renglón de la economía de la zona. En la actualidad, el distrito es administrado por los propios usuarios los cuales pagan una tarifa por la utilización del agua en el riego, el cual no presenta un alto grado de tecnificación; la modalidad de riego es por superficie. La falta de tecnificación de las actividades agrícolas es fundamentalmente cultural, por haberse arraigado desde hace más de 50 años un manejo sin criterios técnicos.

El agua utilizada para satisfacer las necesidades de riego en este distrito proviene del río Magdalena, la cual se extrae a través de bombas de funcionamiento eléctrico, lo que encarece enormemente el valor del agua, por lo tanto se hace necesario tener herramientas que optimicen este recurso. Desde la descarga del sistema de bombeo, el agua es transportada a través de canales abiertos y su reparto se encuentra regulado por estructuras hidráulicas, algunas de las cuales presentan deterioro por el uso continuo por más de treinta años.

3.2. DISTRITO DE RIEGO SAN ALFONSO

Ubicado en la parte norte del municipio de Villavieja, al cual se llega después de un recorrido de 25 Km. por carretera destapada desde el casco urbano. El distrito de riego San Alfonso, se encuentra ubicado a los 3°23' N y a los 75°06' W. Presenta una temperatura media multianual de 28.8 °C, precipitación media anual de 1012 mm, y una elevación promedio de 440 msnm. Los principales cultivos que se desarrollan en esta zona son arroz, maíz, sorgo, tabaco y algodón, predominando el primero. El distrito es operado por la asociación denominada USO ALFONSO y apoyadas por el INCODER, sin embargo los usuarios pagan una tarifa por el uso del agua en sus cultivos, la cual se utiliza para el mantenimiento físico y administrativo del distrito.

El agua es derivada del río Cabrera a través de una bocatoma lateral y el recorrido

a través de todo el distrito, se hace por gravedad conducido por canales abiertos y depositada en los predios que lo necesitan a través de tomas prediales, las cuales no se encuentran calibradas para caudales determinados, lo cual hace difícil el control del agua. De acuerdo al cultivo que se desarrolla, los usuarios utilizan algunas técnicas de riego como inundación para el cultivo del arroz y surcos para cultivos como maíz, tabaco y algodón, lo cual se hace a criterio del regador y con ausencia de conocimiento técnico.

3.3. DISTRITO DE RIEGO EL PORVENIR

Se localiza junto al casco urbano del municipio de Villavieja; ubicado en los 3°13' N y 75°13' W. La temperatura media multianual es de 27.9 °C, predomina el cultivo del arroz, sin embargo se desarrollan otro tipo de actividades agrícolas, como son plantaciones de maíz, sorgo, tabaco y algodón, los cuales son regados sin tener en cuenta criterios técnicos con lo cual se llega a pérdidas de agua por percolación, desborde de los canales de riego, mal estado de las estructuras hidráulicas, etc. Es bastante empleado el riego por inundación para el cultivo de arroz y surcos para los restantes cultivos. La organización de usuarios del distrito se encarga de su administración y operación.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

Experiencias en México por Garatuza y otros 1998, en modelación de evapotranspiración con el método de Penman-Monteith en praderas semiáridas, como parte del programa SALSA (Semi Arid Land Surface Atmosphere), midieron los flujos de vapor y energía y compararon los valores medidos antes y después de la temporada de lluvias para estimar la extracción de agua desde un acuífero resultando que los parámetros relacionados con temperatura del aire e índice de área foliar son los más importantes, mientras que los relacionados con radiación solar son los menos significativos.

Trabajos de Montenegro y Ojeda 2003, en Cuba, con SIG graficaron mapas de variabilidad meteorológica para la isla; utilizando 64 estaciones meteorológicas y 682 estaciones pluviométricas, para el estudio de la evapotranspiración de referencia. Se emplearon dos métodos de procesamiento objetivo para la interpolación y la cartografía digital de la Eto y la lluvia. El Método 1 se refiere a la determinación de la relación y la dependencia entre la hipsometría y las variables; el método No. 2 (Ninyerola, Pons y Roure 2000) correlaciona variables dependientes (climáticas) e independientes (parámetros topográficos). Concluyen que los métodos poseen validez “para interpolación objetiva de los parámetros meteorológicos. Sin embargo, para el uso operativo de la información se recomienda el método 1.

El modelo MOS aplicado en Chile para la evaluación de la cuenca del río Ligua fue utilizado en el análisis de factibilidad de escenarios de derechos de aprovechamiento subterráneo. Este modelo fue ampliado y actualizado. Se hizo calibración de los parámetros de los acuíferos (gradientes de entrada y de salida, K, Volumen de agua), y se contrastaron los caudales superficiales entregados por el modelo MOS con los datos de la estación Ligua; se modelaron los aforos de un grupo de canales de los sectores de la cuenca contrastándolos con los aforos de los canales de la zona. Para determinar el nivel de exactitud del modelo, se utilizaron datos del proyecto Maipú y el “Diagnóstico del Riego para la provincia de Petorca”. El análisis posterior consistió en modelar cuatro escenarios arbitrarios, y los resultados muestran que el nivel del río en general varía muy poco, con lo que podría explotarse aún más el recurso de los acuíferos de la cuenca.

El entorno Aquatool desarrollado en España en la década del ochenta, proporciona diversas herramientas para la toma de decisiones en la gestión del recurso hídrico. Tiene su origen en el desarrollo de diferentes módulos de programación (USOCON, Optired, SGC), cuyo objetivo se centró en determinar las

demandas de agua a todos los niveles (urbanas, industriales, agrícolas, hidroeléctricas, entre otras) y resolver el problema de la asignación del agua mediante la generación de una red de flujo y el uso de algoritmos lineales para la simulación y optimización del recurso. Ha sido utilizado por la Oficina de Planificación de la Confederación Hidrográfica del Tajo (1994-1995) en el desarrollo de un sistema soporte de decisión (SSD) para la simulación y optimización de la gestión del sistema del río Tajo; por el CEDEX (1996) en el análisis de la gestión del recurso por el sistema unificado español, cuyos resultados fueron utilizados en la redacción del Libro Blanco de España. Igualmente ha tenido aplicación en diversos trabajos investigativos realizados sobre los ríos Júcar, Turia (Pérez, 2000), Marina baja (Gandia, 2001) y Mijares (Sopeña, 2002) entre otros trabajos.

El PACREG es un programa desarrollado en la región de Cataluña, el cual utiliza la ecuación de Penman – Monteit para hallar la evapotranspiración potencial considerando las variables climatológicas. Contiene información de suelos del área considerada, recibe información en línea de las estaciones meteorológicas y con esta información realiza el balance hídrico y sugiere al usuario cuando y cuanto regar según si se trata de riego por superficie o riego localizado. Para la optimización del riego, considera si este se realiza por superficie, en donde se calcula la reserva de agua fácilmente aprovechable, desde el día de inicio de la simulación hasta el momento de regar; y si es riego localizado, considera dos modelos: 1) riego localizado sin balance hídrico, modalidad adecuada para las situaciones en que la lluvia cubre una pequeña parte de las necesidades de agua, 2) riego localizado con balance hídrico, en el que la lluvia cubre la mayor parte de las necesidades de agua de los cultivos.

Dos importantes programas para la simulación del riego por superficie que se pueden mencionar son: 1) SIRMOD III. Es un software desarrollado en la Universidad de Utah, el cual utiliza los modelos de onda cinemática, de inercia cero e hidrodinámico total para la simulación de las distintas fases de riego y es una revisión del programa SIRMOD cuya versión trabajaba en el entorno MS-DOS de Windows, 2) SRISOC. Es un programa realizado por la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, desarrollado en el entorno de programación Visual Basic, el cual utiliza el modelo de Onda cinemática para la simulación del riego por surcos.

Las anteriores experiencias muestran las posibilidades actuales de investigación, en la mejora de la productividad, la calidad y el manejo de los recursos hídricos. En base a esto se procede a formular el trabajo investigativo aquí presentado, el cual pretende modelar los balances hídricos agroclimáticos de los distritos de riego El Juncal, San Alfonso y El Porvenir, ubicados en la zona norte del departamento del Huila.

5. PROCEDIMIENTO

Inicialmente se realizó un reconocimiento de cada distrito de riego, el cual se aprovechó para informar a los usuarios de los alcances, los objetivos de la investigación y los resultados esperados.

En la siguiente etapa se realizó la identificación de las áreas objeto de la investigación con el fin de escoger los sitios de muestreo idóneo para la determinación de las características específicas de los suelos de cada distrito. Otra información recolectada fue la referente a los planos de los distritos de riego, en donde se describe la distribución de los lotes con sus respectivos propietarios.

Los sitios seleccionados proporcionaron las muestras de suelo, con las cuales se extrapolaron las condiciones y características de las zonas en estudio. En total se recolectaron 32 muestras de suelos distribuidos así: 12 en el distrito de riego El Juncal, 9 en el distrito de riego San Alfonso y 11 en el distrito de riego El Porvenir. Para la recolección de muestras se utilizó barreno holandés, palas y bolsas plásticas, tomando muestras representativas según procedimientos para tal fin.

Una vez en el laboratorio se determinó la textura por Bouyucos, se hizo la consulta de datos a través de otras investigaciones sobre las características físicas de los suelos, tomando los valores medios representativos (infiltración, conductividad hidráulica saturada, porosidad, capacidad de campo, punto de marchitez permanente). Esta información se aplicó como referente para los suelos de los distritos estudiados.

La información climática de cada zona fue consultada y adquirida en IDEAM, entidad que suministró las bases de datos climatológicos (humedad, precipitación, brillo solar, temperatura y velocidad del viento) de las estaciones 2111508 Villavieja (Distrito El Porvenir), 2114504 San Alfonso y 2109501 El Juncal. Es de anotar que los registros consultados corresponden al período comprendido entre 1987 y 2005 y se observan datos faltantes, por lo cual se tuvo en cuenta solo como referencia, pues para efectos de la investigación se utilizaron valores medios totales mensuales multianuales. También es importante mencionar que solo el distrito de riego San Alfonso posee registros de todas las variables mencionadas, razón por la cual estos datos también fueron utilizados en los otros distritos.

Con la información recolectada se procedió al proceso de digitalización, tanto para la información climatológica, como la información de los suelos de cada distrito (anexo 2 y 3). Se tomaron los coeficientes de cultivos de Hargreaves en la fase

inicial, mediados de estación y fin de temporada (Avidan, 1993), obteniéndose la media de los datos en cada caso. Para el periodo fenológico de cada cultivo se atendió la información suministrada por ICA (Anexo 4), según investigaciones.





Para el cálculo de la evapotranspiración se acudió al método de Penman modificado por la FAO debido a que cuenta con un mayor número de parámetros y por consiguiente se acerca con mayor exactitud a la zona en donde se realizó el estudio (anexo 1)





5.1. DIGITALIZACIÓN DE PLANOS

Para la realización de los planos de los distritos de riego, se utilizo AUTOCAD 2002, versión académica. Se hizo una actualización de los lotes con la información de los distritos de riego.

5.2. DESARROLLO DEL PROGRAMA INFORMÁTICO

El entorno de programación utilizado para el desarrollo del software fue Visual Basic 6.0 versión académica. El tipo de proyecto utilizado dentro del entorno de programación para el desarrollo del programa, fue el estándar; así mismo se utilizaron los controles más generales del paquete de programación. Los controles empleados para el diseño de los formularios estándar fueron los siguientes:

Control	Descripción
Label 	Se encarga de mostrar texto definido previamente. Su función es la de identificar algunos controles que desempeñen una u otra labor dentro del programa de computador.
TextBox 	Está diseñado para recibir todo tipo de texto, números, caracteres, etc. También puede, en determinados casos mostrar información extraída de bases de datos, de archivos binarios, de otros cuadros de textos o etiquetas dentro del programa.
CommandButton 	Se utiliza mayoritariamente para efectuar rutinas de programación, mucho más que otro control.
ListBox 	Proporciona información aclaratoria de las variables, nombres, palabras utilizadas dentro de los formularios del programa.

<p>Frame (Marco)</p> 	Utilizado para agrupar controles.
<p>Combo box (Caja desplegable)</p> 	Su función es la de desplegar una lista en la cual se muestra información de diversa índole, de la cual depende el posterior comportamiento de la rutina programada en el formulario
<p>MsChart (Gráficos 2D)</p> 	Proporciona los resultados de las variables calculadas en forma grafica
<p>MSFlexgrid (Grilla)</p> 	Se emplea para mostrar información tomada de una base de datos, del calculo de una rutina de programación o de un archivo binario, en general, de cualquier elemento que proporcione o guarde datos

Para el manejo de las variables del programa, se utilizó un modulo estándar con el cual manejar la información y los formularios referentes de cada distrito.

Para la impresión de la información de los lotes, se utilizó el control de impresión "Data Report", enlazado a la base de datos del programa a través del control "Data Environment". El motor de bases de datos utilizado fue "Microsoft Jet 3.51.", incluido dentro del entorno de programación; el formato de bases de datos utilizado fue "Microsoft Access 97", versión académica.

6. RESULTADOS

Los resultados de las texturas de los suelos representativos de los distritos se observan en el anexo 2. La textura dominante para el distrito de riego El Juncal es Franco Arenosa, lo que indicaría la posibilidad de reducir los volúmenes de agua, utilizados actualmente por los cultivadores. Sin embargo, se requiere de nuevos estudios que permitan avalar esta posibilidad.

En el distrito de riego San Alfonso, la textura es Franca con escasos lotes de textura Franco arenosa y arenosa, lo cual podría indicar que los volúmenes de agua utilizados en la actualidad podrían reducirse para mayor eficiencia. Sin embargo por el número de muestras recolectadas puede tomarse esta información como preliminar. En el distrito de riego El Porvenir existe variabilidad de texturas, con suelos Franco arenosos, Franco arcillosos, Francos y Arenosos, lo cual sugiere el manejo del agua de una manera particularizada para cada lote, con lo cual se optimizarían los consumos, sin embargo se debe utilizar como una aproximación, dado el número de muestras.

En el anexo 3 se muestran los valores medios mensuales multianuales para las variables climatológicas consultadas. La ausencia de registros, para los distritos es debida a la ausencia de instrumentos en la zona de estudio por parte del IDEAM. Para los meses de Junio a Agosto, se presenta la época más seca en los tres distritos, lo cual indica que los costos de la campaña de riego tienen el mayor componente durante este periodo. También se puede inferir que el problema de abastecimiento de agua en años futuros en los distritos de riego, podrá darse más marcado en este periodo debido a la agudización del fenómeno conocido como “El Niño”, derivado del problema de calentamiento global. Esto sugiere que se deben tomar medidas para garantizar el abastecimiento de agua durante estos meses, porque se requiere gran volumen de agua para los cultivos, o en su defecto reducir las áreas sembradas con el fin de evitar pérdidas económicas

En el anexo 4, se observan los valores medios de coeficiente de cultivo de Hargreaves (Avidan, 1993), con los cuales se hizo el cálculo de evapotranspiración del cultivo respectivo. Para estos valores, los cultivos no requieren de altas láminas de riego; sin embargo son indispensables estudios que avalen lo dicho en razón de las condiciones propias de los cultivos de la zona, es decir, de sus características fisiológicas en el medio que se desarrollan.

6.1. PLANOS DE LOS DISTRITOS DE RIEGO

El plano N. 1 (Juncal) contiene la distribución actual de los lotes, las vías de acceso, las zonas de toma de muestras, las obras hidráulicas actuales (canales) y las zonas de drenaje del distrito.

El plano N. 2 (San Alfonso) contiene la distribución actual de los lotes con la respectiva información de los propietarios, el área cultivada, el área total de cada lote, las vías de acceso, las obras hidráulicas actuales (canales), la zonificación de los canales de riego, las fuentes hídricas (ríos y quebradas).

El plano N. 3 (El Porvenir) contiene la distribución de los lotes, la infraestructura férrea, vías de acceso, las obras hidráulicas actuales (canales) y la información respectiva de los propietarios de los lotes con sus áreas totales y sembradas.

6.2 PROGRAMA INFORMÁTICO “MOBAYN 1.0”

Con los datos recopilados del estudio y la información de apoyo obtenida se creó el programa “MOBAYN 1.0”, el cual se desarrolló en el entorno de programación Visual Basic 6.0. versión académica. Este tiene como fin proporcionar información de referencia al agricultor y a los administradores de los distritos durante la planeación de las campañas de riego para los diferentes cultivos a establecer en una época del año determinada. Además, permite ingresar la información de las características de los suelos de la región, información con la cual se ajusta más la labor de siembra y cosecha según las características de cada suelo. Presenta como característica principal el manejo de la información a través de bases de datos, en las cuales se encuentra almacenada la información de los usuarios, los registros de las variables climatológicas consultadas y los datos requeridos para el cálculo del balance hídrico.

6.3. MANUAL DE USUARIO “MOBAYN 1.0”

Este manual describe y recoge la información requerida para el uso del programa “MOBAYN 1.0.”, en el se explican los procedimientos necesarios para la instalación del programa, la consulta de la información climatológica y la actualización de la información de los distritos. A continuación se muestran los diagramas de bloques en donde se sustentan los algoritmos del programa y el manual de usuario con las explicaciones para su uso.

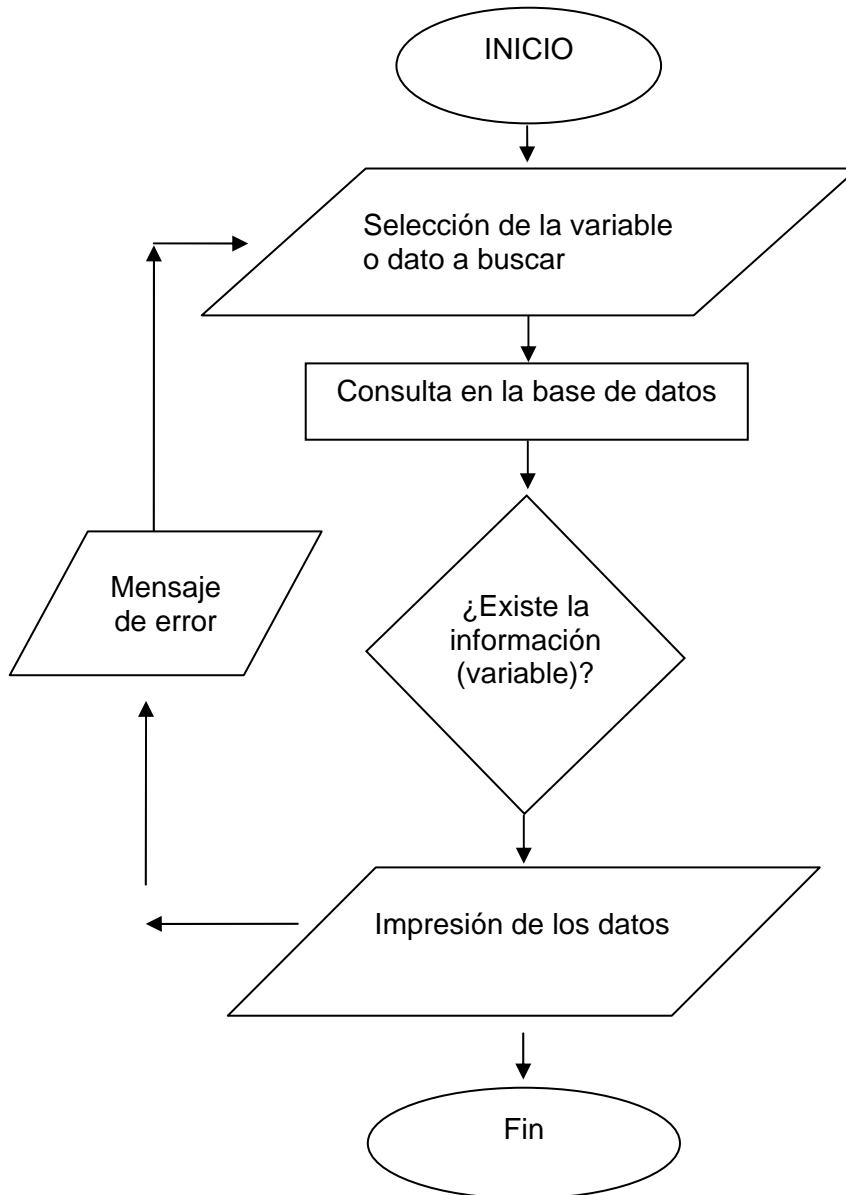


Fig. 1. Algoritmo para la consulta de las bases de datos

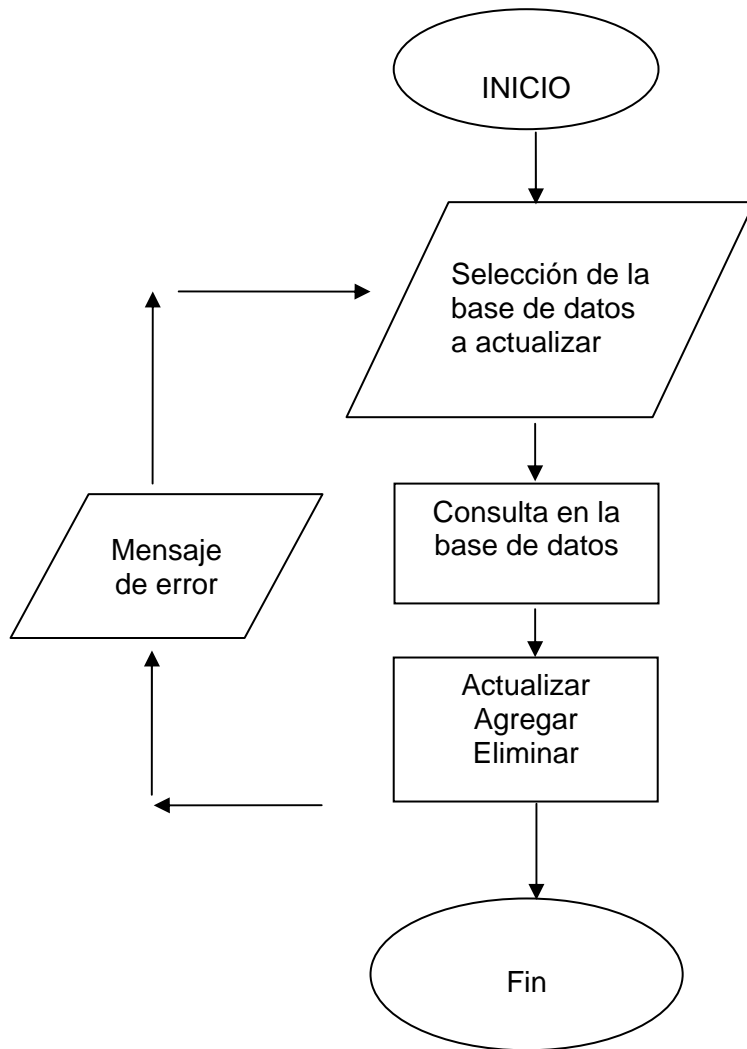


Fig. 2. Algoritmo para la actualización de las bases de datos

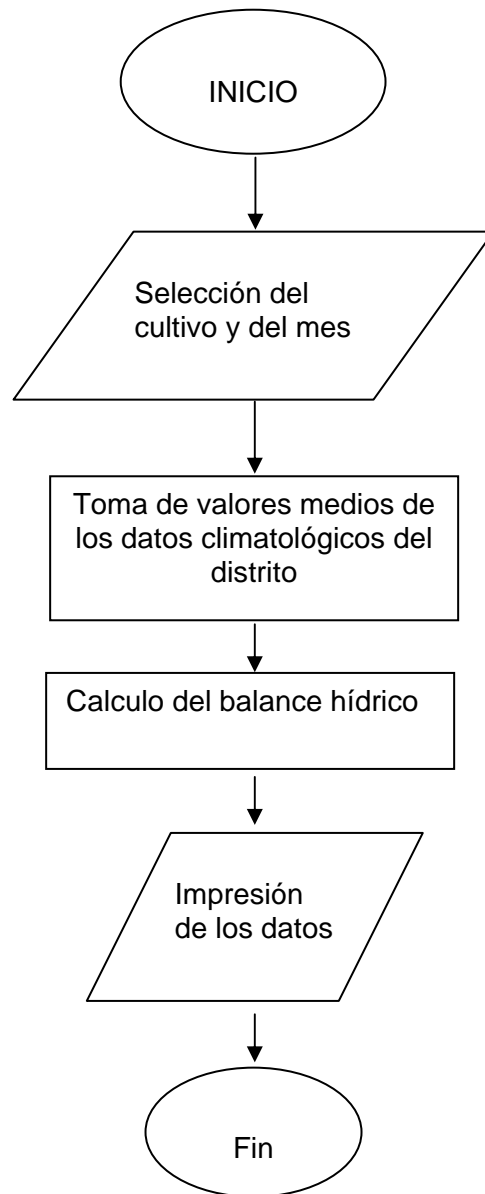


Fig. 3. Algoritmo para el cálculo de necesidades hídricas de los cultivos

6.3.1. Manual de usuario

Bienvenido al manual de usuario de MOBAYN 1.0. Este documento le ayudará en el manejo del programa para su uso en el planeamiento de su cultivo en los aspectos de requerimientos hídricos para diferentes épocas del año. Se ha querido que se encuentre a su disposición la información que se requiera para hacer su labor más productiva y eficiente, en un lenguaje muy sencillo para todo aquél que no está familiarizado con el manejo de programas en computador.

TEMAS

Instalación del programa MOBAYN 1.0

Empezar a trabajar con MOBAYN 1.0.

- Menú Bases de datos.
- Menú Actualización.
- Menú Cálculo.

Ejemplos de manejo de MOBAYN 1.0.

6.3.1.1 Instalación del programa MOBAYN 1.0.

Para empezar a disfrutar del programa, usted solo necesitará seguir las recomendaciones del asistente de instalación. Sin embargo, si no está familiarizado con los procedimientos de instalación de Windows, a continuación se mencionará como hacerlo.

Primero, inserte el CD que se entrega, en la unidad de disco correspondiente (en este caso, deberá contar con unidad lectora de CD como mínimo). Usted observará un cuadro en donde se le preguntará que es lo que usted desea hacer. En este caso, usted debe buscar la frase “Abrir carpeta para ver archivos” con la barra del lado derecho del cuadro (Fig. 4).

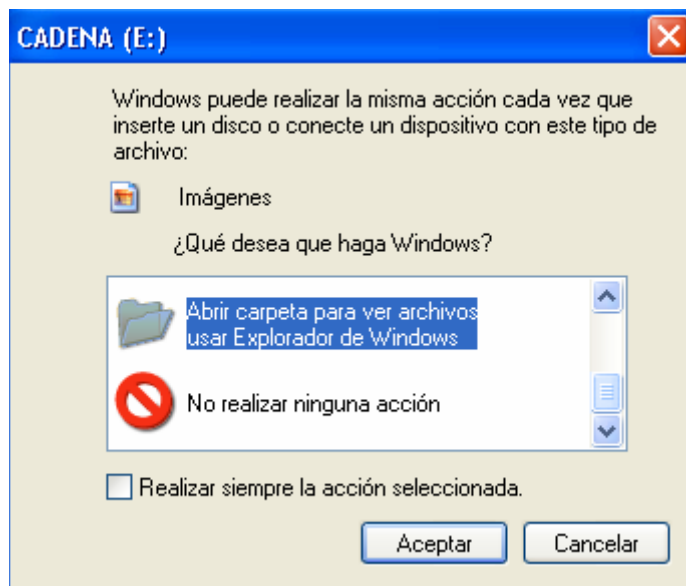


Fig. 4. Ventana de exploración de CD.

Para esto, debe ubicar el puntero o flecha del ratón que aparece en la pantalla y una vez ubicado sobre ésta, presionar el botón izquierdo del ratón (hacer click). Debe mantener presionado este botón y a la vez hacer un movimiento hacia abajo para desplazar la barra de esa ventana. Una vez usted encuentre la frase "Abrir carpeta para ver archivos", dirija la flecha del ratón hacia ésta hasta que esta quede por encima de la frase; luego, selecciónela con el ratón, presionando la tecla izquierda. Por último, dirija la flecha hacia la parte inferior izquierda del cuadro, ubíquese encima del botón en donde dice "Aceptar" y presione la tecla izquierda del ratón.

Al realizar el anterior procedimiento usted podrá ver un archivo que tiene la figura de un computador, denominado "setup" (Fig. 5); presione dos veces el botón izquierdo del ratón sobre este icono rápidamente.

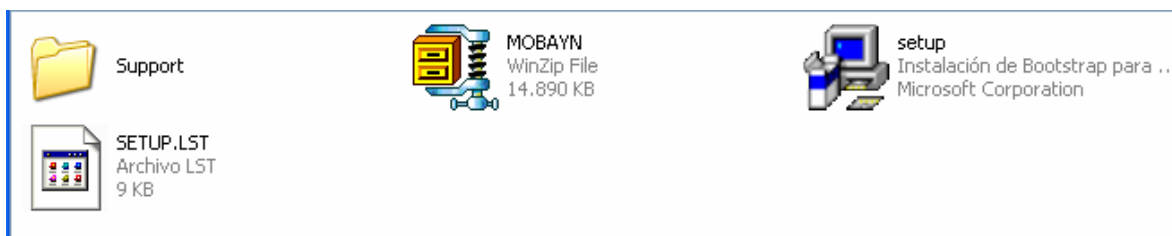


Fig. 5. Contenido del CD.

Una vez hecho esto, aparece una ventana en la cual se podrá ver el proceso de copia de los archivos de instalación de MOBAYN en el sistema operativo (Fig. 6); después, aparecerá la ventana de bienvenida para continuar instalando el programa. En esta ventana, con fondo azul, de un click con el botón izquierdo del mouse en el botón “Aceptar” (Fig. 7).

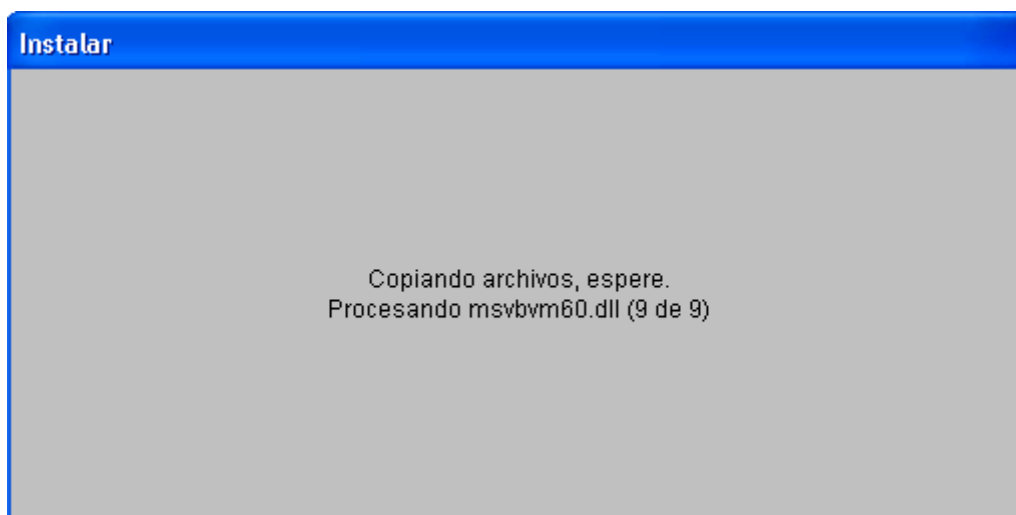


Fig. 6. Proceso de copiado de archivos para la instalación de MOBAYN.

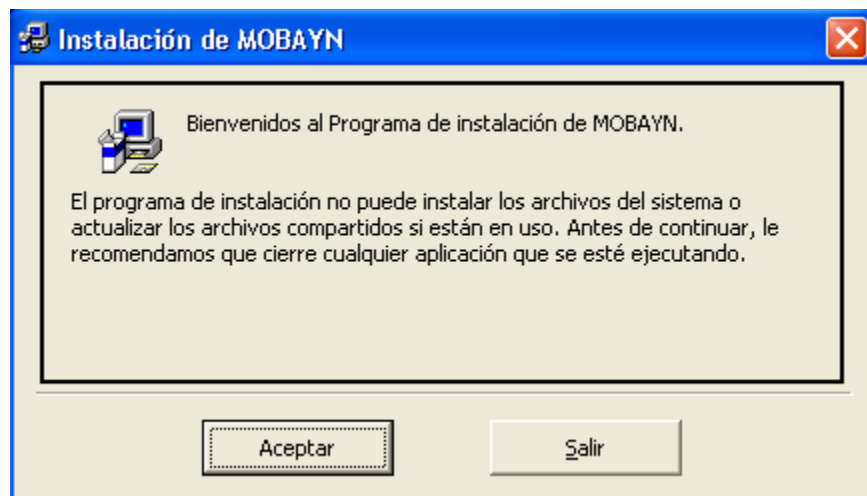


Fig. 7. Ventana de bienvenida del asistente de instalación

Luego aparece una ventana la cual contiene un botón de forma cuadrada con la figura de un computador; dé clic en este botón (Fig. 8). Luego aparece una ventana con dos botones, “Continuar” y “Cancelar”; dé un click sobre el botón “Continuar” (Fig. 9). Al realizar esto, seguirá el proceso de instalación automáticamente.

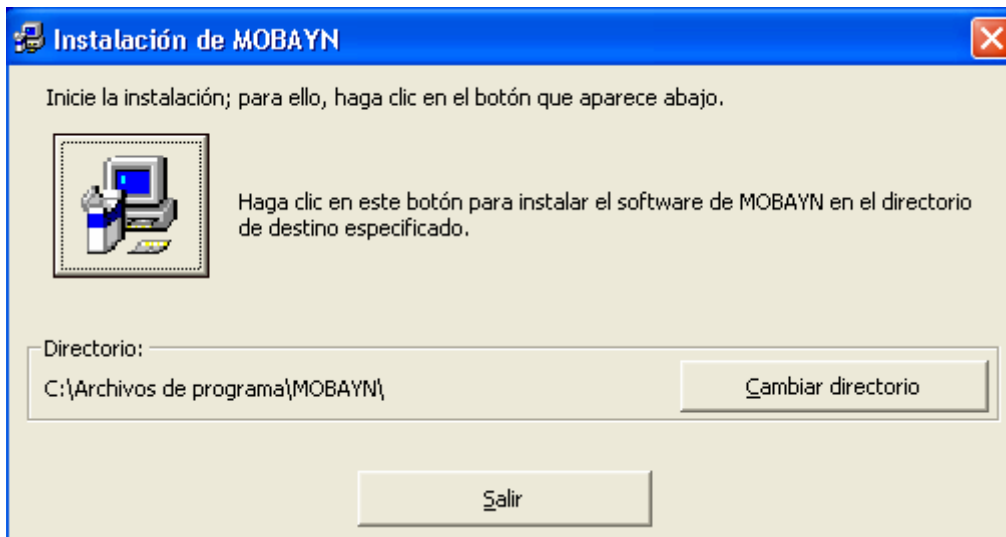


Fig. 8. Selección de la carpeta en donde se instalará la aplicación.

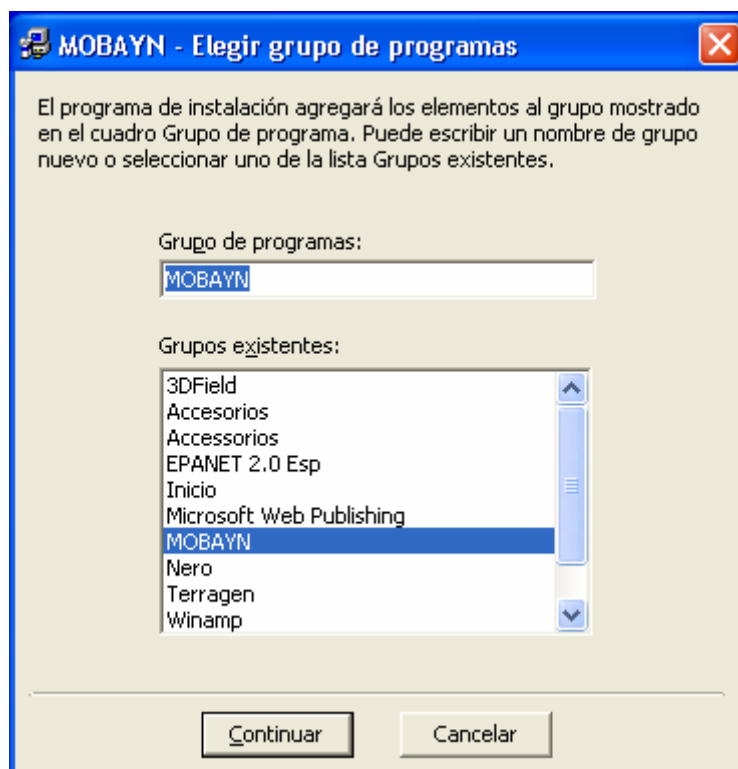


Fig. 9. Ubicación del acceso directo MOBAYN.exe.

Por último aparece una ventana que le indicará que la instalación se realizó correctamente; dé un click en "Aceptar".

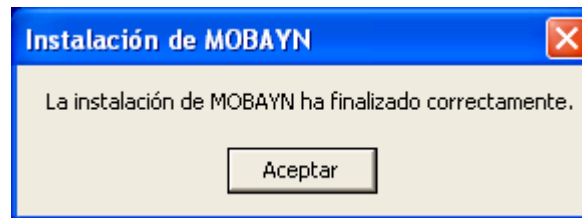


Fig. 10. Finalización del proceso de instalación

6.3.1.2 Empezar a trabajar con MOBAYN v. 1.0

Para comenzar, se debe ir a Inicio, todos los programas, MOBAYN, MOBAYN y presionamos el botón izquierdo del ratón.

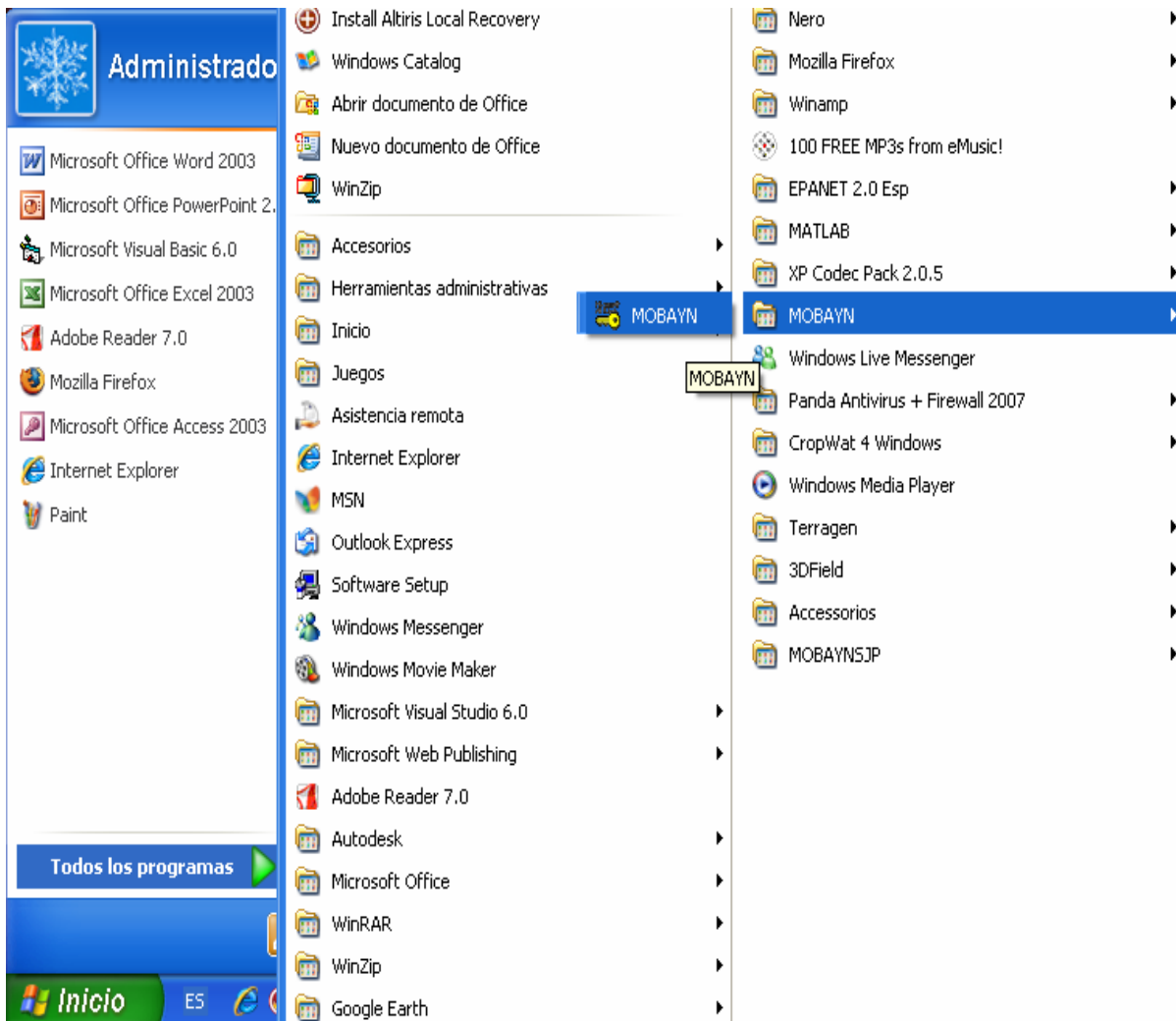


Fig. 11. Menú de acceso al programa

Luego, se selecciona el distrito de riego donde se quiere averiguar los datos y se presiona el botón “Ingresar”.



Fig. 12. Selección del distrito de riego

Al hacerlo, aparece la ventana del programa y se puede comenzar a trabajar.



Fig. 13. Ventana de inicio de MOBAYN

6.3.1.2.1. Menú Bases de datos

Esta opción le permite acceder a información relativa del distrito escogido (Fig. 14.). La información que posee es la de que actualmente se dispone. Consta de los siguientes submenús:

Hidroclimatológicas: En esta opción usted podrá consultar los datos de precipitación, brillo solar, velocidad del viento, humedad relativa y temperatura proporcionados por el IDEAM. Para acceder a esta opción, debe ubicar el puntero o flecha del ratón sobre la opción “Bases de datos”, luego presionar el botón izquierdo del ratón; allí se muestran las opciones del menú; se ubica el puntero del ratón encima de la primera opción y luego se presiona el botón izquierdo del Mouse (Fig. 15).

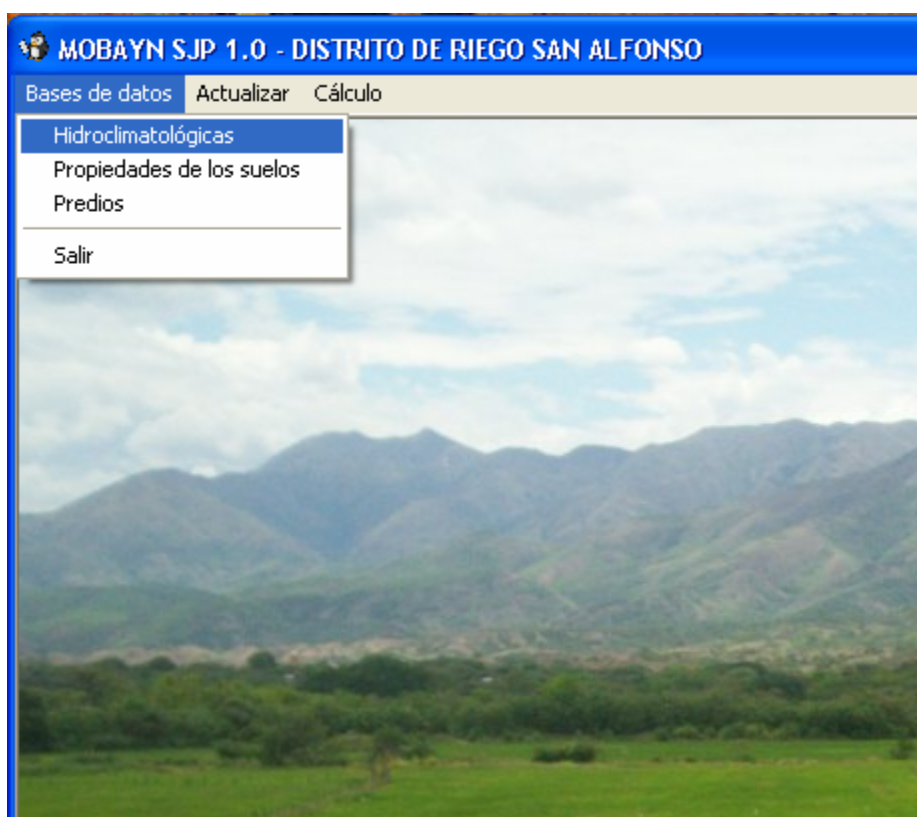


Fig. 14. Menú bases de datos.

Después de realizado esto, aparece el siguiente formulario (por efectos de espacio dentro del manual, se ha recortado la imagen):

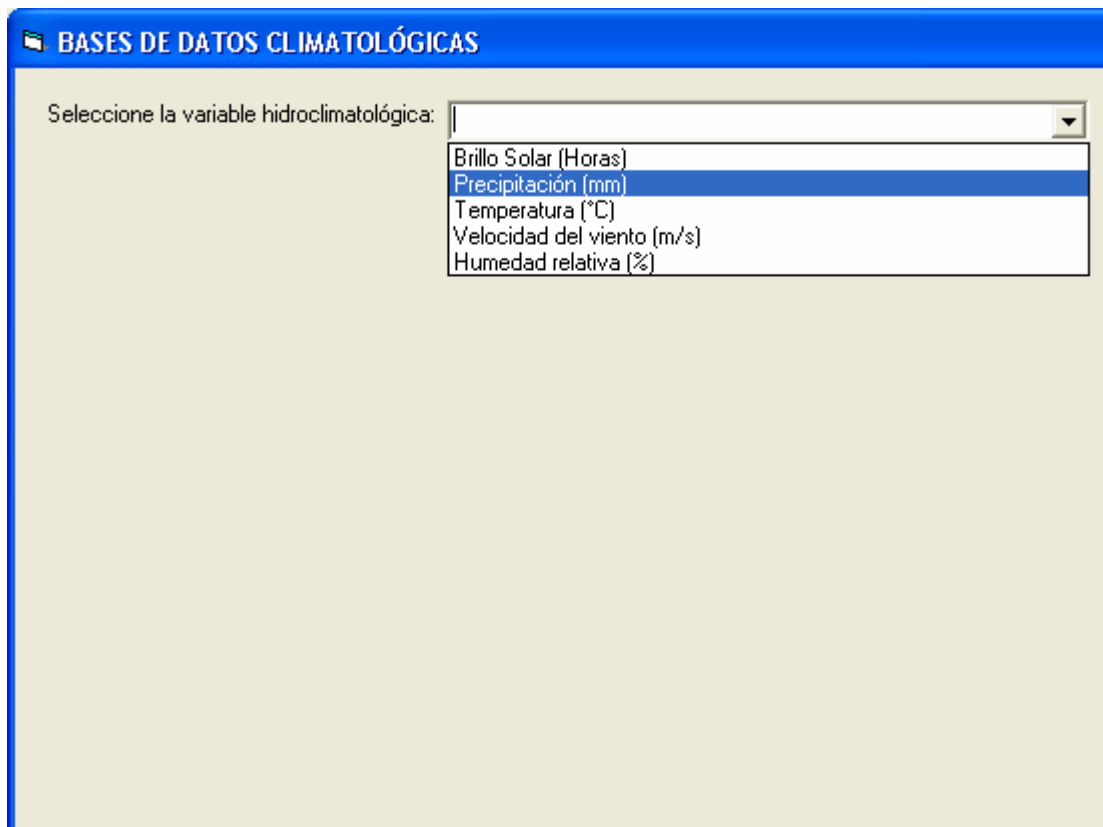


Fig. 15. Selección de la variable climatológica

En este cuadro se pide seleccionar la variable hidroclimatológica que se quiere conocer; para seleccionarla, se debe ubicar el puntero del ratón a la derecha del cuadro rectangular sobre el botón con la figura del triángulo negro, luego presionar el botón izquierdo del Mouse. Al hacerlo, se muestran las variables climatológicas a ser seleccionadas.

Una vez seleccionada la variable climatológica, aparecerá la base de datos respectiva, la cual contiene los datos mes a mes registrados por el IDEAM desde el año 1987 hasta el 2005. Los años 2006 y 2007 se estimaron a través de la distribución de probabilidad de Gumbel, utilizando los valores registrados (Fig. 16).

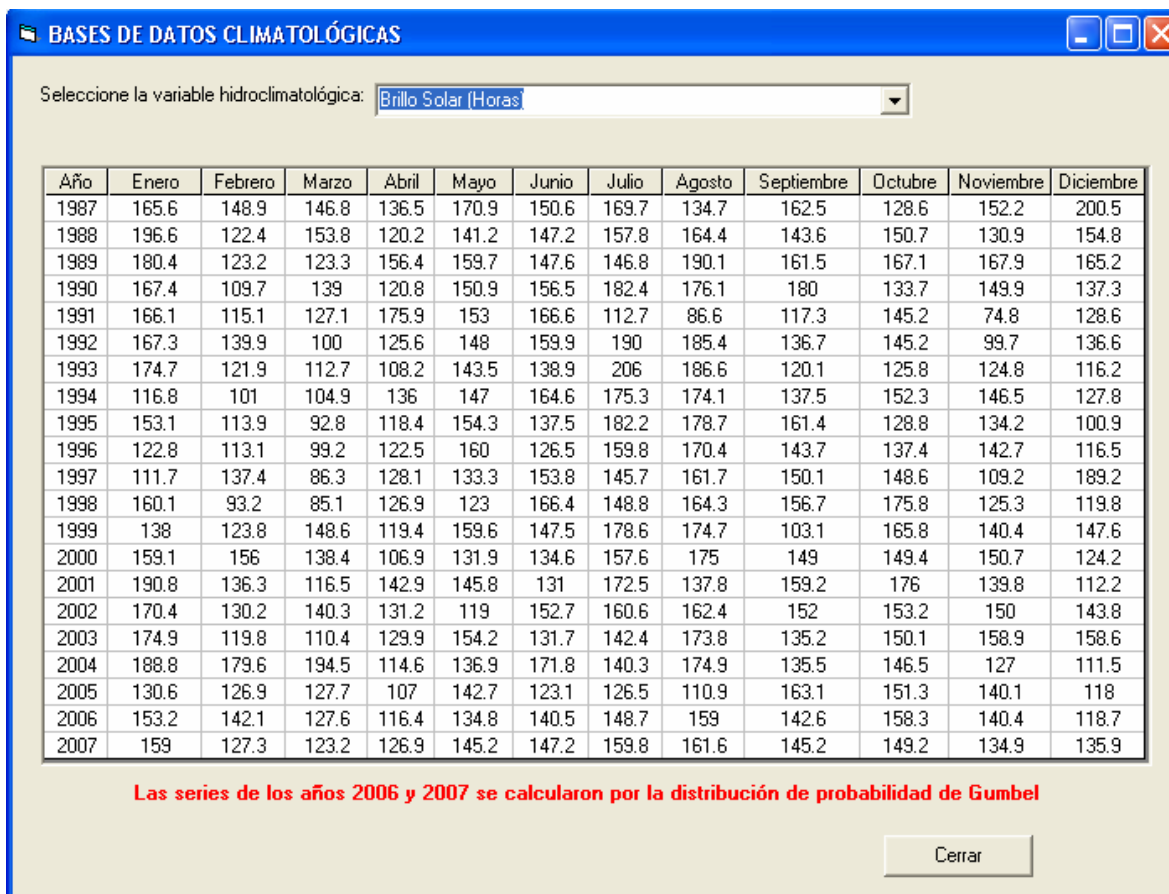


Fig. 16. Base de datos climatológica de brillo solar

Propiedades de los suelos: esta opción permite conocer las características físicas de los predios, cuyos valores utilizados son las medias conocidas de los rangos de cada suelo (textura, infiltración, porosidad, densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y conductividad hidráulica saturada). Para acceder a esta opción, debe ubicar el puntero o flecha del ratón sobre la opción “Bases de datos”, luego presionar el botón izquierdo del ratón; allí se muestran las opciones del menú; se ubica el puntero sobre “Propiedades de los suelos”, y se presiona el botón izquierdo del ratón (Fig.17).

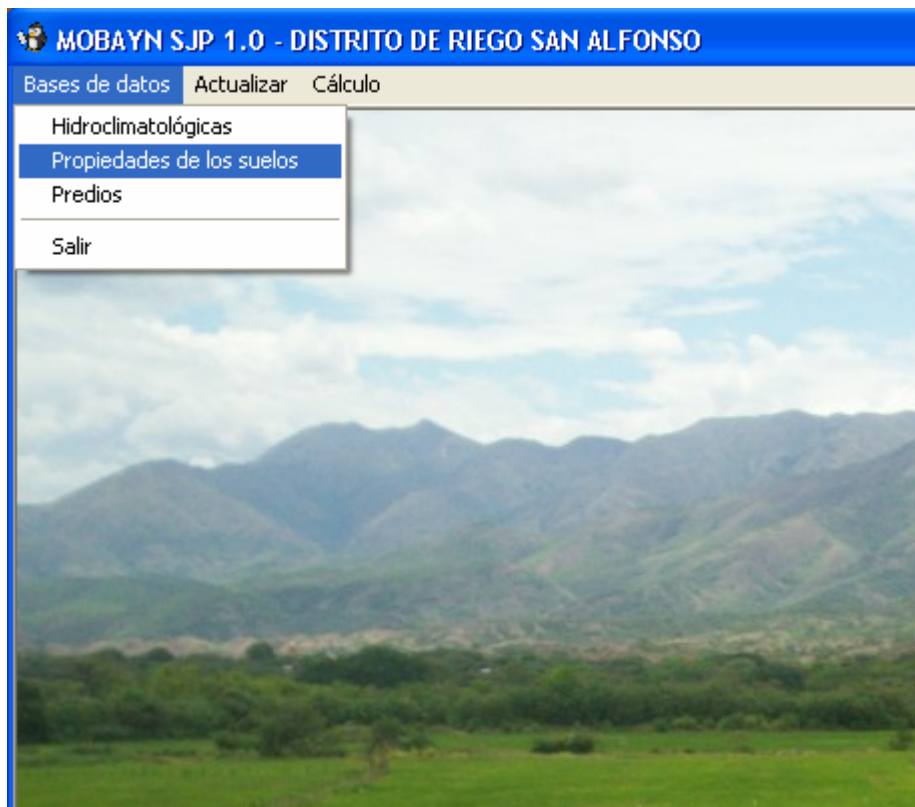


Fig. 17. Menú propiedades físicas de los suelos

Este cuadro de diálogo muestra un plano del distrito de riego seleccionado; para obtener datos sobre características de un predio en particular, se debe ubicar el puntero del ratón a la derecha del cuadro rectangular sobre el botón con la figura del triángulo negro, luego presionar el botón izquierdo del Mouse. Al hacerlo, se despliega la lista de los predios del distrito de riego seleccionado al inicio de la ejecución del programa. Como la lista es amplia, usted debe ubicar el puntero en los botones con flechas para dirigirse de arriba hacia abajo y buscar el predio que requiere por orden alfabético. Después de ubicado el predio, selecciónelo con el puntero, así como se han seleccionado las anteriores opciones mencionadas. Al hacer esto, el programa desplegará la información pertinente al predio

Predios: Este submenú le permite conocer la lista completa de los predios con las áreas sembradas por cada lote. Para acceder a esto, debe ubicar el puntero o flecha sobre la opción "Bases de datos", luego presionar el botón izquierdo del ratón; allí se muestran las opciones del menú; ubique el puntero del ratón sobre

“Predios”, y presione el botón izquierdo (Fig. 18).

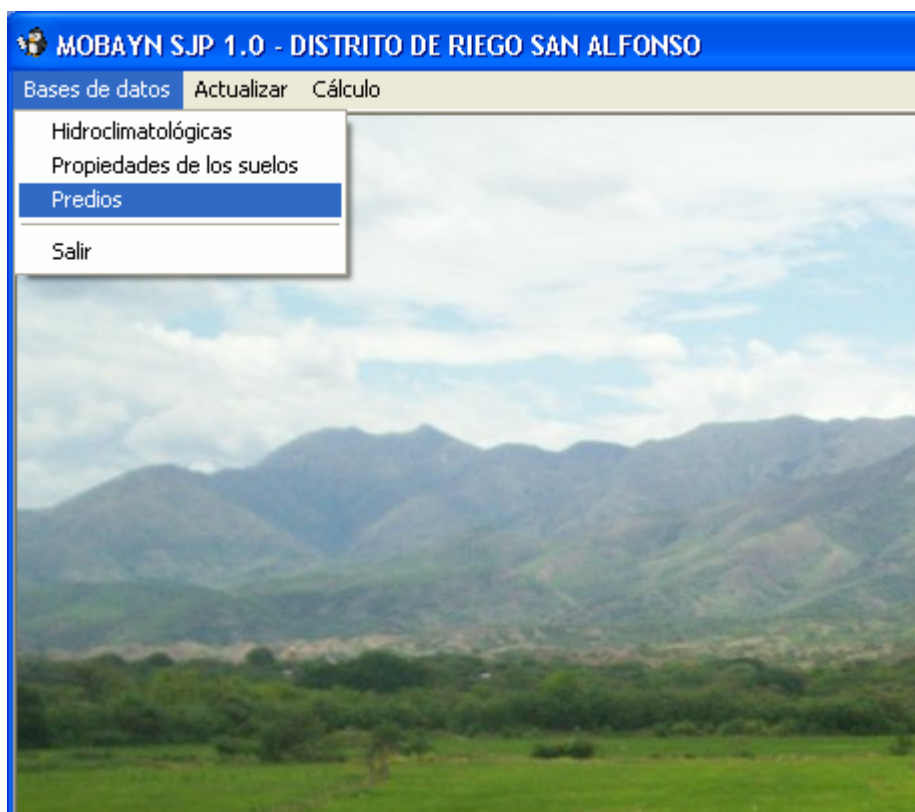


Fig. 18. Menú “Predios”

Al hacerlo, aparece un cuadro con la lista de los predios del distrito de riego (Fig. 19). Para ver todos los predios, debe desplazarse con las flechas hacia abajo las cuales se encuentran a la derecha del cuadro. También existe la posibilidad de imprimir la lista completa de todos los predios del distrito de riego; para ello, usted debe ubicar el puntero o flecha del ratón sobre el botón “Ver lista de impresión”, luego presionar el botón izquierdo sobre esta opción. Aparecerá la lista de los predios en la forma en que se van a imprimir (Fig. 20); luego, para continuar con el proceso, se dirige el puntero del Mouse sobre el botón con el símbolo de la impresora, y se oprime; se muestran las opciones de impresión del listado (Fig. 21). Este muestra los comandos “Todo”, “Página actual” y “Páginas”. Para imprimir, con el mouse presione el botón “Aceptar”.

Predio	Área sembrada (Ha)
EL MORRONGO	8.6
TABOR No. 1	4.6
TABOR No. 2	4.5
TABOR No. 2 (ORLANDO MEDINA CHARRY)	8.1
TABOR No. 3	4.1
EL REMOLINO	3.9
LA MARAVILLA	3.8
REMOLINO No. 2	4
REMOLINO No. 3	2.7
REMOLINO No. 4	2.7
LA VEGA	2.6
LA LABRANZA	8.5
LA GRANJA	9.7

Fig. 19. Listado de predios del distrito de riego respectivo

PREDIOS DEL DISTRITO DE RIEGO SAN ALFONSO

PREDIO: EL MORRONGO
 AREA SEMBRADA (Ha): 8.6

PREDIO: TABOR No. 1
 AREA SEMBRADA (Ha): 4.6

Páginas: 1

Fig. 20. Listado de predios para impresión

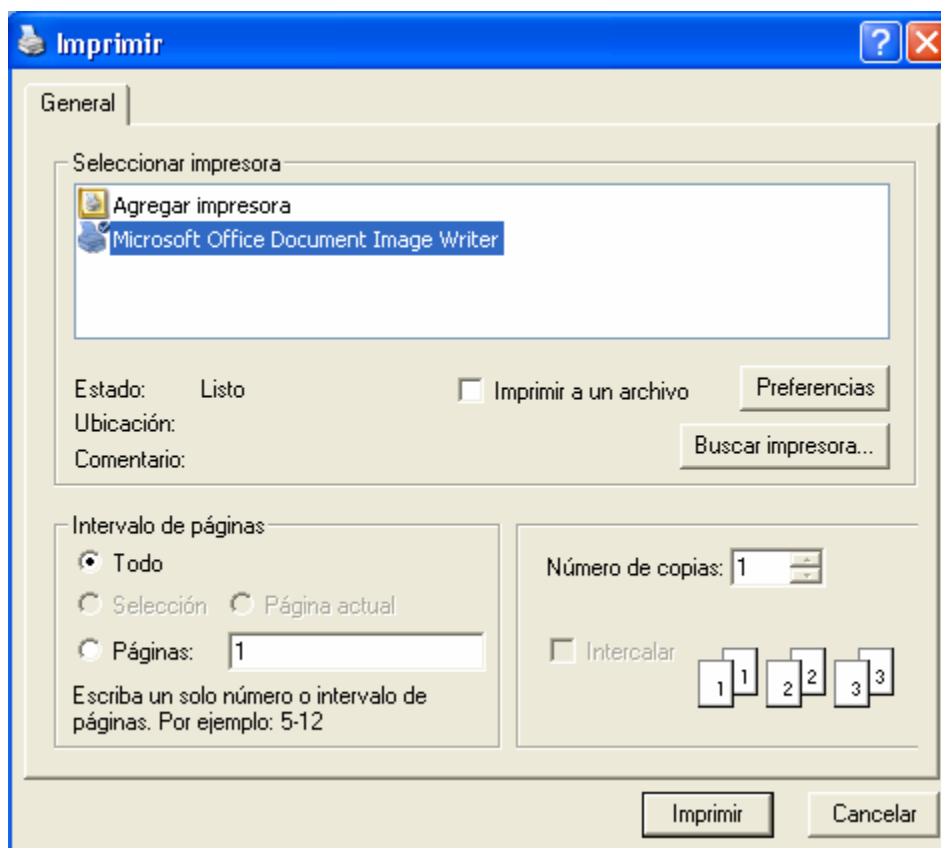


Fig. 21. Ventana de opciones de impresión

6.3.1.2.2. Menú actualizar.

Esta opción se encuentra ubicada seguidamente del menú “Bases de datos” (fig. 22). Con esta opción se pueden introducir datos nuevos de los distritos de riego, actualizar los datos existentes de coeficientes de cultivo, de las variables meteorológicas, de los lotes actuales y otras. Consta de las siguientes opciones:

Datos meteorológicos: con esta opción se puede acceder a las bases de datos de las variables que el programa utiliza para el cálculo de los requerimientos hídricos de la zona. Se subdivide, a su vez en las diferentes variables climatológicas utilizadas para el cálculo de los requerimientos hídricos. El formulario respectivo consta de los siguientes botones (ver fig. 23):

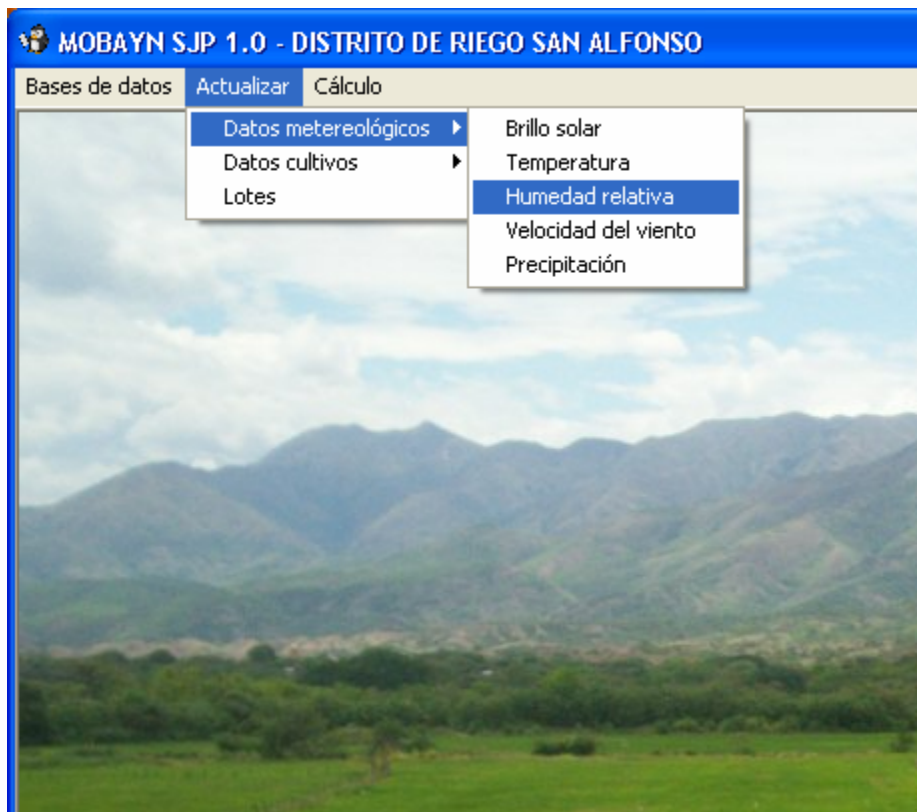


Fig. 22. Menú Actualizar, opción "Datos meteorológicos"

- Agregar: utilizado para introducir una nueva línea de datos para cada año.
- Actualizar: se requiere para poder ingresar los datos más recientes.
- Eliminar: elimina los registros actuales de los meses.
- Cerrar: cierra el formulario de actualización.

Se recomienda que el menú anterior solo se abra si es necesario modificar o agregar algún dato, puesto que la manipulación de estos puede conllevar a cálculos erróneos o falsos de los distritos de riego.

- Valores medios: para la variable meteorológica seleccionada en la opción "Datos meteorológicos", permite actualizar los valores medios mensuales multianuales de la zona (fig. 24). Los botones "Actualizar" y "Cerrar" funcionan de la misma manera que los anteriormente descritos del formulario de actualización principal.

VALORES MENSUALES DE HUMEDAD RELATIVA (%)							
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	
1987	58	54	60	63	65	53	
1988	60	60	53	68	64	60	
1989	71	69	76	69	69	62	
1990	65	72	62	71	69	54	
1991	70	63	73	70	69	66	
1992	68	66	65	73		63	
1993	78	72.5	77	82	84	72	
1994	74	75	76.9	80.6	77	66	
1995	72	69.2	79.4	83	77	70	
1996	81	68.5	82	85.4	74.9	72.5	
1997	78	67	69	87.9	74	66	
1998	61	58	66	76	74	65	
1999	73	78	78.2	78	71	72	
2000	69	72	75	79	78	68	
2001	67	58	73	65	67	61	
2002	63	66	75	79	65	68	
2003	59	56	66	71	64	65	
2004	70	67	63	78	75	60	
2005	69.4	61.1	74.3	80.1	65.9	75	
*							

Fig. 23. Formulario de actualización de variables climatológicas

VALORES MEDIOS MENSUALES DE HUMEDAD RELATIVA (%)							
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO
▶	74	74	75	75	74	68	66
*							

Fig. 24. Formulario de actualización de valores medios mensuales multianuales para la variable climatológica escogida

Datos cultivos (fig. 25): con esta opción, se puede acceder a los coeficientes de los cultivos para las etapas inicial, media y final de desarrollo. El formulario respectivo consta de los siguientes botones (fig. 26):

- Actualizar: se utiliza para poder ingresar el o los nuevos valores de coeficientes de cultivo.
- Arroz: Permite acceder al formulario de actualización del arroz.
- Maíz: Permite acceder al formulario de actualización del maíz.
- Sorgo: Permite acceder al formulario de actualización del sorgo.
- Tabaco: Permite acceder al formulario de actualización del tabaco.
- Cerrar: Cierra la ventana de actualización.

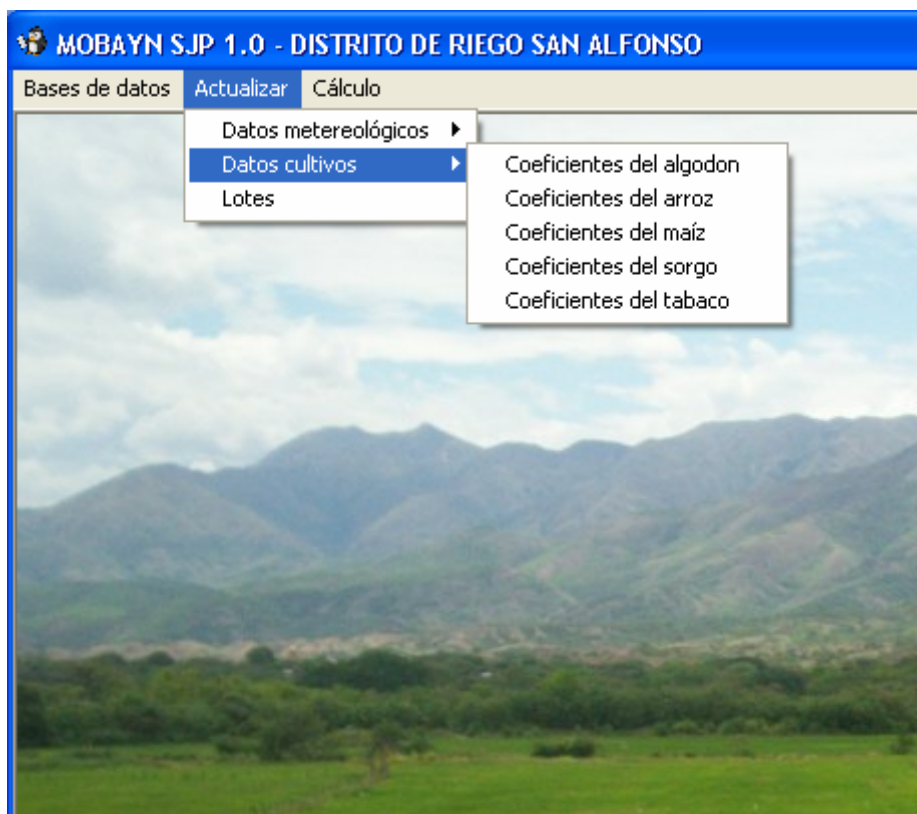


Fig. 25. Menú Actualizar, opción "Datos cultivos"

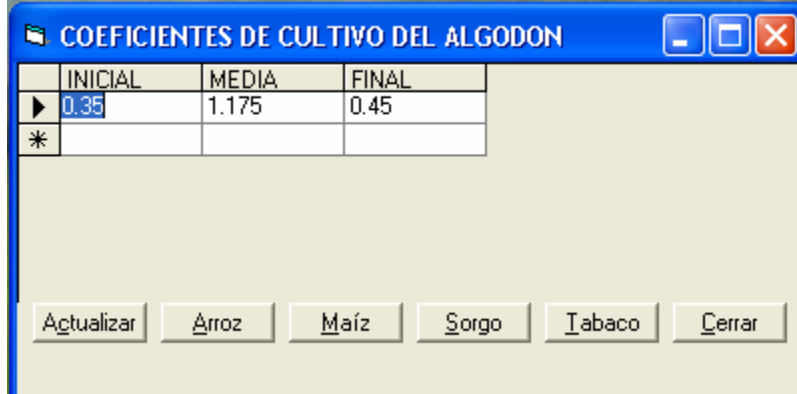


Fig. 26. Formulario de actualización de coeficientes de cultivo

Lotes: con la opción "Lotes" usted puede ingresar datos nuevos para los predios que actualmente tiene el respectivo distrito, o ingresar nuevos predios (fig. 27 y 28)



Fig. 27. Menú Actualizar, opción "Lotes"

PREDIOS SAN ALFONSO						
PREDIO	AREA SEMBRADA	No DE ZONA	TEXTURA	INFILTRACION	PC	
EL MORRONGO	8,6	3	Franca	14	46	
TABOR No. 1	4,6	3	Franca	14	46	
TABOR No. 2	4,5	3	Franca	14	46	
TABOR No. 2 (ORLANDO)	8,1	3	Franca	14	46	
TABOR No. 3	4,1	2	Franco Arenosa	25	43	
EL REMOLINO	3,9	3	Franca	14	46	
LA MARAVILLA	3,8	3	Franca	14	46	
REMOLINO No. 2	4	3	Franca	14	46	
REMOLINO No. 3	2,7	3	Franca	14	46	
REMOLINO No. 4	2,7	3	Franca	14	46	
LA VEGA	2,6	3	Franca	14	46	
LA LABRANZA	8,5	3	Franca	14	46	
LA GRANJA	9,7	3	Franca	14	46	
EL CAJUCHE	3,8	3	Franca	14	46	
EL CAJUCHE No.1	4,17	3	Franca	14	46	
EL CAJUCHE No.2	4,99	3	Franca	14	46	
EL CAJUCHE No.3	5,61	3	Franca	14	46	
EL CAJUCHE No.4	4,4	3	Franca	14	46	
EL CAJUCHE No.5	4,52	3	Franca	14	46	
EL CAJUCHE No.6	1,64	3	Franca	14	46	
ARCINIEGAS	5,42	3	Franca	14	46	
LAS ARCINIEGAS	4,23	2	Franco Arenosa	25	43	
LAS ARCINIEGAS No.1	3,85	3	Franca	14	46	
LA MARAVILLA (LOTE)	10,69	3	Franca	14	46	
LA MARAVILLA (LOTE)	4,19	2	Franco Arenosa	25	43	
EL CHIRCAL	16,64	3	Franca	14	46	
LA CLIMITAC	5,54	3	Franca	14	46	

Fig. 28. Formulario de actualización de lotes

6.3.1.2.3. Menú Cálculo

Esta opción se encuentra ubicada seguidamente del menú "Actualizar". Con esta opción, se tiene la posibilidad de observar la distribución de la lluvia durante un periodo determinado de siembra para los cultivos que se van a sembrar (tabaco, sorgo, algodón, maíz y arroz). Consta de los siguientes submenús:

Balance Hídrico: Aquí se puede escoger el tipo de cultivo a sembrar y obtener el valor medio multianual de precipitación en el periodo seleccionado para el desarrollo del cultivo (Fig. 29).



Fig. 29. Menú Cálculo

Para acceder a esta opción, debe ubicar el puntero o flecha del ratón sobre la opción "Cálculo", luego presionar el botón izquierdo; allí se muestran las opciones del menú; se ubica el puntero del ratón sobre "Balance hídrico", y se oprime el botón izquierdo del ratón. El formulario respectivo consta de lo siguiente (Fig. 30):

- Cajón de chequeo "Cultivo": Aquí se selecciona el cultivo el cual se planea sembrar durante un periodo de tiempo determinado.
- Cajón de chequeo "Mes de siembra": Aquí se selecciona el mes durante el cual se sembrará el cultivo.

- Cajón de chequeo “Lote”: Aquí se selecciona el lote o predio en el cual se cultivará.

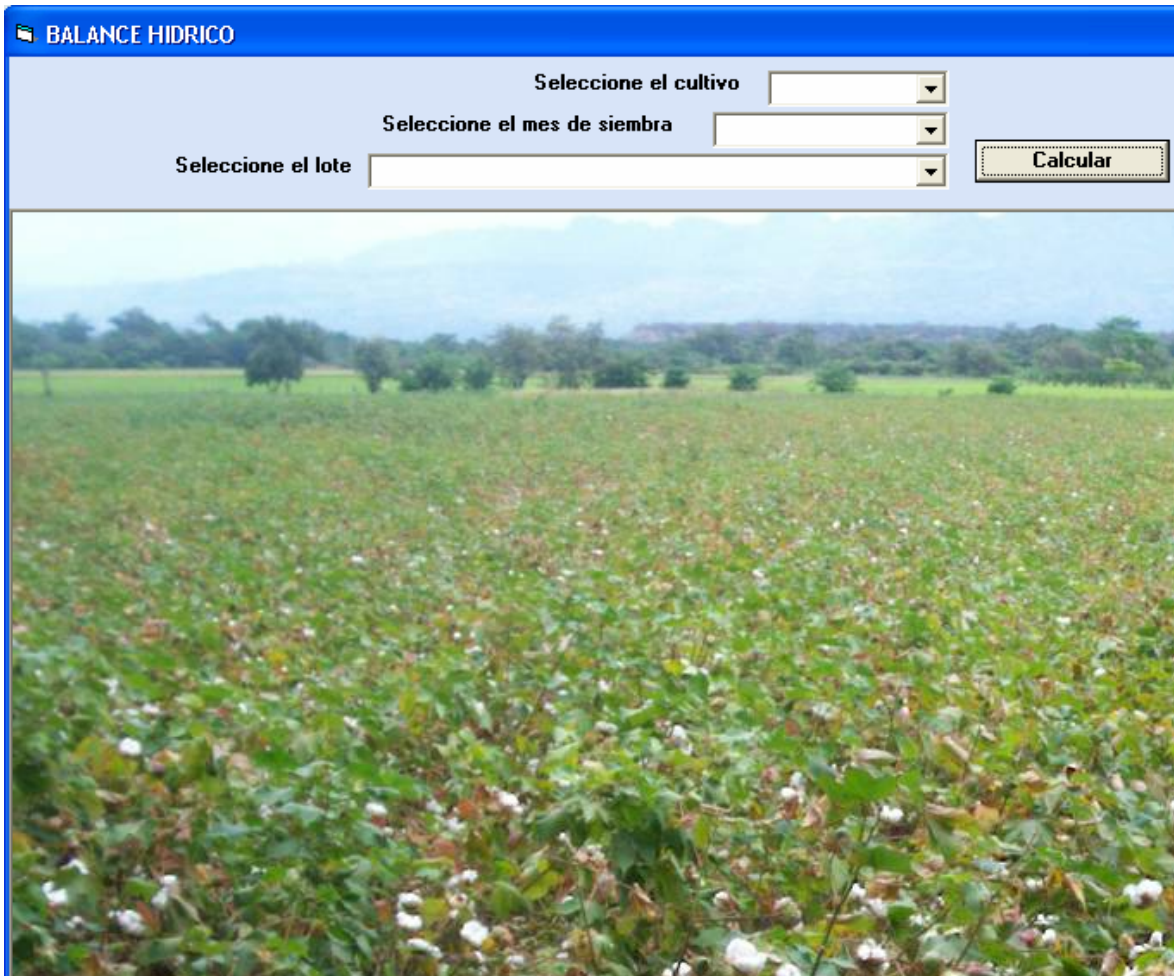


Fig. 30. Formulario para cálculo de balance de Precipitación Vs. Evapotranspiración

Después de realizado esto, el programa despliega la información referente a la cantidad de lluvia promedio mensual, la cantidad de agua que se pierde por evapotranspiración y la cantidad o la insuficiencia de agua que podría presentarse en los meses de desarrollo del cultivo. Además, los resultados se muestran gráficamente a través de barras que permiten observar el comportamiento de la precipitación vs. la evapotranspiración potencial y la distribución de la precipitación vs la evapotranspiración del cultivo (Fig. 31 y 32).

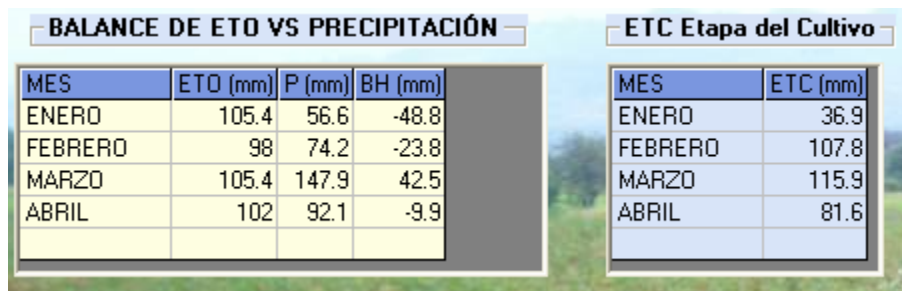


Fig. 31. Cálculo de balance de Precipitación Vs. Evapotranspiración

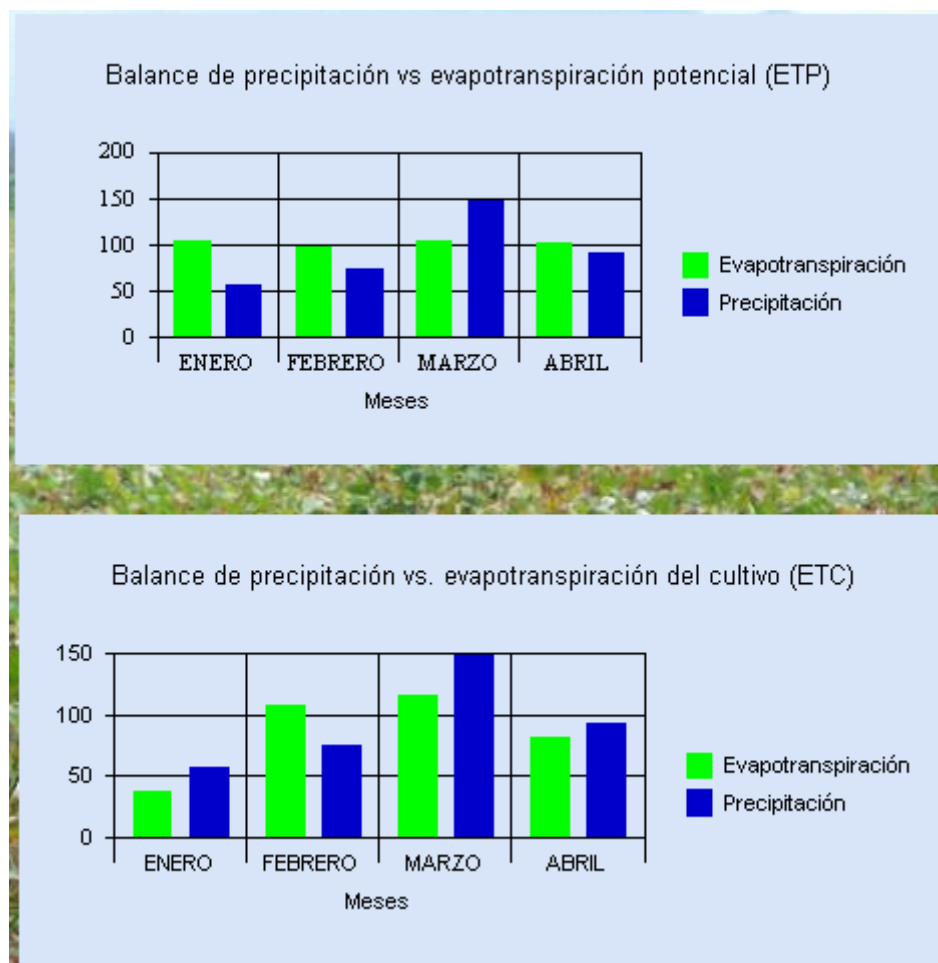


Fig. 32. Balance gráfico de Precipitación Vs. Evapotranspiración

Complementos: Con esta opción, se pueden consultar sugerencias para el diseño de riego por superficie, en la modalidad de melgas (piscinas) y surcos (Fig. 33).

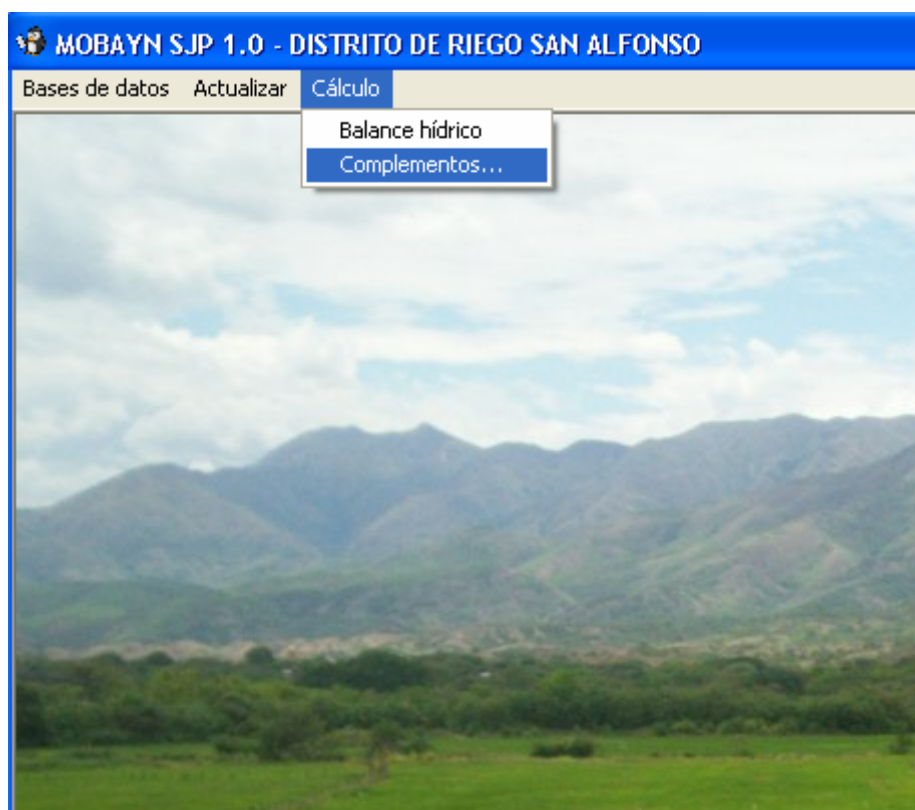


Fig. 33. Menú Complementos.

Si se desea acceder a esta opción, debe ubicar el puntero o flecha del ratón sobre la opción "Cálculo", luego presionar el botón izquierdo; allí se muestran las opciones del menú; se ubica el puntero del ratón sobre "Complementos..", y se oprime el botón izquierdo del ratón. El formulario respectivo consta de lo siguiente:

- Cajón de chequeo "Cultivo": Es el primer elemento del formulario que es visible, el cual permite seleccionar el cultivo que se desea regar, sea por surco o por melga (piscina). Dependiendo del tipo de cultivo, el programa mostrará los valores respectivos de lámina de agua y de pendiente con los cuales se obtienen las sugerencias de diseño (Fig. 34).

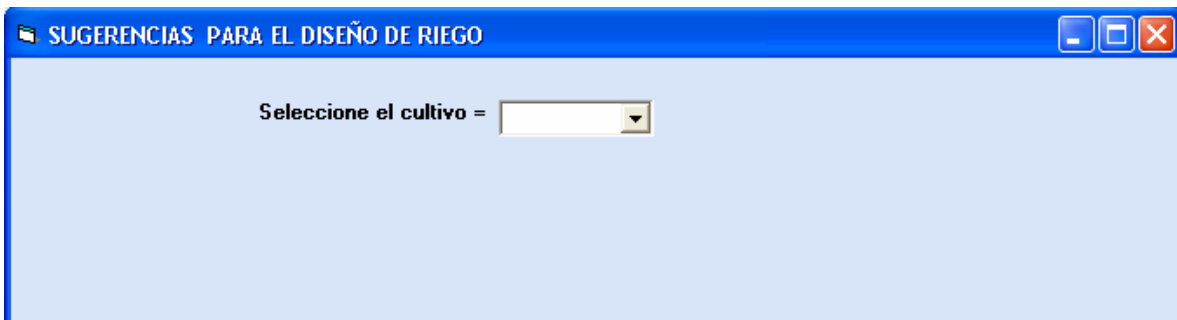


Fig. 34. Presentación inicial del formulario de sugerencias para el diseño del riego por superficie.

Cajón de texto "Área a sembrar": Se utiliza para establecer la cantidad de agua que se necesitará para el riego dependiendo de la lámina seleccionada. Este elemento permanece oculto hasta el momento en que se selecciona el cultivo (Fig. 35).

Cajón de chequeo "Pendiente": Tiene como fin sugerir las pendientes de diseño según el tipo de cultivo (Fig. 35).

Cajón de chequeo "Lámina de agua": Como su nombre lo indica, sugiere cantidades de agua para el diseño del sistema de riego, expresadas en mm (Fig. 35).

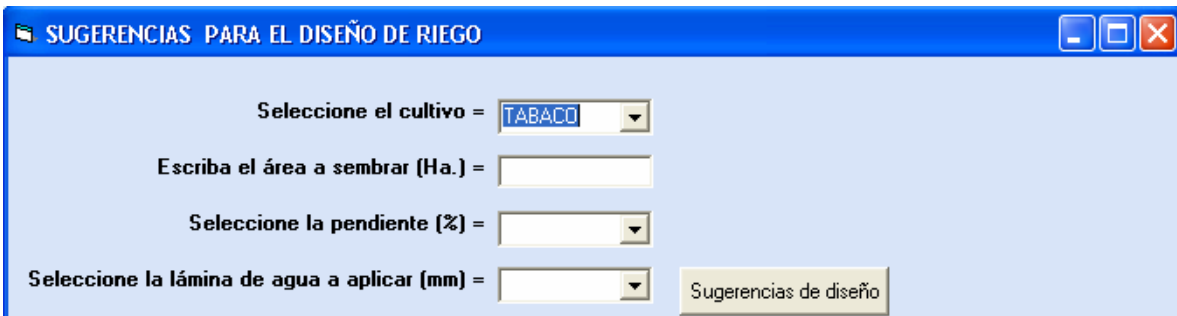


Fig. 35. Elementos restantes del formulario.

Como se mencionó anteriormente, el programa mostrará los valores sugeridos para la pendiente, según el tipo de cultivo. Esto se debe a que el sistema de riego empleado para cada cual es diferente; en este caso, el agua suministrada al arroz se realiza a través del riego por melga o piscina, como se le conoce más comúnmente, mientras que para el tabaco, sorgo, maíz y algodón se utiliza el riego por surco (figs. 36 y 37).

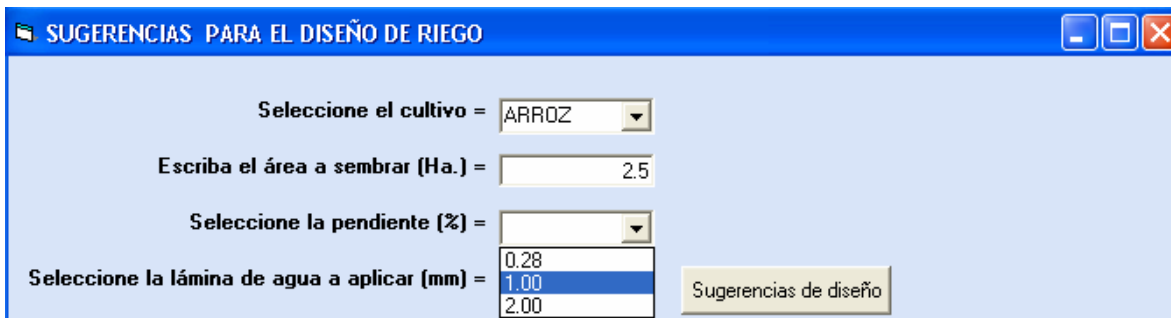


Fig. 36. Pendientes sugeridas para el diseño del sistema de riego para arroz.

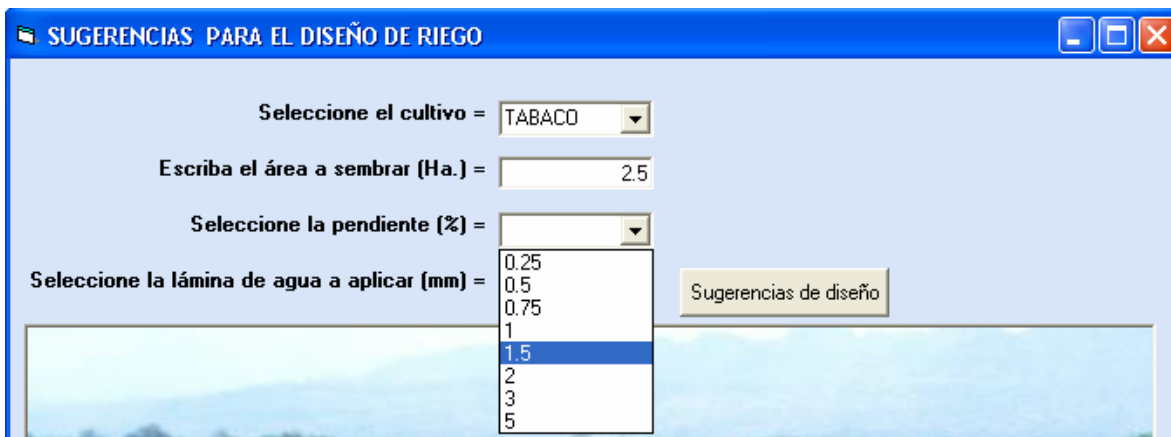


Fig. 37. Pendientes sugeridas para el diseño del riego de los demás cultivos.

6.3.1.3 Ejemplos de manejo de MOBAYN 1.0

6.3.1.3.1 Para calcular requerimientos hídricos

Supóngase que se va a calcular los requerimientos hídricos para el cultivo del maíz a partir del mes de enero. Entonces, se dirige al menú "Cálculo", y se oprime un click en "Balance hídrico". Luego, se selecciona "Maíz" en el cajón de selección del cultivo, de igual manera se escoge "Enero" en el cajón del mes de siembra y el lote del usuario en donde se proyecta cultivar, seleccionado para este caso "El Morrongo" en el cajón de selección del lote (Figs. 38, 39 y 40). Después, dé un click en el botón "Balance hídrico".

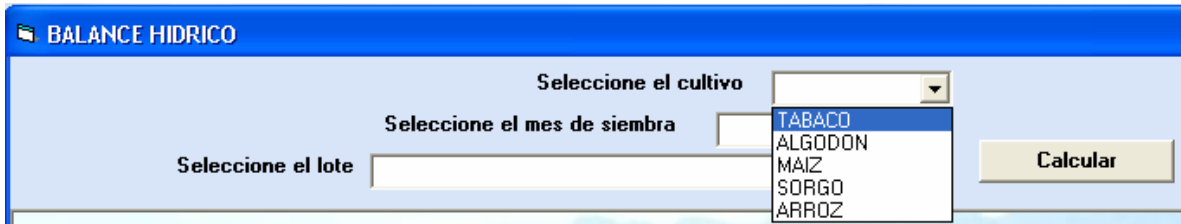


Fig. 38. Selección del cultivo.

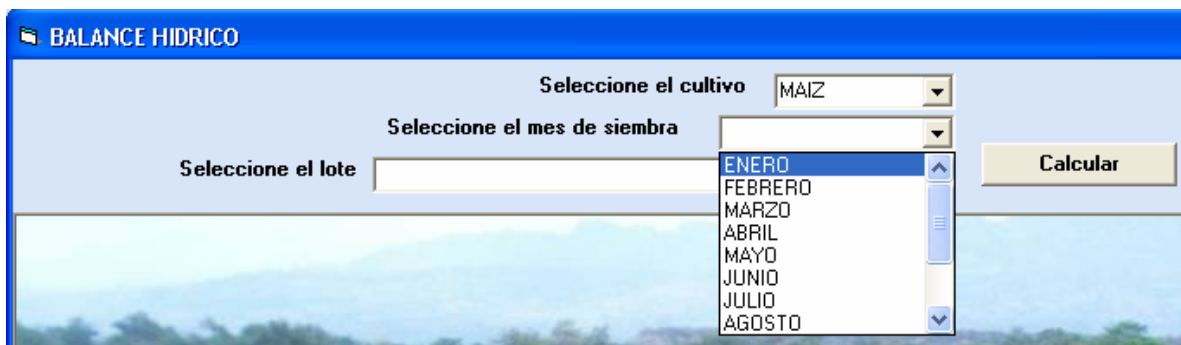


Fig. 39. Selección del mes de siembra.

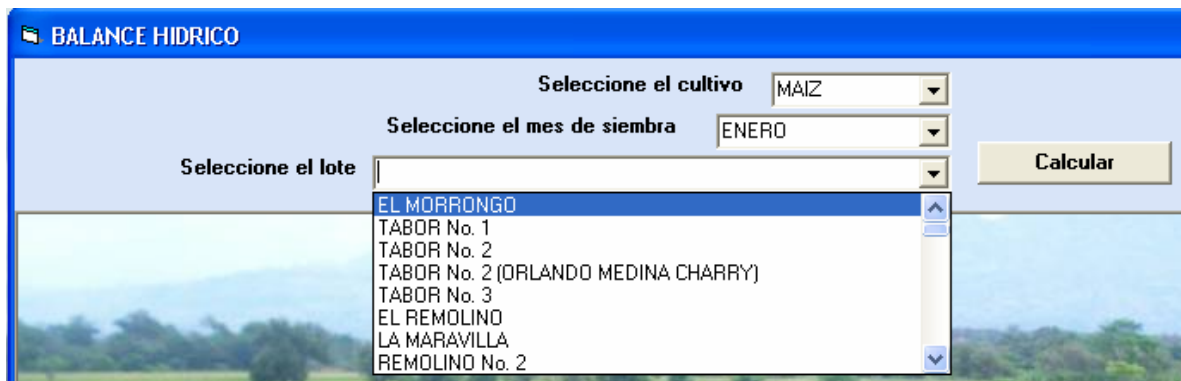


Fig. 40. Selección del lote.

Al hacerlo aparecerá la información relativa al lote de siembra, la información sobre la cantidad de lluvia que en promedio puede caer en los meses de siembra del cultivo, la cantidad de agua que se evapotranspira por parte del cultivo durante los meses de desarrollo y la cantidad de agua requerida en cada mes (Fig. 41). En el caso del ejemplo, para el mes de enero, la ETO, es decir, la máxima cantidad de agua que puede utilizar en sus procesos fisiológicos es de 105.4 mm, lo que

quiere decir que durante todo el mes en promedio las plantas utilizan por metro cuadrado 105.4 litros de agua y como la cantidad de lluvia promedio en el mes es de 56.6 mm, es decir, 56.6 litros de agua, se observa que en el mes de enero la lluvia no alcanza a cubrir las necesidades de agua que se requieren en la zona (es menester aclarar que esta información está basada en los valores con que cuenta la base de datos del programa, por lo que estos resultados podrían variar en un futuro al actualizarse estos).

MES	ETD (mm)	P (mm)	BH (mm)	MES	ETC (mm)
ENERO	105,4	56,6	-48,8	ENERO	36,9
FEBRERO	98	74,2	-23,8	FEBRERO	110,2
MARZO	105,4	147,9	42,5	MARZO	118,6
ABRIL	102	92,1	-9,9	ABRIL	48,4

Convenciones	
ETD=	Máxima cantidad de agua que podría perder un cultivo
P=	Cantidad promedio de lluvia en el mes
BH=	$P - ETD$ (Precipitación menos Evapotranspiración)
ETC =	Máxima cantidad de agua que realmente pierde el cultivo

Fig. 41. Resultados de la modelación.

Se puede observar que existen unos valores determinados para cada etapa del cultivo, según la cantidad de agua que puede utilizar la planta para su óptimo desarrollo por mes; en este caso, se tienen los valores de 36.9 mm, 107.8 mm, 115.9 mm y 81.6 mm para los meses de Enero, Febrero, Marzo y Abril respectivamente lo cual, comparándolo con la cantidad de agua que en promedio cae en el mes, indica que existe la posibilidad de sembrar en el mes de enero, dado que las necesidades de agua en este mes son bajas y la precipitación es suficiente; para el mes de febrero debe aplicarse riego, dado que la precipitación no satisface los requerimientos de la planta en esta etapa y para los meses de marzo y abril no se requiere de riego (es de aclarar que estos valores no son suficientemente exactos, ya que dependen del valor de coeficiente de cultivo encontrado para cada variedad sembrada). Nótese además que estos valores también son observables gráficamente (Fig. 42 y 43)

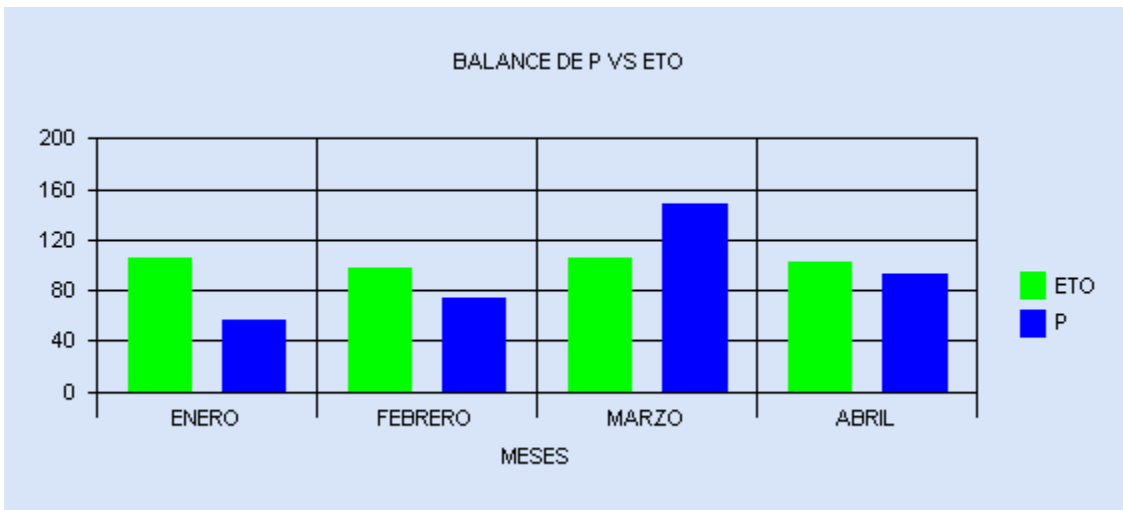


Fig. 42. Resultados de precipitación vs evapotranspiración potencial

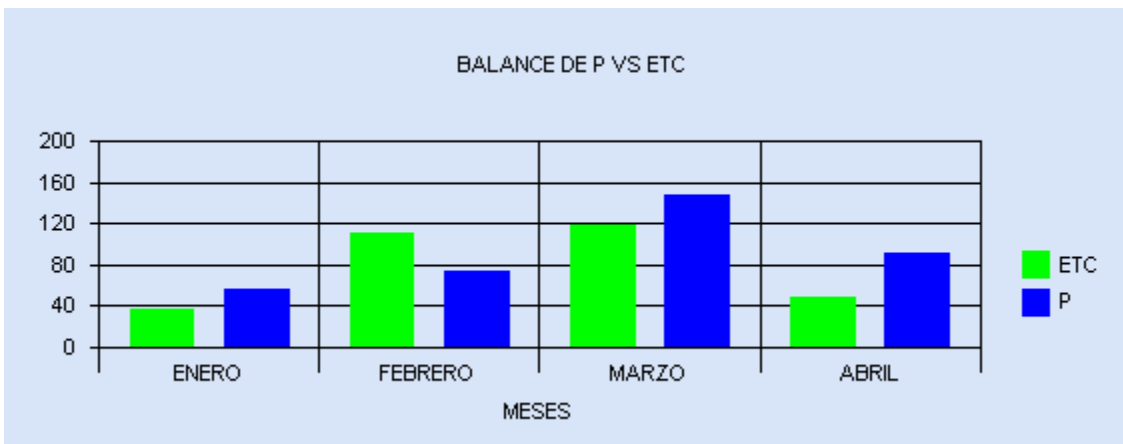


Fig. 43. Resultados de precipitación vs evapotranspiración del cultivo

Finalmente se muestran las características generales del predio en el cual se quiere cultivar, en este caso, el área sembrada es de 8.6 Ha, la textura del lote es franca, posee una velocidad de infiltración de 14 mm/hora, la porosidad del suelo es del 46%, la densidad aparente es de 1,42 gramos /centímetro cúbico, la capacidad de campo es del 22%, el punto de marchitez permanente es del 10% y la conductividad hidráulica saturada es de 13.75 centímetros/hora (Fig. 44.).

Características generales del predio	
Área Sembrada (Ha) =	8.6
Textura =	Franca
Infiltración (mm/hr) =	14
Porosidad (%) =	46
Densidad aparente (gr/cm ³) =	1.42
Capacidad de campo (%) =	22
Punto de marchitez permanente (%) =	10
Conductividad hidráulica (cm/hr) =	13.75

Fig. 44. Datos prediales

Si se quiere calcular los requerimientos hídricos del cultivo del algodón después de calcular los requerimientos hídricos del maíz, entonces se debe seleccionar "Algodón" en el cajón de selección de cultivo. Obsérvese que lo único que cambia son los requerimientos hídricos del cultivo y no los de la zona en la cual se encuentra. Esto es debido a que las condiciones de temperatura, precipitación, humedad relativa, brillo solar y velocidad del viento se consideran constantes para la zona, mientras que los requerimientos del cultivo cambian al tener valores de coeficientes diferentes para cada uno. Si es del caso, algunos valores no se modificarán cuando los coeficientes de cultivo sean iguales entre plantas. Si quisiera cambiar el lote de siembra del respectivo cultivo, entonces solamente seleccione con el ratón un nuevo lote. Al hacerlo, aparecerán nuevas características generales de la zona de siembra (para el caso actual, no se cuenta con datos investigados de cada lote, por lo que muchos de los valores de la base de datos del programa aparecen iguales. Sin embargo, en la medida en que las características de cada lote puedan ser investigadas, se podrá cumplir con lo último mencionado antes de esta nota aclaratoria).

6.3.1.3.2. Para obtener las sugerencias de diseño del riego

Si usted desea conocer las sugerencias del programa para el diseño de melgas o surcos, deberá hacer lo siguiente: ubique la flecha del mouse sobre el menú "Cálculo" y presione el botón izquierdo; allí observará las opciones del menú. Después, seleccione la opción "Complementos..." con el mouse (Fig. 45.). Hecho esto, aparecerá el formulario respectivo. En este ejemplo se seleccionará en el cajón de cultivo "TABACO" (Fig. 46.)



Fig. 45. Selección de la opción "Complementos"

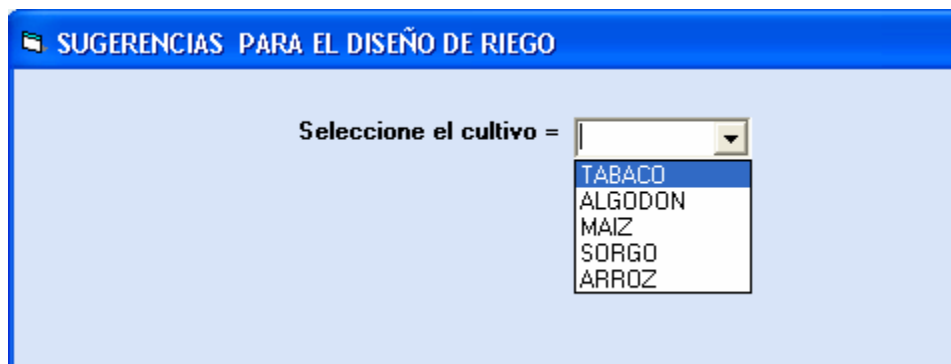


Fig. 46. Selección del cultivo "TABACO"

Al realizar lo anterior, aparecerán los demás elementos del formulario; se escribirá en el cajón de texto "Área a sembrar" el valor de 2.5, en el cajón de chequeo "Pendiente" se seleccionará el valor de 1.5 y en el cajón de chequeo "lámina de agua" se seleccionara el valor de 50 (Ver fig. 47.)

SUGERENCIAS PARA EL DISEÑO DE RIEGO

Seleccione el cultivo = TABACO

Escriba el área a sembrar (Ha.) = 2.5

Seleccione la pendiente (%) = 1.5

Seleccione la lámina de agua a aplicar (mm) = 50

Sugerencias de diseño

Fig. 47. Valores seleccionados para el programa.

Después de lo anterior, presione el botón “Sugerencias de diseño”. Al hacerlo obtendrá lo siguiente (Fig. 48):

SUGERENCIAS DE DISEÑO	
VARIABLES	RESULTADOS
Sistema:	Surcos
Pendiente (%):	1.5
Lámina (mm):	50
Largo (m):	95
Caudal (l/s):	0.4
VB (m3):	1250

Fig. 48. Valores sugeridos por el programa.

6.3.1.3.3. Para actualizar los lotes

Cuando se tienen datos nuevos para los lotes del distrito de riego respectivo y se desea actualizar la base de datos, se debe hacer lo siguiente: primero ir al menú "Actualizar", luego seleccionar "Lotes". Aquí aparece la lista de lotes que tiene el distrito de riego San Alfonso. Para actualizar uno o más datos, se ubica en la celda respectiva. En este ejemplo, se actualizará el lote "El Morrongo". El dato a actualizar será la textura del suelo, la cual es Franca. Para efectos del ejemplo, se agregará la palabra "arenosa" (con el ratón ubíquese detrás de la palabra "Franca" y de un click en el espacio en blanco; luego, escriba la palabra "arenosa"). Después, diríjase al botón actualizar y dé un click en él (Figs. 49, 50 y 51).

PREDIOS SAN ALFONSO						
PREDIO	AREA SEMBRADA	No DE ZONA	TEXTURA	INFILTRACION	PC	
▶ EL MORRONGO	8.6	3	Franca	14	46	
TABOR No. 1	4.6	3	Franca	14	46	
TABOR No. 2	4.5	3	Franca	14	46	
TABOR No. 2 (ORLANDO)	8.1	3	Franca	14	46	
TABOR No. 3	4.1	2	Franco Arenosa	25	43	
EL REMOLINO	3.9	3	Franca	14	46	
LA MARAVILLA	3.8	3	Franca	14	46	

Fig. 49. Dato a actualizar

PREDIOS SAN ALFONSO						
PREDIO	AREA SEMBRADA	No DE ZONA	TEXTURA	INFILTRACION	PC	
▶ EL MORRONGO	8.6	3	Arenosa	14	46	
TABOR No. 1	4.6	3	Franca	14	46	
TABOR No. 2	4.5	3	Franca	14	46	
TABOR No. 2 (ORLANDO)	8.1	3	Franca	14	46	
TABOR No. 3	4.1	2	Franco Arenosa	25	43	
EL REMOLINO	3.9	3	Franca	14	46	
LA MARAVILLA	3.8	3	Franca	14	46	

Fig. 50. Dato ingresado

ARCINIEGAS	5.42	3	Franca	14	46	
LAS ARCINIEGAS	4.23	2	Franco Arenosa	25	43	
LAS ARCINIEGAS No.1	3.85	3	Franca	14	46	
LA MARAVILLA (LOTE 1)	10.69	3	Franca	14	46	
LA MARAVILLA (LOTE 2)	4.19	2	Franco Arenosa	25	43	
EL CHIRCAL	16.64	3	Franca	14	46	
LA CLIMITAS	5.54	3	Franca	14	46	

Fig. 51. Botón para actualizar

Si usted cierra MOBAYN y vuelve a seleccionar el distrito de riego San Alfonso, y además vuelve al formulario de actualización de los lotes, podrá ver como se mantiene el dato introducido con anterioridad. Este dato lo podrá observar al calcular los requerimientos hídricos para el lote "El Morrongo" dentro del cuadro "Características generales de la zona", al igual que en el formulario "Propiedades físicas de los suelos" del menú "Bases de datos". De igual manera se puede proceder para actualizar datos de capacidad de campo, conductividad hidráulica saturada, infiltración, punto de marchitez permanente, etc.

6.3.1.3.4. Para agregar un nuevo lote

Si su intención es introducir los datos de un nuevo lote, se debe hacer lo siguiente: ubicarse al final de la lista, luego se presiona el botón izquierdo del ratón en el espacio en blanco de la izquierda, al lado del símbolo de la estrella y se empieza a escribir los datos respectivos cambiando de celda con la flecha o puntero gráfico del ratón. En este caso, se escribirá el nombre del predio "MANZANARES", el área sembrada será de 1.5, el número de zona será de 1, la textura será Arcillosa, la infiltración será de 40, la porosidad será de 30, la densidad aparente será de 1.2, la capacidad de campo será de 11, el punto de marchitez permanente será de 6 y la conductividad hidráulica será de 200 (Figs. 52, 53 y 54). Para ingresar los datos debe utilizar la barra de desplazamiento ubicada junto a los cuadros con la figura del triángulo negro.

	EL ZANJON No.1 (EDU)	1.34	2	Franco Arenosa	25	43
	EL ZANJON (ABELINO)	9.84	1	Arenosa	50	38
	CALIFORNIA	7.61	1	Arenosa	50	38
*						

Fig. 52. Línea de ingreso de nuevo registro

	EL ZANJON No.1 (EDU)	1.34	2	Franco Arenosa	25	43
	EL ZANJON (ABELINO)	9.84	1	Arenosa	50	38
	CALIFORNIA	7.61	1	Arenosa	50	38
*	MANZANARES	1.5	1	Arcillosa	40	

Fig. 53. Datos del nuevo registro.

	50	38	1.65	9	4
	50	38	1.65	9	4
	40	30	1.2	11	6
*	40	30	1.2	11	6

Fig. 54. Desplazamiento de las celdas con la barra horizontal.

Por último, de un click en el botón "Agregar". Observará que la línea escrita subirá y debajo quedará una línea vacía, para seguir escribiendo los datos de un nuevo lote (Fig. 55.).

	EL ZANJON No.1 (EDU)	1.34	2	Franco Arenosa	25	43
	EL ZANJON (ABELINO)	9.84	1	Arenosa	50	38
	CALIFORNIA	7.61	1	Arenosa	50	38
	MANZANARES	1.5	1	Arcillosa	40	30
*						

Fig. 55 Registro ingresado en la base de datos.

6.3.1.3.5. Para eliminar un lote

Ahora bien, si usted desea eliminar los datos de un lote en particular, debe hacer lo siguiente: ubíquese con el ratón en la línea a borrar y selecciónela (Fig. 56). En este caso, se eliminará el registro introducido con anterioridad.

	CALIFORNIA	7.61	1	Arenosa	50	38
▶	MANZANARES	1.5	1	Arcillosa	40	30
*						

Fig. 56. Selección del registro a eliminar.

Después de ubicarse al inicio de la línea, de un click en el botón "Eliminar" (Fig. 57).

	CALIFORNIA	7.61	1	Arenosa	50	38
▶	MANZANARES	1.5	1	Arcillosa	40	30
*						

◀ | | ▶

Agregar Actualizar **Eliminar** Cerrar

Fig. 57. Botón eliminar.

Hecho esto, el registro habrá sido eliminado de la base de datos (Fig. 58).

▶	CALIFORNIA	7.61	1	Arenosa	50	38
*						

◀ | | ▶

Agregar Actualizar **Eliminar** Cerrar

Fig. 58. Registro eliminado.

7. CONCLUSIONES

- La presente investigación revela información preliminar sobre el régimen climatológico de los tres principales distritos de riego del norte del Huila y las características de los suelos, que aún son insuficientes para la adopción de un plan integral de manejo del recurso hídrico, requiriéndose la inversión de mayores recursos para adelantar nuevas investigaciones. Sin embargo, este constituye un avance para el desarrollo de una agricultura de mayor precisión, en razón de los volúmenes de agua empleados por los usuarios y de la aplicación indiscriminada de esta a los lotes.
- El uso actual del recurso hídrico sigue estando en manos de personas con conocimientos empíricos, favoreciendo el malgasto de agua en las campañas de riego. Aunque existe un acompañamiento agronómico para los propietarios de los lotes en los distritos, no existe asesoría en el manejo del suelo según las propiedades físicas, ni en el mejoramiento de la aplicación del agua en los lotes. Por otro lado, no existe una entidad encargada de socializar la información obtenida de las investigaciones hechas en las zonas mencionadas, lo que dificulta la implantación de un plan adecuado de cultivos.
- En lo que refiere a la conducción, distribución y aplicación del agua en los distritos de riego, no existen estudios que permitan conocer la eficiencia actual en el manejo del agua, lo que acarrea costos adicionales a los usuarios de los distritos en las tarifas actuales a pagar.
- La mayor dificultad para la implementación de un plan de riego y cultivo acorde con los objetivos de la agricultura de precisión se encuentra en los pocos estudios realizados en las áreas respectivas a nivel de suelos, clima y cultivos, y en las políticas gubernamentales adoptadas al respecto, lo que genera baja competitividad al pequeño y mediano agricultor.
- El programa MOBAYN 1.0., por su facilidad de manejo, su esquema simplificado permite tomar decisiones rápidas sobre el mes oportuno para sembrar, la cantidad de agua a aplicar al cultivo, constituyéndose en una herramienta valiosa para el usuario. La interfaz gráfica es agradable a la vista y simplificada con lo cual se evita que el usuario tenga conceptos especializados sobre riego.

- El manejo de información de los distritos de riego a través de bases de datos permite una adecuada organización de ésta. Gracias a la interfaz del Programa MOBAYN 1.0., se puede realizar la adición y actualización de los datos prediales de una manera simple y segura con lo que se ahorra bastante tiempo.
- Por encontrarse en una etapa previa, el Programa MOBAYN 1.0., no cuenta con elementos que faciliten la recopilación y organización de información de otros distritos, los que puedan obtenerse de nuevas investigaciones, impidiendo así la creación de una gran base de datos sobre características de suelo, climatología y cultivos predominantes en el departamento del Huila. Sin embargo, la información adicional de nuevas investigaciones en los distritos en estudio podrá ser almacenada en las bases de datos del Programa, para su posterior proyección.

8. RECOMENDACIONES

- Es imprescindible contar con información histórica y consistente de clima en las zonas de estudio del proyecto, de las cuales el Instituto de Meteorología, Hidrología y Estudios Ambientales (IDEAM), no tenga registros.
- Se hace necesario a futuro la recopilación de un número mayor de muestras de los suelos de los distritos de riego El Juncal, San Alfonso y El Porvenir, que permitan establecer con un menor grado de incertidumbre, las características físicas de estos suelos, para ajustarse aún más el manejo de los cultivos y del agua en estas zonas.
- El desarrollo de un programa de computador requiere de información precisa, para el modelamiento de fenómenos físicos. Además, en el diseño gráfico se hace necesario la participación de personas relacionadas con las áreas de interés en la investigación. Es necesario, además, que las explicaciones recopiladas en el manual de uso se hagan en un lenguaje sencillo, alejada de términos técnicos, con procedimientos de manejo descritos, lo más detallado posible.
- Se hace necesario la vinculación de empresas del sector privado y de los gremios agrícolas colombianos a este tipo de investigaciones, convirtiéndose en una nueva fuente de recursos para los proyectos actuales de mejoramiento y gestión del recurso hídrico. Este apoyo, junto con el aporte del gobierno departamental y nacional contribuirá a un mayor desarrollo del sector agropecuario, tanto en el departamento del Huila como en Colombia.
- Es importante desarrollar nuevas versiones de este programa que contengan mejoras en el diseño de la interfaz, en el manejo de las bases de datos y en el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos de la zona, manteniendo así el proceso de hacer una agricultura más precisa y con mejores rendimientos de cosecha y mínimos consumos de agua, contribuyendo al desarrollo sostenible de la Nación.

BIBLIOGRAFÍA

Avidan, Albert. Determinación del régimen de riego de los cultivos. Servicio de Extensión, Departamento de Suelos y Riego. Estado de Israel, 1993.

Garatuza-Payán, J., García García, S. and C. Watts, 2002, "Medición y modelación de los flujos de energía y vapor en un bosque de mezquite (*Prosopis* sp.)", Revista ITSON-DIEP, Ciudad Obregón, México. III No. 10, pp 29-38.

Grassi, Carlos J. Diseño y operación del riego por superficie. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. Mérida – Venezuela, 1987.

ICA. Manual de riego y drenaje, revista No. 7. Ministerio de agricultura. Bogotá, 1986.

ICA. Manual de riego y drenaje, revista No. 8. Ministerio de agricultura. Bogotá, 1986.

ICA. Manual de riego y drenaje, revista No. 9. Ministerio de agricultura. Bogotá, 1986.

Ministerio de Obras Públicas Gobierno de Chile. Dirección General de Aguas. Evaluación de los recursos hídricos, cuenca del río Ligua, V Región, tomo I. Departamento de Estudios y Planificación. S.I.T.. N° 80, Mayo 2002.

Montealegre, Fernando y Torrente, Armando. Hidrología II: Características hidrológicas de una cuenca, evaporación y transpiración, estadística aplicada a la hidrología. Neiva: Universidad Surcolombiana, 1998.

Ninyerola, Pons y Roure (2000): A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques. Royal Meteorological Society, INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY, 20: 1823-1841

Poirée, Maurice Y Ollier, Charles. El Regadío. Redes, teoría, técnica y economía de los riegos. Editores Técnicos Asociados, S.A. – Barcelona, 1965.

Tiznado Santana, Marco Antonio. Proyectos de software. Editorial: Mc Graw Hill. 1998.

Yagüe F, José Luís. Técnicas de riego. Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1998.

<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/496/49614911.pdf> (SRISOC)

<http://aeclim.org/3congr/sio.pdf> (PACREG)

<http://www.engineering.usu.edu/bie/software/sirmodIII.php> (SIRMOD III)

<http://www.upv.es/aquatool/>

<http://www.upv.es/aquatool/manuales/historiaaqt.pdf>

<http://www.ugm.org.mx/pdf/geos00-3/MIM00-3.pdf>

http://mars.jrc.it/marsfood/Meetings/2002-11_Cordoba/Presentations/

<http://ing.unne.edu.ar/pub/riegoydrenaje/cap-iv.doc>

<http://www.sira-arequipa.org.pe/principal/inftecnica/manuales/riego.doc>

http://www2.sag.gob.cl/Recursos-Naturales/guia_riles_vinos/Anexo_G.pdf

http://www.agrobit.com/Info_tecnica/agricultura/Riego/AG_000009ri.htm

http://www.miliarium.com/Monografias/Sequia/Metodos_Riego.htm

<http://www.elriego.com>

<http://www.fao.org>

<http://ing.unne.edu.ar/pub/tema%20XI.pdf>

<http://www.msdn.microsoft.com/vb>

<http://www.lawebdelprogramador.com>

<http://www.moisesdaniel.com/es/wri/tpc.html>

<http://www.abcdatos.com/tutoriales/programacion/visualbasic/principiantes.html>

<http://www.vbsiglo21.net/>

<http://personales.com/espana/granada/vbpedrojose/vbpedrojose.html>

<http://www.silared.com/usuarios/vbasic/>

<http://usuarios.lycos.es/vbp/>

http://www.softonic.com/seccion/545/Visual_Basic

http://manuales.maxitrucos.com/M_programacion_visual_basic.htm

<http://www.emagister.com/cursos-visual-basic-tematica-292.htm>

http://www.mundotutoriales.com/tutoriales_visual_basic-mdtema292.htm

ANEXOS

ANEXO 1. MÉTODOS INDIRECTOS PARA CALCULAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

MÉTODO	FÓRMULA
Penman (modificado por FAO)	$ET_o = (c) * \{ W * [R_n] + (1 - W) * [f(u) * (e_a - e_d)] \}$
Hargreaves	$Et = 17.37 \cdot K \cdot d \cdot T (1 - 0.01 \cdot H_n)$
Grassi	$Et = 0.95 \cdot E_v \cdot C_t \cdot K_c \cdot F$
Christiansen	$Et = K \cdot 0.459 \cdot R_t \cdot C_t \cdot C_{hr} \cdot C_{ws} \cdot C_w \cdot C_e$
Thornthwaite	$Et = 0.56 * (10T/I)^a$
Blaney - Criddle	$U = K * P * (8.12 + 0.457 * T)$
García - López	$Et = 1.21 * 10^n * (1 - 0.01 * H_r) + 0.21 * T - 2.3$
Turc	$Et = 0.4 * (T / (T + 15))^{R_c + 50}$

**ANEXO 2. MUESTRAS DE SUELOS CON LAS CORRESPONDIENTES
TEXTURAS PARA LOS TRES DISTRITOS DE RIEGO EN ESTUDIO**

JUNCAL			ASOPORVENIR			SAN ALFONSO		
MUESTRA	LOTE	TEXTURA	MUESTRA	LOTE	TEXTURA	MUESTRA	LOTE	TEXTURA
1A	13	FA	1B	Siguiente a la viña	FAr	1C	Reinaldo Rojas	F
2A	11	FA	2B	El guayabo	FAr	2C	Eduardo Navarro	F
3A	5	FArA	3B	El Tesoro	FAr	3C	Lino Bahamon	A
4A	1	FAr	4B	La Granja	F	4C	Pedro José Archila	F
5A	10	AF	5B	La Viña	A	5C	Orlando Medina	F
6A	2	FA	6B	La Cabaña	FA	6C	Justo Fabio Piedraita	F
7A	6	F	7B	Guacharaco	F	ZONA DEL CANAL LA VICTORIA		
8A	3	FArA	8B	El Vergel	A			
9A	7	AF	9B	El Limón	FA	1D	Audelina Quesada	F
10A	9	FA				2D	Patricio Cortés	F
11A	12	AF				3D	Teodoro Olaya	FA
12A	8	FA				4D	Adolfo Caicedo	F
						5D	Patrocinio Torres	FA

ANEXO 3. VARIABLES CLIMATOLÓGICAS EN LOS DISTRITOS DE RIEGO EN ESTUDIO

Valores medios mensuales multianuales en el periodo 1987 - 2005

DISTRITO	VARIABLE	MES											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EL PORVENIR	Precipitación (mm)	68.5	87	129.7	89.2	77.6	33.8	25.4	22.3	64.1	136	176	131
	Temperatura (°c)	28	28	27.8	27.7	27.7	28.1	28.2	28.7	28.7	27.8	27.1	27.2
	Humedad Relativa (%)	70	70	71	71	72	68	66	63	63	68	74	74
EL JUNCAL	Brillo Solar (Horas)	184.4	151.2	140	136.2	155.9	161.1	158.8	167.4	151.8	160	161.9	174
	Precipitación (mm)	129	127	168	125.4	87.4	30.7	29.5	14.7	64.5	185.6	222.9	172.7
	Temperatura (°c)	27	27	27	26	26	26.9	26.8	27.3	27.4	26.9	26.3	26.3
	Humedad Relativa (%)	74	74	75	75	74	68	66	63	64	70	76	76
SAN ALFONSO	Brillo Solar (H)	159.4	127.7	123.5	127.8	145.9	147.8	159.2	161	146.2	149	135	137.8
	Precipitación (mm)	56.6	74.2	147.9	92.1	67.8	30.7	28.5	19.4	64.1	146.3	171.2	113.4
	Temperatura (°c)	28.5	29	28.6	28.2	28.4	29.2	29.5	30.3	30	28.5	27.4	27.6
	Humedad Relativa (%)	69	65	69	73	71	65	60	57	58	69	76	75
	Velocidad del viento (m/seg.)	2.3	2.4	2.2	2.1	2.1	2.4	2.6	2.9	2.6	2.6	2.3	2.1

Fuente: IDEAM

ANEXO 4. VALORES PARA EL CÁLCULO DE REQUERIMIENTOS HÍDRICOS

Valores medios del coeficiente de cultivo para el cálculo de necesidades hídricas

CULTIVO	Kc inicial	Kc medio	Kc final
Algodón	0.35	1.175	0.45
Arroz	1.125	1.2	1.1
Maíz	0.35	1.125	0.475
Sorgo	0.275	1.125	0.4
Tabaco	0.35	1.1	0.8

Adaptado de: Hargreaves

(DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN DE RIEGO DE LOS CULTIVOS (Avidan, Cáp. 2; pág. 38))

Periodo fenológico de diferentes cultivos según ICA (1986)

CULTIVO	PERIODO (días)
Algodón	140
Ajonjolí	110
Maíz	120
Maní	100
Sorgo	110
Soya 1	110
Soya 2	110
Papa	160
Arroz 4	120
Arroz 5	100
Pastos 3	365

Adaptado de: "Manual de riego y drenaje del ICA (1986), sección 8 (pág. 8)

ANEXO 4. VALORES PARA EL CÁLCULO DE REQUERIMIENTOS HÍDRICOS (CONT.)

Coeficiente Kc de algunos cultivos (HARGREAVES)

CULTIVO	FASE INICIAL	MEDIADOS DE ESTACIÓN	FIN DE TEMPORADA
aceitunas	0.60	0.8	0.8
alcachofa	0.90-1.00	0.95-1.05	0.90-1.00
alfalfa	0.40-0.50	1.00-1.40	0.85-1.35
algodón	0.20-0.50	1.05-1.30	0.30-0.60
apio	0.25-0.35	1.00-1.15	0.90-1.05
arroz	1.10-1.15	1.10-1.30	1.1
avena	0.20-0.40	1.00-1.20	0.20-0.25
banana	0.40-0.65	1.00-1.20	0.75-1.15
berenjena	0.20-0.50	0.95-1.10	0.80-0.90
calabacita	0.20-0.40	0.90-1.00	0.70-0.80
caña de azúcar	0.40-0.50	1.00-1.30	0.50-0.60
cártamo	0.30-0.40	1.05-1.20	0.20-0.25
cebada	0.25-0.30	1.00-1.10	0.10-0.20
cebollas secas	0.40-0.60	0.95-1.10	0.75-0.85
cebollas verdes	0.40-0.60	0.95-1.05	0.95-1.05
cereales pequeños	0.20-0.40	1.10-1.30	0.20-0.35
chile verde o pimiento	0.30-0.40	0.95-1.10	0.80-0.90
cítricos	0.65	0.65-0.75	0.65
espárrago	0.25-0.30	0.95	0.25
espinacas	0.20-0.30	0.95-1.05	0.90-1.00
fríjol castor	0.30-0.40	1.05-1.20	0.5
fríjol seco	0.30-0.40	1.05-1.20	0.25-0.30
fríjol verde	0.30-0.40	0.95-1.05	0.85-0.95
frutales de hoja caduca	0.50	0.85-1.20	0.50-0.85
idem con cultivo	0.75-0.85	1.10-1.25	0.70-1.10
girasol	0.30-0.40	1.05-1.20	0.35-0.45
guisantes	0.40-0.50	1.05-1.20	0.95-1.10
kiwi	0.30	1.05	1.05
lechuga	0.20-0.30	0.85-1.05	0.45
legumbres (pulses)	0.20-0.40	1.05-1.20	0.25-0.30
lenteja	0.20-0.30	1.05-1.20	0.25-0.30
linaza	0.20-0.40	1.00-1.15	0.20-0.25
maíz de grano	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
maní (cacahuate)	0.30-0.50	0.95-1.00	0.50-0.60
melones	0.15-0.40	1.00-1.10	0.30-0.90
mijo	0.20-0.40	1.00-1.15	0.25-0.30
papas	0.40-0.55	1.10-1.20	0.40-0.75

Fuente: DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN DE RIEGO DE LOS CULTIVOS (Avidan, Cáp. 2; pág. 38)

ANEXO 4. VALORES PARA EL CÁLCULO DE REQUERIMIENTOS HÍDRICOS (CONT.)

Coeficiente Kc de algunos cultivos (HARGREAVES)

CULTIVO	FASE INICIAL	MEDIADOS DE ESTACIÓN	FIN DE TEMPORADA
pepino	0.20-0.40	0.90-1.00	0.70-0.80
pistacho	0.10	1.05	0.35
rábano	0.20-0.30	0.80-0.90	0.75-0.85
remolacha	0.25-0.40	1.05-1.20	0.25-0.30
remolacha de azúcar	0.20-0.40	1.05-1.20	0.70-1.00
repollo	0.30-0.50	0.95-1.10	0.80-0.95
sandía	0.25-0.50	1.00-1.10	0.20-0.70
sorgo	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
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
trigo	0.20-0.40	1.00-1.25	0.20-0.30
uvas	0.20-0.50	0.75-0.85	0.20-0.45
zanahoria	0.40-0.50	1.05	0.75

Fuente: DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN DE RIEGO DE LOS CULTIVOS (Avidan, Cáp. 2; pág. 38)

**ANEXO 5. VALORES PARA EL CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN
SEGÚN EL MÉTODO DE PENMAN
(MODIFICADO POR LA FAO)**

Presión del vapor de agua a saturación (ea)
en función de la temperatura media.

Tmed (°C)	(ea) [mbar]	Tmed (°C)	(ea) [mbar]
		21	24.9
0	6.1	22	26.4
1	6.6	23	28.1
2	7.1	24	29.8
3	7.6	25	31.7
4	8.1	26	33.6
5	8.7	27	35.7
6	9.4	28	37.8
7	10	29	40.1
8	10.7	30	42.4
9	11.5	31	44.9
10	12.3	32	47.6
11	13.1	33	50.3
12	14	34	53.2
13	15	35	56.2
14	16.1	36	59.4
15	17	37	62.8
16	18.2	38	66.3
17	19.4	39	69.9
18	20.6		
19	22		
20	23.4		

Fuente: DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN DE RIEGO DE LOS CULTIVOS (Avidan, Cáp. 2; pág. 38)

**ANEXO 5. VALORES PARA EL CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN
SEGÚN EL MÉTODO DE PENMAN
(MODIFICADO POR LA FAO (CONTINUACIÓN))**

Presión del vapor de agua a saturación (e_a)
en función de la temperatura media (cont.).

Fuente: DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN DE RIEGO DE LOS CULTIVOS (Avidan, Cáp. 2; pág. 38)

**ANEXO 5. VALORES PARA EL CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN
SEGÚN EL MÉTODO DE PENMAN
(MODIFICADO POR LA FAO (CONTINUACIÓN))**

Factor de corrección W para el método de Penman
(modificado por la FAO)

Temp. (°C)	ALTITUD [metros sobre el nivel del mar]					
	0	500	1000	2000	3000	4000
2	0.43	0.44	0.46	0.49	0.52	0.54
4	0.46	0.48	0.49	0.52	0.55	0.58
6	0.49	0.51	0.52	0.55	0.58	0.61
8	0.52	0.54	0.55	0.58	0.61	0.64
10	0.55	0.57	0.58	0.61	0.64	0.66
12	0.58	0.6	0.61	0.64	0.66	0.69
14	0.61	0.62	0.64	0.66	0.69	0.71
16	0.64	0.65	0.66	0.69	0.71	0.73
18	0.66	0.67	0.69	0.71	0.73	0.75
20	0.68	0.7	0.71	0.73	0.75	0.77
22	0.71	0.72	0.73	0.75	0.77	0.79
24	0.73	0.74	0.75	0.77	0.79	0.81
26	0.75	0.76	0.77	0.79	0.81	0.82
28	0.77	0.78	0.79	0.81	0.82	0.84
30	0.78	0.79	0.8	0.82	0.84	0.85
32	0.8	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86
34	0.82	0.82	0.83	0.85	0.86	0.87
36	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.89
38	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.9
40	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.9

Fuente: DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN DE RIEGO DE LOS CULTIVOS (Avidan, Cáp. 2; pág. 39)

**ANEXO 5. VALORES PARA EL CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN
SEGÚN EL MÉTODO DE PENMAN
(MODIFICADO POR LA FAO (CONTINUACIÓN))**

Factores de corrección para la radiación de onda larga
para el método de Penman (modificado por la FAO)

TEMP. °C	f(t)	Ed mbar	f(ed)	(n/N)	f(n/N)
TEMPERATURA		HUMEDAD		INSOLACIÓN	
0	11.00			0.00	0.10
2	11.40			0.05	0.15
4	11.70			0.10	0.19
6	12.00	6	0.23	0.15	0.24
8	12.40	8	0.22	0.20	0.28
10	12.70	10	0.20	0.25	0.33
12	13.10	12	0.19	0.30	0.37
14	13.50	14	0.18	0.35	0.42
16	13.80	16	0.16	0.40	0.46
18	14.20	18	0.15	0.45	0.51
20	14.60	20	0.14	0.50	0.55
22	15.00	22	0.13	0.55	0.60
24	15.40	24	0.12	0.60	0.69
26	15.90	26	0.12	0.65	0.73
28	16.30	28	0.11	0.70	0.78
30	16.70	30	0.10	0.75	0.82
32	17.20	32	0.09	0.80	0.87
34	17.70	34	0.08	0.85	0.91
36	18.10	36	0.08	0.90	0.96
		38	0.07	0.95	1.00
		40	0.06	1.00	1.00

Fuente: DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN DE RIEGO DE LOS CULTIVOS (Avidan, Cáp. 2; pág. 45)

**ANEXO 5. VALORES PARA EL CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN SEGÚN EL MÉTODO DE PENMAN
(MODIFICADO POR LA FAO (CONTINUACIÓN))**

Radiación extraterrestre (Ra) expresada en equivalente de evaporación tabulada por mes y por latitud para el método de Penman (modificado por la FAO)

LAT.	Enero 1	Febrero 2	Marzo 3	Abril 4	Mayo 5	Junio 6	Julio 7	Agosto 8	Septiembre 9	Octubre 10	Noviembre 11	Diciembre 12
50	3.8	6.1	9.4	12.7	15.8	17.1	16.4	14.1	10.9	7.4	4.5	3.2
48	4.3	6.6	9.8	13	15.9	17.2	16.5	14.3	11.2	7.8	5.0	3.7
46	4.9	7.1	10.2	13.3	16.0	17.2	16.6	14.5	11.5	8.3	5.5	4.3
44	5.3	7.6	10.6	13.7	16.1	17.2	16.6	14.7	11.9	8.7	6.0	4.7
42	5.9	8.1	11.0	14.0	16.2	17.3	16.7	15.0	12.2	9.1	6.5	5.2
40	6.4	8.6	11.4	14.3	16.4	17.3	16.7	15.2	12.5	9.6	7.0	5.7
38	6.9	9.0	11.8	14.5	16.4	17.2	16.7	15.3	12.8	10.0	7.5	6.1
36	7.4	9.4	12.1	14.7	16.4	17.2	16.7	15.4	13.1	10.6	8.0	6.6
34	7.9	9.8	12.4	14.8	16.5	17.1	16.8	15.5	13.4	10.8	8.5	7.2
32	8.3	10.2	12.8	15.0	16.5	17.0	16.8	15.6	13.6	11.2	9.0	7.8
30	8.8	10.7	13.1	15.2	16.5	17.0	16.8	15.7	13.9	11.6	9.5	8.3
28	9.3	11.1	13.4	15.3	16.5	16.8	16.7	15.7	14.1	12.0	9.9	8.8
26	9.8	11.5	13.7	15.3	16.4	16.7	16.6	15.7	14.3	12.3	10.3	9.3
24	10.2	11.9	13.9	15.4	16.4	16.6	16.5	15.8	14.5	12.6	10.7	9.7
22	10.7	12.3	14.2	15.5	16.3	16.4	16.4	15.8	14.6	13.0	11.1	10.2
20	11.2	12.7	14.4	15.6	16.2	16.4	16.3	15.9	14.8	13.3	11.6	10.7
18	11.6	13.0	14.6	15.6	16.1	16.1	16.1	15.8	14.9	13.6	12.0	11.1
16	12.0	13.3	14.7	15.6	16.0	15.9	15.9	15.7	15.0	13.9	12.4	11.6
14	12.4	13.6	14.9	15.7	15.8	15.7	15.7	15.7	15.1	14.1	12.8	12.0
12	12.8	13.9	15.1	15.7	15.7	15.5	15.5	15.6	15.2	14.4	13.3	12.5
10	13.2	14.2	15.3	15.7	15.3	15.3	15.3	15.5	15.3	14.7	13.6	12.9
8	13.6	14.5	15.3	15.6	15.0	15.0	15.1	15.4	15.3	14.8	13.9	13.3
6	13.9	14.8	15.4	15.4	14.7	14.7	14.9	15.2	15.3	15.0	14.2	13.7
4	14.3	15.0	15.5	15.5	14.4	14.4	14.6	15.1	15.3	15.1	14.5	14.1
2	14.7	15.3	15.6	15.3	14.2	14.2	14.3	14.9	15.3	15.3	14.8	14.4
0	15.0	15.5	15.7	15.3	13.9	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8

Fuente: DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN DE RIEGO DE LOS CULTIVOS (Avidan, Cáp. 2; pág. 40)

**ANEXO 5. VALORES PARA EL CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN
SEGÚN EL MÉTODO DE PENMAN
(MODIFICADO POR LA FAO (CONTINUACIÓN))**

Coeficiente (c) para el método de Penman (modificado por la FAO)

Humedad relativa MÁXIMA = 30%					
0	Sin viento	0.86	0.90	1.00	1.00
3 m/s (11 Km./h)	1/1	0.64	0.71	0.82	0.89
	2/1	0.69	0.76	0.85	0.92
	3/1	0.75	0.81	0.88	0.94
	4/1	0.79	0.84	0.92	0.97
6 m/s (21 Km./h)	1/1	0.43	0.53	0.68	0.79
	2/1	0.53	0.61	0.74	0.84
	3/1	0.61	0.68	0.81	0.88
	4/1	0.68	0.77	0.87	0.93
9 m/s (32 Km./h)	1/1	0.27	0.41	0.59	0.70
	2/1	0.37	0.48	0.65	0.76
	3/1	0.46	0.56	0.72	0.82
	4/1	0.55	0.65	0.78	0.90
Humedad relativa MÁXIMA = 60%					
0	Sin viento	0.96	0.98	1.05	1.05
3 m/s (11 Km./h)	1/1	0.78	0.86	0.94	0.99
	2/1	0.83	0.91	0.99	1.05
	3/1	0.87	0.96	1.06	1.12
	4/1	0.92	1.00	1.11	1.19
6 m/s (21 Km./h)	1/1	0.62	0.70	0.84	0.93
	2/1	0.70	0.80	0.94	1.02
	3/1	0.77	0.88	1.02	1.10
	4/1	0.85	0.96	1.11	1.19
9 m/s (32 Km./h)	1/1	0.50	0.60	0.75	0.87
	2/1	0.59	0.70	0.84	0.95
	3/1	0.67	0.79	0.88	1.05
	4/1	0.76	0.88	1.02	1.14
Humedad relativa MÁXIMA = 90%					
0	Sin viento	1.02	1.06	1.10	1.10
3 m/s (11 Km./h)	1/1	0.85	0.92	1.01	1.05
	2/1	0.89	0.98	1.10	1.14
	3/1	0.94	1.04	1.18	1.28
	4/1	0.99	1.10	1.27	1.32
6 m/s (21 Km./h)	1/1	0.72	0.82	0.95	1.00
	2/1	0.79	0.92	1.05	1.12
	3/1	0.86	1.01	1.15	1.22
	4/1	0.94	1.10	1.26	1.33
9 m/s (32 Km./h)	1/1	0.62	0.72	0.87	0.96
	2/1	0.71	0.81	0.96	1.06
	3/1	0.78	0.92	1.06	1.18
	4/1	0.88	1.01	1.16	1.27

GLOSARIO

Balance Hídrico

Es la suma de los factores que intervienen dentro del proceso de toma de agua por parte de una planta. Se consideran las pérdidas de agua por evaporación de la superficie del suelo, las no aprovechadas por las raíces (percolación), las debidas a la escorrentía (agua que no alcanza a ingresar al suelo por infiltración) y las ganancias debidas al riego, la precipitación y el aporte por capilaridad de los niveles freáticos en el suelo.

Evapotranspiración

Es la pérdida de agua que sufre la planta debido a la acción del ambiente (temperatura, viento, brillo solar, humedad relativa) y a la de sus procesos fisiológicos. Los valores de evapotranspiración varían según la etapa de crecimiento del cultivo, los cuales determinan la cantidad de agua que se requiere reponer.

Precipitación

Es el agua que cae al suelo proveniente de la lluvia, ya sea en estado líquido o sólido. Dependiendo de la región y de la época del año, se pueden presentar lluvias de menor a mayor intensidad. En Colombia la distribución de precipitaciones presenta dos periodos marcados de lluvia y dos periodos secos. La precipitación puede ser a través de gotas de lluvia, granizo, neblina o nieve y es uno de los aportes más importantes del balance hídrico, sin embargo es el de mayor incertidumbre.

Humedad Relativa

Es la cantidad de vapor de agua en el aire ambiente como proporción de la humedad que puede contener el mismo. Es afectada por la presencia de masas de agua dentro de una región, las cuales pueden aportar agua en forma de vapor afectando la transpiración de la planta.

Brillo Solar

Es la cantidad efectiva de horas luz medidas durante el día, en la cual no hay nubosidad presente. Este factor está relacionado con la cantidad de horas luz durante el día.

Velocidad del Viento

Es el valor medido en m/seg del desplazamiento de las masas de aire durante las horas diurnas y nocturnas. Este factor es considerado por el método de Penman (modificado por la FAO) para el cálculo de la evapotranspiración, requiriéndose de los valores de velocidad durante el día y la noche para la determinación del coeficiente **C** utilizado en este método.

Temperatura

Es el valor en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$) del calor presente en el ambiente durante el día. Es un parámetro utilizado por la ciencia de la termodinámica que indica el estado de un sistema y que caracteriza el calor, o transferencia de energía. La medición se realiza a través del termómetro.

Coefficiente de Cultivo

Se refiere al valor hallado empíricamente que permite caracterizar la evapotranspiración de un cultivo en particular debida a su metabolismo. Para cada cultivo, se han hecho determinaciones en campo con el fin de encontrar los coeficientes que rigen su desarrollo, para estimar con mayor precisión las necesidades de agua durante las diferentes etapas vegetativas.

Percolación

Consiste en el agua no aprovechada por las raíces de las plantas que desciende a través del suelo y que se considera como pérdidas dentro del balance hídrico de la zona de estudio. Es de aclarar, que esta agua pasa a formar parte de los niveles freáticos que en un momento dado pueden ser perjudiciales para el desarrollo de las plantas, por lo tanto se requiere de prácticas de drenaje.

Riego

Son todos los métodos usados para suplir las demandas de agua de una plantación, clasificados según la forma de conducción y aplicación del agua. Para el caso de cereales o cultivos con alta densidad de siembra puede utilizarse el riego por superficie, el cual proporciona volúmenes considerables de agua para su aplicación. En el caso de frutales o cultivos con baja densidad de siembra, se emplea el riego localizado de alta frecuencia, cuya principal característica es el transporte de agua a través de tuberías a presión. Para esto, se requiere la utilización de equipos de bombeo, donde la disponibilidad de energía potencial no sea suficiente, los cuales son seleccionados de acuerdo al caudal que deben impulsar.

Escorrentía

Es el agua superficial aplicada a los cultivos que no logra ingresar al suelo y que por efecto de la pendiente se aleja del área de interés, con lo cual no es aprovechada por las plantas. La cantidad de agua que se pierde superficialmente depende de la velocidad de infiltración en un suelo determinado, la cual varía según las propiedades texturales. Para su remoción del área de estudio, se requiere de labores de drenaje superficial, sin embargo es preciso la utilización de métodos de riego donde la pérdida de agua se minimice.

Software (Programa de Computador)

Es un conjunto de órdenes tendientes a la realización de una tarea específica, escritas bajo un determinado lenguaje de programación y traducidas al lenguaje de la máquina con el fin de ser interpretadas. Estos programas han adquirido un gran auge debido al alto desarrollo sufrido por los computadores en los últimos 30 años. En la actualidad se cuenta con herramientas mucho más sofisticadas para el diseño y programación, desarrolladas bajo diferentes entornos tales como Visual Basic 6.0, Visual C++, Visual FoxPro, entre otros. Realmente este sistema utiliza ordenes y ecuaciones matemáticas dadas por el programador, lo cual indica que de acuerdo a la precisión de lo allí expuesto, dependen los resultados obtenidos.