

MÁSTER EN
TECNOLOGÍAS
AVANZADAS PARA EL
DESARROLLO
AGROFORESTAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Smart-Wa_{Ap}: Aplicación para la estimación de
riegos en cultivos



Universidad de Valladolid

Blas Manuel Franco Ortellado



Índice

1. ESTADO DEL ARTE	3
2. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE ORDENADOR.....	4
3. ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO	5
4. LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN.....	7
5. ENTORNO OPERATIVO.....	9
6. LISTADO DE FICHEROS.....	9
7. DIAGRAMA DE FLUJO.	11
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	14
ANEXO: MANUAL DE USUARIOS.....	15
A. INSTALACIÓN	15
B. UTILIZACIÓN DE LA APLICACIÓN.....	18
C. CONFIGURAR PARA PRIMER USO	19
D. PROCESAMIENTO DE DATOS AGROMETEOROLÓGICOS Y CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO.....	24
D.1 ENTRADA DE DATOS AGROMETEOROLÓGICOS.....	24
D.2 EJECUCIÓN DE LOS ALGORITMOS	28
E. CONSULTA DE DATOS AGROMETEOROLÓGICOS	30
F. VISUALIZACIÓN DE INFORMES	32



1. Estado del Arte

Con el objeto de determinar el contenido hídrico del suelo y por ende estimar la necesidad de riego, actualmente en el mercado existen diversas opciones como los sensores de humedad del suelo, que brindan información del estado hídrico del mismo, pero esta tecnología no se encuentra estandarizada y se pueden obtener resultados diversos según el fabricante de los mismos (Cardenas-Lailhacar y Dukes 2010), además de poseer un determinado rango de funcionamiento (Thompson et al. 2007), falsa estimación de humedad debido a propiedades intrínsecas del suelo como su composición mineral y estructura (Irmak y Haman 2001), el número de sensores necesarios para obtener representatividad de un área y la poca información referente a la vida útil de los mismos.

Otro sistema para determinar la necesidad hídrica de los cultivos es empleando modelos basados en la Evapotranspiración, autores como Davis et al. (2013) y Ma et al. (2013) coinciden en que estos modelos para realizar estimaciones pueden lograr un ahorro de agua en torno al 60%, comparándolo con métodos tradicionales de riegos calendarizados. Teniendo en cuenta que los modelos deben ser ajustados para lograr mayores precisiones en las estimaciones (Grabow et al. 2013).

Al presente, el servicio de InfoRiego de Castilla y León se encuentra implementando modelos basados en la Evapotranspiración para asesorar a regantes de la zona. El Smart-Wa_{Ap} se propone como alternativa a ya que difiere del servicio mencionado en dos aspectos fundamentales; el primer aspecto es la posibilidad de adquirir y procesar datos in-situ, es decir con las condiciones presentes en el microclima de la parcela y factores del suelo de manera a obtener predicciones más precisas y el segundo aspecto la estimación de la Evapotranspiración del Cultivo (ET_c), utilizando el Coeficiente Dual del Cultivo ($K_{cb}+K_e$) en el Smart-Wa_{Ap}, método recomendado para estimaciones de periodos cortos y/o con eventos de humedecimiento periódicos, debido a que es más preciso que el Coeficiente Único del Cultivo (K_c) utilizado por el servicio mencionado.



2. Descripción del Programa de Ordenador.

Smart-Wa_{Ap} es una aplicación informática para la dosificación inteligente de riegos en cultivos, encargada de la ejecución de algoritmos para la estimación del balance hídrico del suelo. Esta estimación se realiza a través del cálculo de la Evapotranspiración de Referencia (ET_o) y la Evapotranspiración del Cultivo (ET_c) por el Método del Coeficiente Dual del Cultivo propuestos por la FAO en el manual “Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos”.

La aplicación informática estima las necesidades hídricas diarias de cultivos mediante la ejecución de cálculos descritos en el mencionado manual de la FAO y el procesamiento de datos agrometeorológicos; como son las temperaturas máxima y mínima, humedad relativa máxima y mínima, radiación solar, velocidad del viento y precipitación; variables del cultivo y el suelo, como edad de la planta y estado fenológico, altura de la planta, longitud radicular, porcentaje de suelo cubierto por el cultivo, textura y profundidad de suelo.

Los resultados del procesamiento diario de datos son reunidos en una planilla de datos donde se detallan la Evapotranspiración del cultivo, cantidad recomendada de riego aplicar y la fecha más apropiada para realizarlo. El informe es accesible por el usuario, con el propósito que éste último tome las decisiones correspondientes al momento y cantidad de riego a aplicar atendiendo límites mínimos y máximos estipulados para que la reposición hídrica sea efectuada eficientemente, es decir, sin comprometer el desarrollo y la productividad del cultivo y no proveyendo al suelo láminas de agua superiores a su capacidad de retención.

Los cultivos disponibles para ser procesados en la Versión 1.1 del Smart-Wa_{Ap} son los siguientes: Remolacha azucarera, Maíz (grano), Trigo, Cebada, Girasol, Patata, Tomate, Pimiento, Melón y Lechuga. Esta lista obedece a los principales rubros extensivos en regadío en la Comunidad Autónoma de Castilla y León y algunas hortalizas, a modo de incluir al sector de cultivos intensivos en el abanico de posibilidades del software.



3. Estimación de la Evapotranspiración del Cultivo

La estimación de las necesidades hídricas del cultivo, a través del cálculo de la Evapotranspiración de Referencia (ET_o) (Ecuación 1) y la Evapotranspiración del Cultivo (ET_c) por el Método del Coeficiente Dual del Cultivo propuestos por la FAO.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

donde:

ET_o	Evapotranspiración de Referencia ($mm \text{ día}^{-1}$)
R_n	Radiación neta en la superficie del cultivo ($MJ \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)
G	Flujo de calor de suelo ($MJ \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)
T	Temperatura media del aire a 2 metros de altura ($^{\circ}C$)
u_2	Velocidad del viento a 2 m de altura ($m \text{ s}^{-1}$)
e_s	Presión de vapor de saturación (kPa)
e_a	Presión real de vapor (kPa)
Δ	Pendiente de la curva de presión de vapor ($kPa \text{ }^{\circ}C^{-1}$)
γ	Constante psicrométrica ($kPa \text{ }^{\circ}C^{-1}$)

Ecuación 1. Formula de Evapotranspiración de referencia según el método FAO Penman-Monteith.

La aplicación informática está diseñada para estimar las necesidades hídricas diarias de cultivos mediante la adquisición y procesamiento de datos agrometeorológicos, como son las temperaturas máxima y mínima, humedad relativa máxima y mínima, radiación solar, velocidad del viento y precipitación; variables del cultivo y el suelo, como edad de la planta y estado fenológico, altura de la planta, longitud radicular, porcentaje de suelo cubierto por el cultivo, textura y profundidad de suelo.

El Método del Coeficiente Dual del Cultivo ($K_{cb} + K_e$) obedece la posibilidad de determinar por separado los efectos de la transpiración del cultivo y de la evaporación en el suelo. Se utilizan dos coeficientes: el coeficiente basal del cultivo (K_{cb}) (Ecuación 2) para describir la transpiración de la planta, y el coeficiente de



evaporación del agua del suelo (K_e) (Ecuación 3) para describir la evaporación que ocurre en la superficie del suelo. El procedimiento del Coeficiente Dual del Cultivo requiere de una mayor cantidad de cálculos numéricos que el procedimiento del Coeficiente Único (K_c).

$$K_{cb} = K_{cb(Tab)} + [0,04 (u_2 - 2) - 0,004 (HR_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3}$$

donde:

K_{cb}	Coeficiente basal del cultivo
$K_{cb(Tab)}$	Coeficiente basal del cultivo tabulado, para las etapas media y final (si es $\geq 0,45$), el K_{cb} inicial no se somete a ajustes.
u_2	Velocidad del viento a 2 m de altura ($m s^{-1}$), para ($1 m s^{-1} \leq u_2 \leq 6 m s^{-1}$)
HR_{min}	Valor de la humedad relativa mínima diaria (%), para ($20\% \leq HR_{min} \leq 80\%$)
h	Altura promedio de las plantas (m)

Ecuación 2. Fórmula del componente K_{cb} , Coeficiente basal del cultivo, del Método del Coeficiente Dual del Cultivo

$$K_e = \min[(K_r(K_c \max - K_{cb})), (f_{ew} K_c \max)]$$

donde:

K_e	Coeficiente de Evaporación del suelo
K_{cb}	Coeficiente Basal del Cultivo
$K_c \max$	Coeficiente de límite superior de la evaporación y transpiración que puede ocurrir en una superficie cultiva
K_r	Coeficiente adimensional de reducción de la evaporación, dependiente de la lámina acumulada de agua agotada (evaporada) de la capa superficial del suelo
f_{ew}	Fracción del suelo que se encuentra simultáneamente expuesto y humedecido, es decir la fracción de la superficie del suelo a partir de la cual ocurre la mayor parte de la evaporación

Ecuación 3. Fórmula del componente K_e , Coeficiente de la evaporación en el suelo, del Método del Coeficiente Dual del Cultivo



El procedimiento del Coeficiente Dual (Ecuación 4) es preferible para los casos de los calendarios de riego en tiempo real, para los cálculos de balance del agua en el suelo, y para los estudios de investigación donde sean importantes tanto los efectos de las variaciones diarias del humedecimiento de la superficie del suelo y su impacto resultante en el valor diario de ET_c , como el patrón de humedecimiento del perfil del suelo y los flujos de percolación profunda. Este será el caso de los riegos de alta frecuencia a través de micro-irrigación o sistemas de movimiento lateral tales como los pivotes centrales o los sistemas de movimiento linear, según indican el manual de la FAO.

$$ET_c = (K_{cb} + K_e) ET_o$$

donde:

ET_c	Evapotranspiración del Cultivo ($mm\ día^{-1}$)
K_{cb}	Coeficiente Basal del Cultivo
K_e	Coeficiente de Evaporación del Suelo
ET_o	Evapotranspiración de Referencia ($mm\ día^{-1}$)

Ecuación 4. Fórmula del componente K_e , Coeficiente de la evaporación en el suelo, del Método del Coeficiente Dual del Cultivo

4. Lenguaje de Programación.

El lenguaje de programación es el G, desarrollado por NI *LabVIEW*, diseñado para ingenieros y científicos para desarrollar aplicaciones de pruebas, control y medidas. Combina la programación gráfica abierta con hardware para simplificar drásticamente el desarrollo.

Los ficheros generados con *LabVIEW* se llaman “Instrumentos Virtuales, Vis”. Cada VI se compone de dos partes principales: el panel frontal (*front panel*) o interface con el usuario y el diagrama de bloques (*block diagram*) o código fuente (Figura 1).

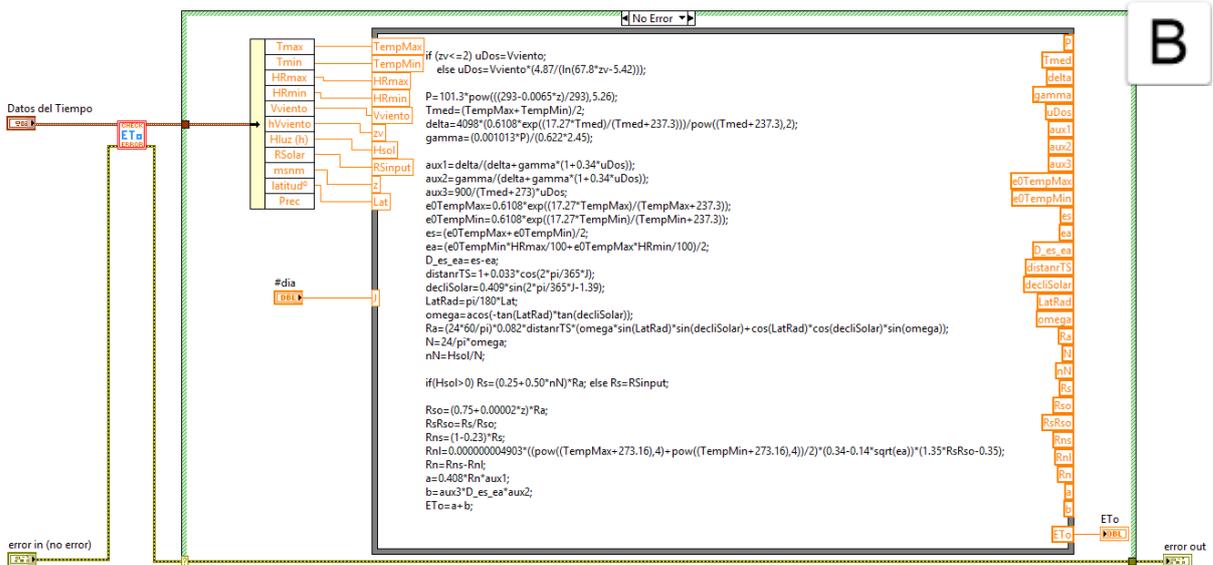


Figura 1. Interface de LabVIEW; panel frontal con los controles e indicadores (A) y panel de código con los respectivos algoritmos (B)



En el panel frontal es donde se diseña la interface de usuario y se ubican los controles e indicadores. En el panel de código se encuentran las funciones. Cada control que se utiliza en la interfaz tiene una representación en el panel de código, igualmente los indicadores necesarios para entregar la información procesada al usuario tienen un icono que los identifica en el panel de código o de programación.

5. Entorno Operativo.

La aplicación es ejecutada en ordenadores que posean los sistemas operativos Windows XP Service Pack 3, Windows Vista, Windows 7 y Windows 8.X en sus versiones de 32 y 64 bits.

6. Listado de Ficheros.

Los ficheros se encuentran compilados en el CD “SmartWaAp_código”. Para acceder a la librería de ficheros, como se muestra en la Figura 2, se necesita el software *LabVIEW* en su versión 2011 o posteriores y abrir el archivo “ProjectSmartWaAp.lvproj”, que despliega el librería o lista de ficheros.

Cada archivo VI (*Virtual Instrument*) puede ejecutarse por separado abriéndolo con *LabVIEW*. En el mismo directorio donde estos se encuentran, existen archivos de imágenes (welcome.bmp, banner.bmp, SWicon.ico) que son necesarios para personalizar el software y dar una mejor personalización a la interacción con el usuario.

La compilación de la aplicación se encuentra en el CD “Smart-WaAp_Setup”, la misma consiste en un instalador que crea la aplicación ejecutable en el ordenador, además también se puede acceder al manual de usuarios, “Manual Smart-WaAp.pdf”.

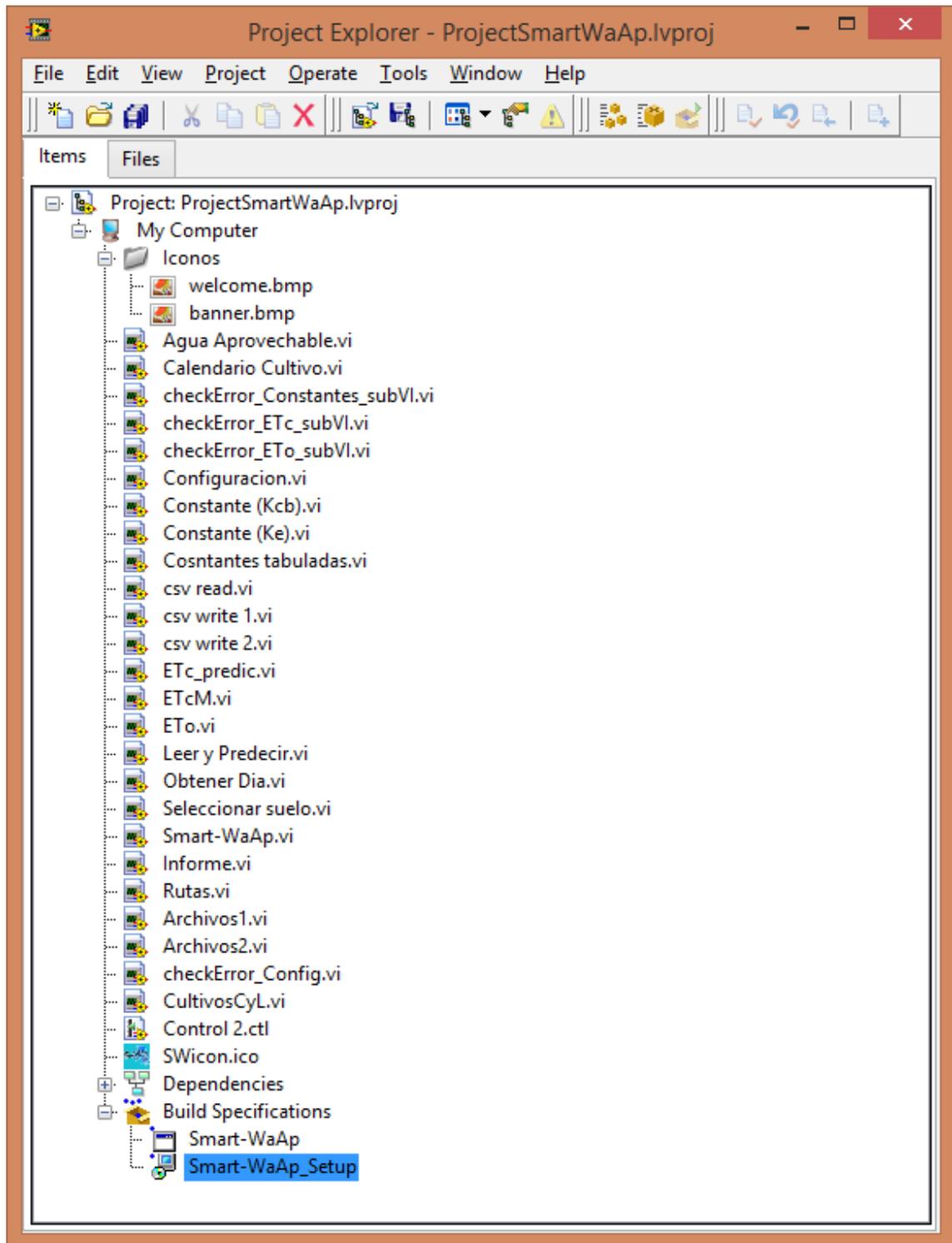


Figura 2. Lista de ficheros visualizada con el *Project Explorer* de *LabVIEW*.



7. Diagrama de Flujo.

El VI principal es el archivo Smart-WaAp.vi, el cual recurre a otros VI denominados SubVI para ejecutar los algoritmos de estimación del balance hídrico del suelo, la relación entre los distintos SubVI se esquematiza en la Figura 3.

Smart-WaAp.vi utiliza para su funcionamiento tres SubVI; Configuración.vi, ETcM.vi e Informe.vi. El SubVI Configuración.vi recurre a su vez a los SubVI Archivos1.vi, Archivos2.vi y Rutas.vi que crean los archivos de configuración asignando parámetros y rutas a los mismos, además de checkError_Config.vi que se encarga de manejar los errores que pudieren ocurrir y alertar al usuario de los mismos para su revisión y corrección.

ETcM.vi calcula la Evapotranspiración del Cultivo seleccionado y procesado por el usuario, para ello recurre a los siguientes SubVI; Obtener Dia.vi que obtiene la fecha para el procesamiento de datos. ETo.vi encargado de obtener la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia, que está acompañado de su SubVI que comprueba si existen errores en los datos de entrada y salida, checkError_ETosubVI.vi, es decir comprueba la correcta introducción datos agrometeorológicos y verifica los resultados del procesamiento de los algoritmos.

CultivosCyL.vi es el SubVI encargado de hacer disponible todas las constantes asociadas al cultivo seleccionado por el usuario, Calendario.vi se encarga de determinar la edad del cultivo, requerida para asociarlas a constantes filtradas empleadas por los algoritmos.

Constante (Kcb).vi se encarga de calcular el Coeficiente Basal del Cultivo y la Transpiración realizada por las plantas. Recurre a los SubVI Constantes tabuladas.vi que filtra las constantes teniendo en cuenta la edad de la planta y checkError_Constantes_subVI.vi que maneja los posibles errores que pudieran ocurrir y se los transmite al usuario para su corrección.

Constante (Ke).vi se encarga de calcular el Coeficiente de Evaporación del agua del suelo y la Evaporación ocurrida. Además registra el agua consumida del suelo y con auxilio del SubVI Seleccionar suelo.vi calcula el balance hídrico actual, es decir el agua disponible total.

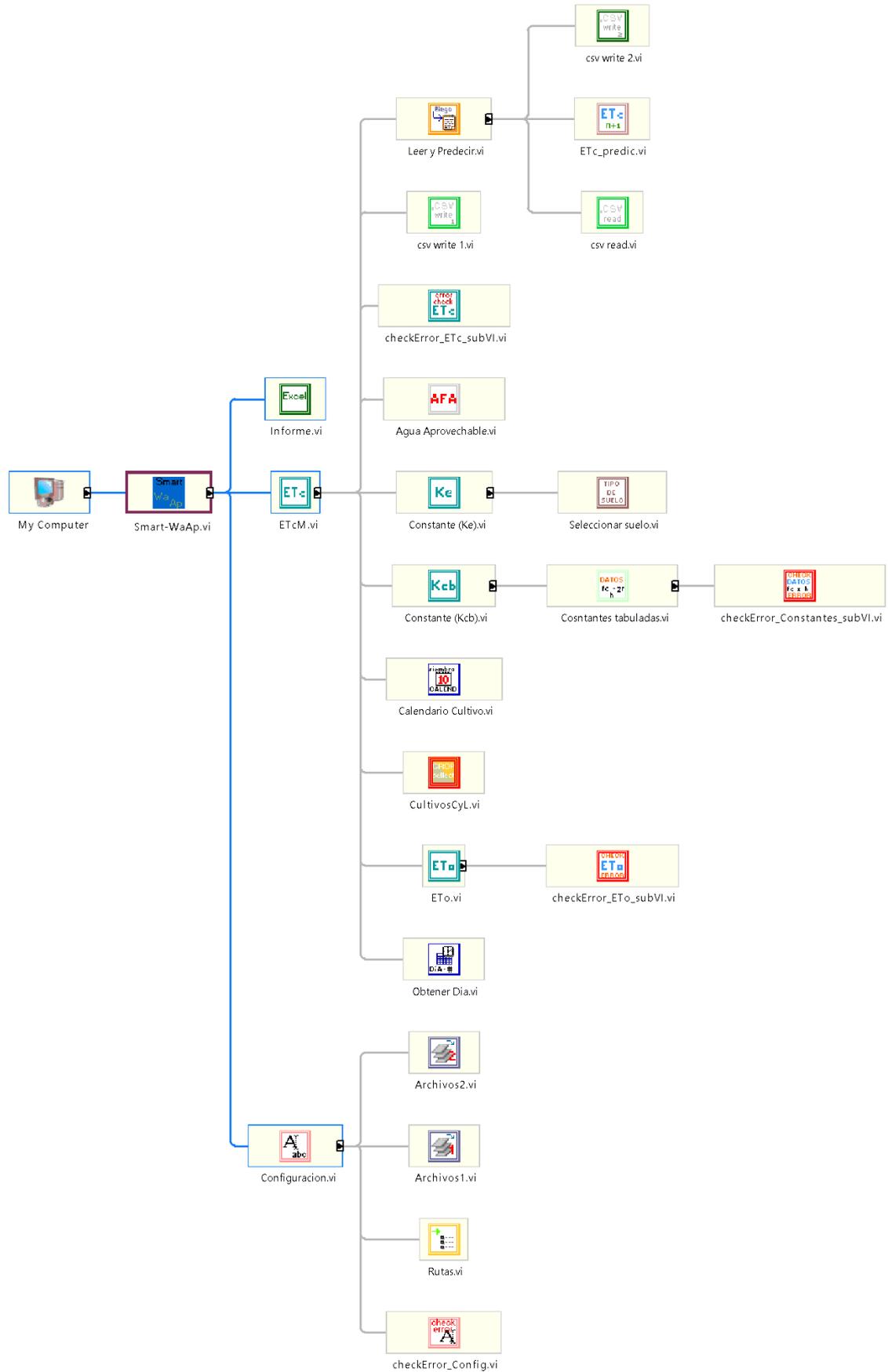


Figura 3. Diagrama de flujo de operaciones y relaciones de los distintos SubVI que componen el VI principal Smart-Wa_{Ap}.vi



Agua Aprovechable.vi estima cuánto del agua disponible total del suelo puede ser fácilmente aprovechable por el cultivo. Mientras que check_ETc_subVI.vi comprueba y maneja posibles errores en esta etapa del procesamiento de datos.

Finalmente se tiene los SubVI encargados de registrar los resultados del procesamiento de datos csv write1.vi escribe los resultados diarios obtenidos. Por su parte, el SubVI Leer Y Predecir.vi lee los resultados históricos y el actual para predecir el comportamiento de la Evapotranspiración, recurre a los SubVI csv.read.vi que lee los históricos, ETc_predic.vi que predice la evapotranspiración para recomendar la fecha futura más probable de riego y su dosis, finalmente csv write 2.vi escribe estas estimaciones en un archivo.

El informe final, accesible por parte del usuario, se construye a partir de todos los datos registrados y almacenados en archivos creados en los SubVI anteriores y por medio de Informe.vi se reúnen en una planilla Excel donde se detalla cada componente resultante de manera ordenada y de fácil interpretación por parte del usuario.



8. Referencias Bibliográficas

CARDENAS-LAILHACAR, B.; and DUKES, M. D. Precision of Soil Moisture Sensor Irrigation Controllers Under Field Conditions. *Agricultural Water Management*, 5, 2010, vol. 97, no. 5, pp. 666-672. ISSN 0378-3774.

DAVIS, S. L.; DUKES, M. D. and MILLER, G. L. Landscape Irrigation by Evapotranspiration-Based Irrigation Controllers Under Dry Conditions in Southwest Florida. *Agricultural Water Management*, DEC, 2009, vol. 96, no. 12, pp. 1828-1836. ISSN 0378-3774.

Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, Estudio FAO Riego y Drenaje, No. 56, Roma, Italia, 2006.

GRABOW, G. L., et al. Water Application Efficiency and Adequacy of ET-Based and Soil Moisture-Based Irrigation Controllers for Turfgrass Irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-Asce*, FEB, 2013, vol. 139, no. 2, pp. 113-123. ISSN 0733-9437.

INFORIEGO. Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (en línea). Disponible en: <http://www.inforiego.org/>

IRMAK, S.; and HAMAN, DZ. Performance of the Watermark (R) Granular Matrix Sensor in Sandy Soils. *Applied Engineering in Agriculture*, NOV, 2001, vol. 17, no. 6, pp. 787-795. ISSN 0883-8542.

MA, Ying; FENG, Shaoyuan and SONG, Xianfang. A Root Zone Model for Estimating Soil Water Balance and Crop Yield Responses to Deficit Irrigation in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 9, 2013, vol. 127, no. 0, pp. 13-24. ISSN 0378-3774.

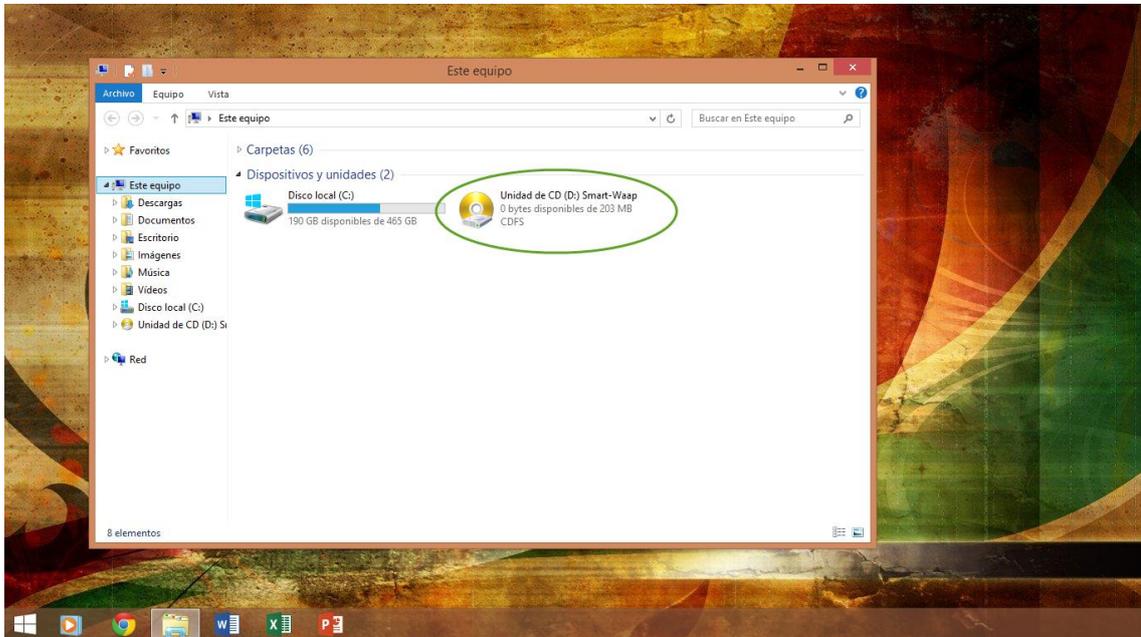
THOMPSON, R. B., et al. Using Plant Water Status to Define Threshold Values for Irrigation Management of Vegetable Crops using Soil Moisture Sensors. *Agricultural Water Management*, MAR 16, 2007, vol. 88, no. 1-3, pp. 147-158. ISSN 0378-3774.



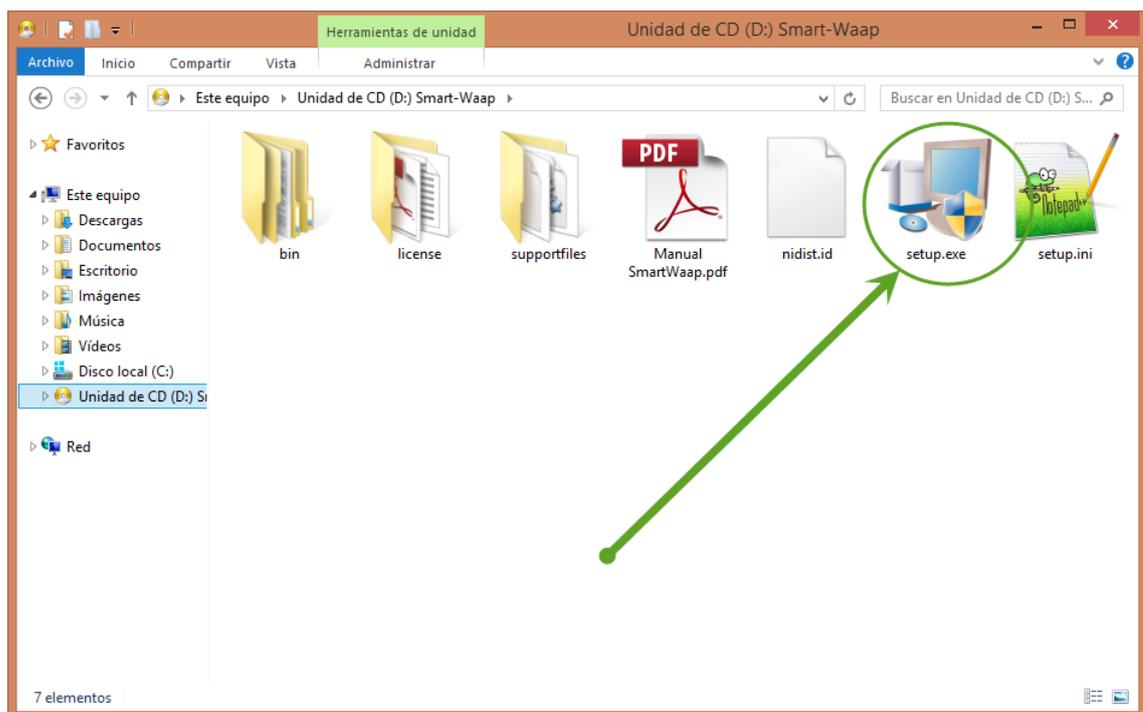
Anexo: Manual de Usuarios

A. Instalación

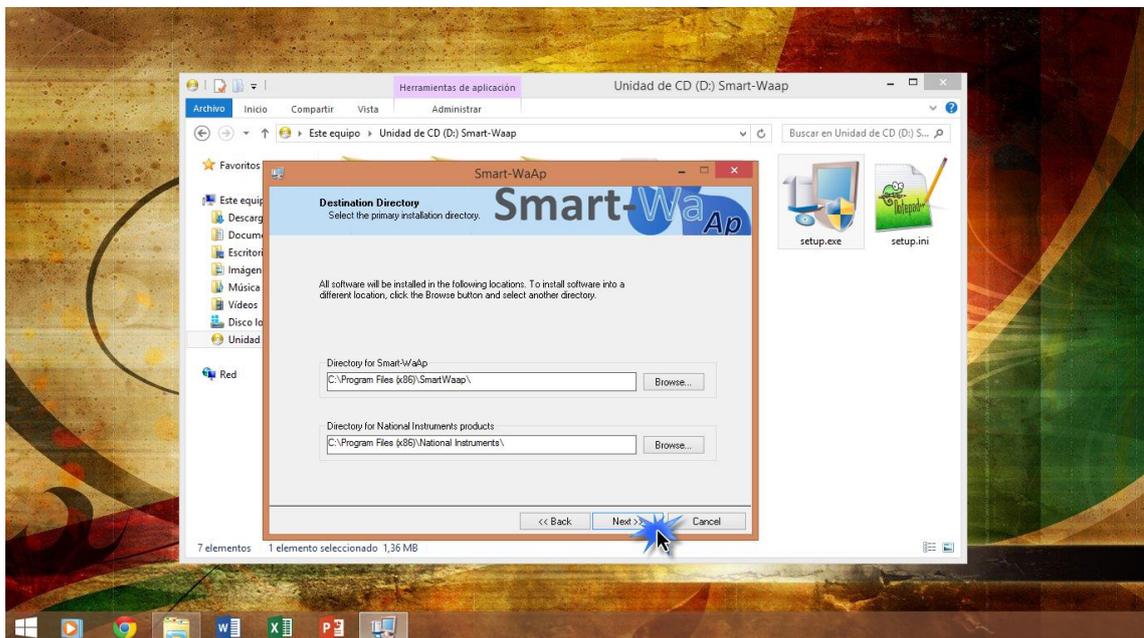
Se requiere el CD de instalación del Smart-WA_{Ap}.



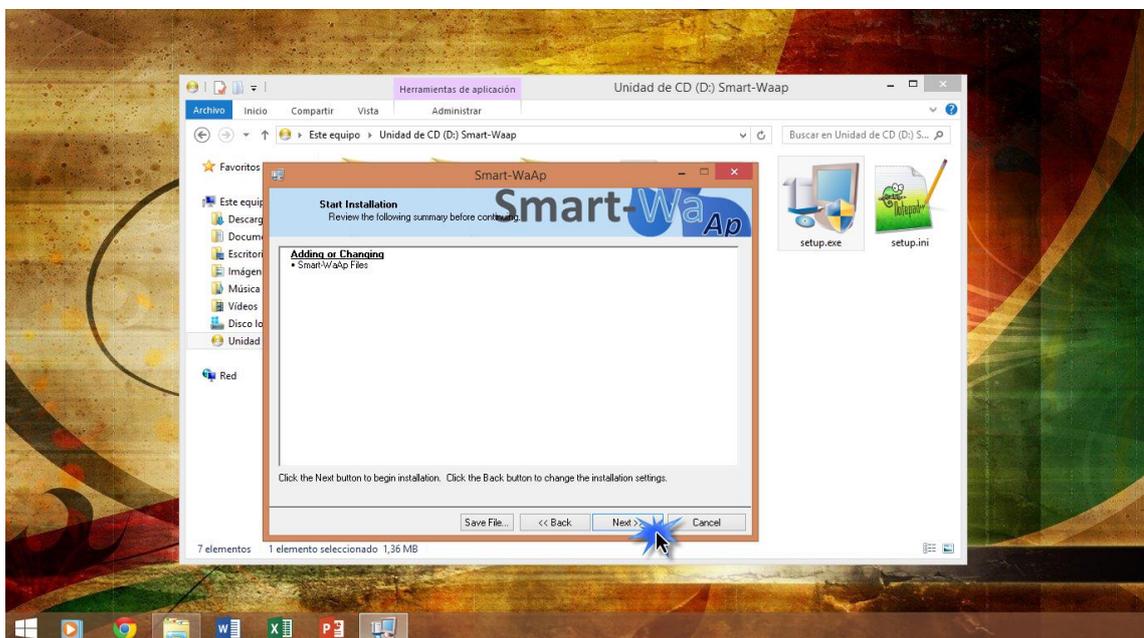
Dentro de los archivos presentes en el CD, el [setup.exe](#) instala la aplicación en el ordenador.



Una vez ejecutado el instalador se procede a la instalación, se recomienda que los directorios de instalación sean los que por defecto se sugieren.

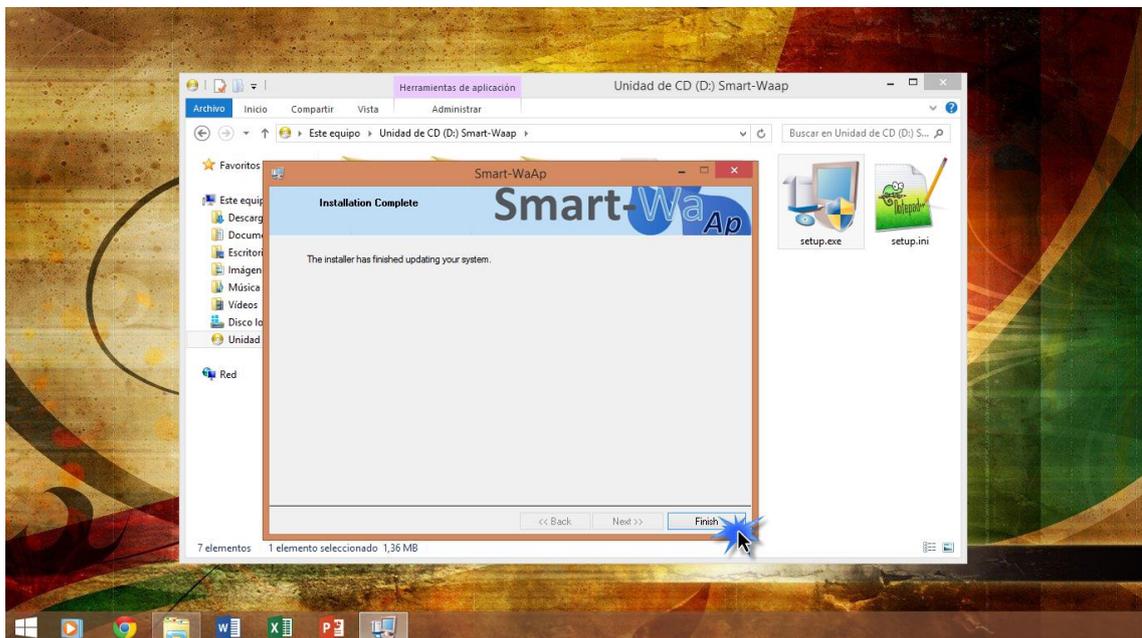


Siguientemente en **Next>>** para proseguir con la instalación.





La instalación finaliza exitosamente cuando la ventana de dialogo final muestra lo siguiente:



Si se produjese algún error durante la instalación se recomienda ejecutar el instalador ([setup.exe](#)) como administrador del equipo.

Se creará en el escritorio del ordenador el siguiente acceso directo para ejecutar la aplicación Smart-Wa_{Ap}. También puede accederse a la misma desde el menú inicio.



B. Utilización de la aplicación

El Smart-Wa_{Ap} está diseñado para ofrecer al usuario una experiencia agradable, de fácil e intuitivo uso. La aplicación consta de una ventana principal con opciones para cada proceso que el usuario desee realizar, desde configurar un cultivo para la posterior obtención balance hídrico, hasta la consulta online una base datos agrometeorológicos.

La pantalla de inicio de la aplicación tiene la siguiente apariencia:



Esta pantalla presenta las opciones de:

- Configuración para Primer Uso (A), donde se configura el cultivo sembrado y la parcela donde se encuentra.
- **Procesar Información Agrometeorológica** (B), donde se procesan los datos diarios de agrometeorológicos.

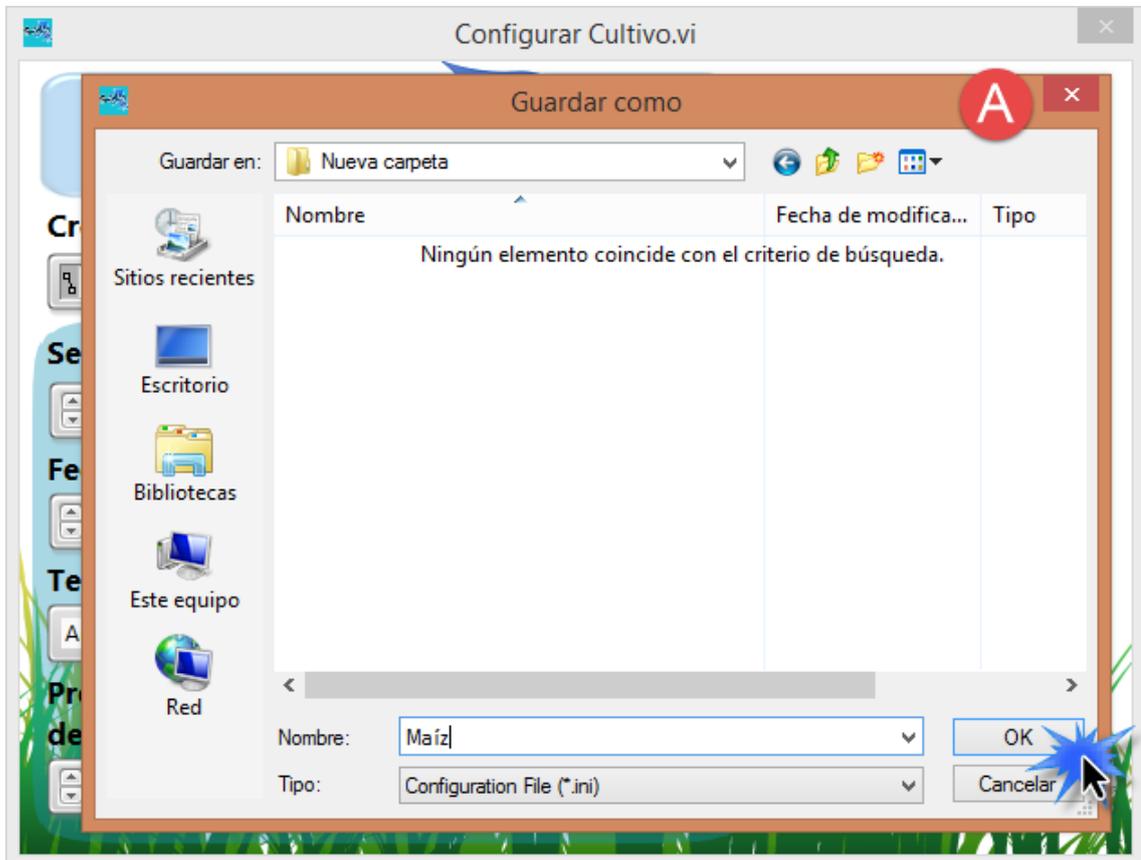
- Consultar datos Agrometeorológicos (C), opción con la cual se despliega una ventana que conduce a la base de datos de Agrometeorológicos del servicio InfoRiego.
- Visualizar Informe de Datos (D), donde se presenta un informe conteniendo los resultados de la necesidad hídrica del cultivo.
- Salir (E), sale de la aplicación Smart-Wa_{Ap}.

En los siguientes subapartados se detallan a profundidad las funciones de cada una de las opciones de la pantalla de inicio.

C. Configurar para Primer uso

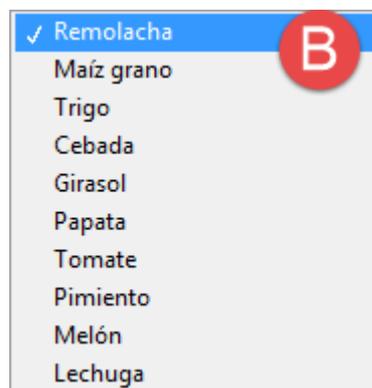
Para configurar un cultivo por primera vez se utiliza la opción de Configuración para Primer Uso, en ella se debe crear un archivo de configuración (.ini) que contendrá los parámetros utilizados por los algoritmos para calcular la Evapotranspiración del Cultivo (ET_c).

En **Cree su archivo de Configuración (A)** el usuario debe elegir una ruta y un nombre para el archivo, ejemplo: C:\Nueva carpeta\Maíz.ini para un la configuración de un cultivo de maíz, se sugieren direcciones de directorio y nombres cortos para los cultivos configurados.

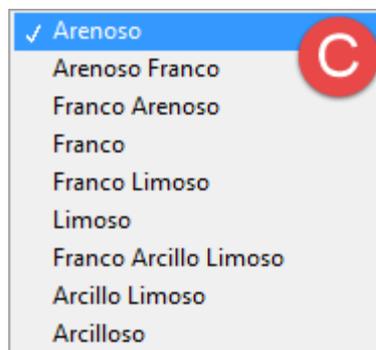


En el directorio asignado se crean archivos que se recomiendan no borrar ni modificar manualmente por parte del usuario, a excepción que dejen de utilizarse.

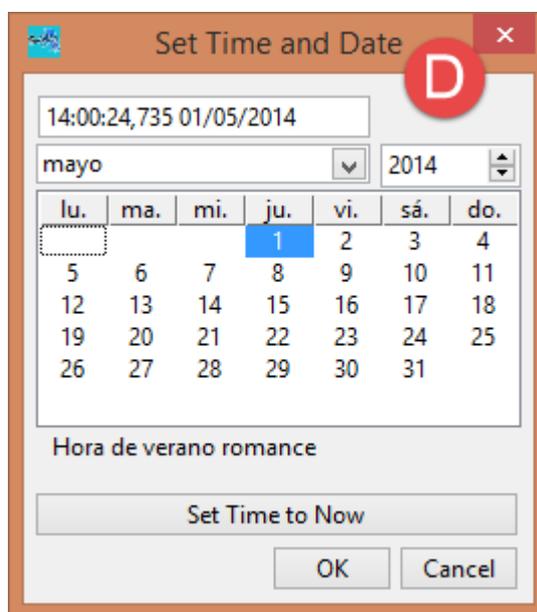
Seleccione su cultivo (B) el usuario selecciona un cultivo entre los presentados en la lista.



Textura del Suelo (C) se debe seleccionar la textura que concuerda con la de la parcela agrícola donde el cultivo es desarrollado. Seleccionar adecuadamente la clase textural ayuda a una mejor estimación del contenido hídrico del suelo y por lo tanto a una mayor precisión de los cálculos de dosificación de riego.



Fecha de Siembra (B) el usuario debe seleccionar la fecha en que el cultivo fue sembrado. La interfaz es un calendario navegable de meses y días. Las opciones de año deben ser verificadas con el fin de que no se produzcan errores en la ejecución de los algoritmos, el año visualizado está acorde con el del ordenador por lo tanto se recomienda tener la fecha y hora del ordenador en condiciones adecuadas.



Posteriormente se introducen la **Profundidad efectiva del Suelo** (E) en metros, utilizando comas para expresar los decimales.

La **Latitud geográfica** (F) se debe expresar en grados, preferentemente con sus respectivos decimales y la **Altitud** (G) en metros sobre el nivel del mar. Por ejemplo para una parcela agrícola en Palencia la Latitud puede tomar el valor de 42,01 (proveniente de 42° 01' 00" N) y una Altitud de 652 metros respecto al nivel del mar.

Al mantener el cursor del ratón sobre un control se visualiza la ayuda de como introducir todos los datos.

En las **Acciones** (H), se pueden **Procesar Datos** para crear el archivo de configuración o bien, **Cancelar** la operación y volver al a ventana principal del Smart-Wa_{Ap}. Si todos los parámetros fueron introducidos correctamente y se da a **Procesar Datos**, el mensaje observado será el siguiente:



El programa volverá a mostrar la ventana de inicio.

En el caso de que algún parámetro no sea digitado por el usuario o estos valores sean incorrectos, se mostrará un mensaje de error (ERROR!!), conteniendo el parámetro que debe ser revisado. Dando al botón de OK se vuelve a la ventana de configuración de cultivo para reintroducir datos.



D. Procesamiento de datos agrometeorológicos y cálculo de la Evapotranspiración del Cultivo.

D.1 Entrada de Datos Agrometeorológicos

Para calcular la Evapotranspiración del Cultivo se utiliza la opción de [Procesar Información Agrometeorológica](#) de la ventana principal.

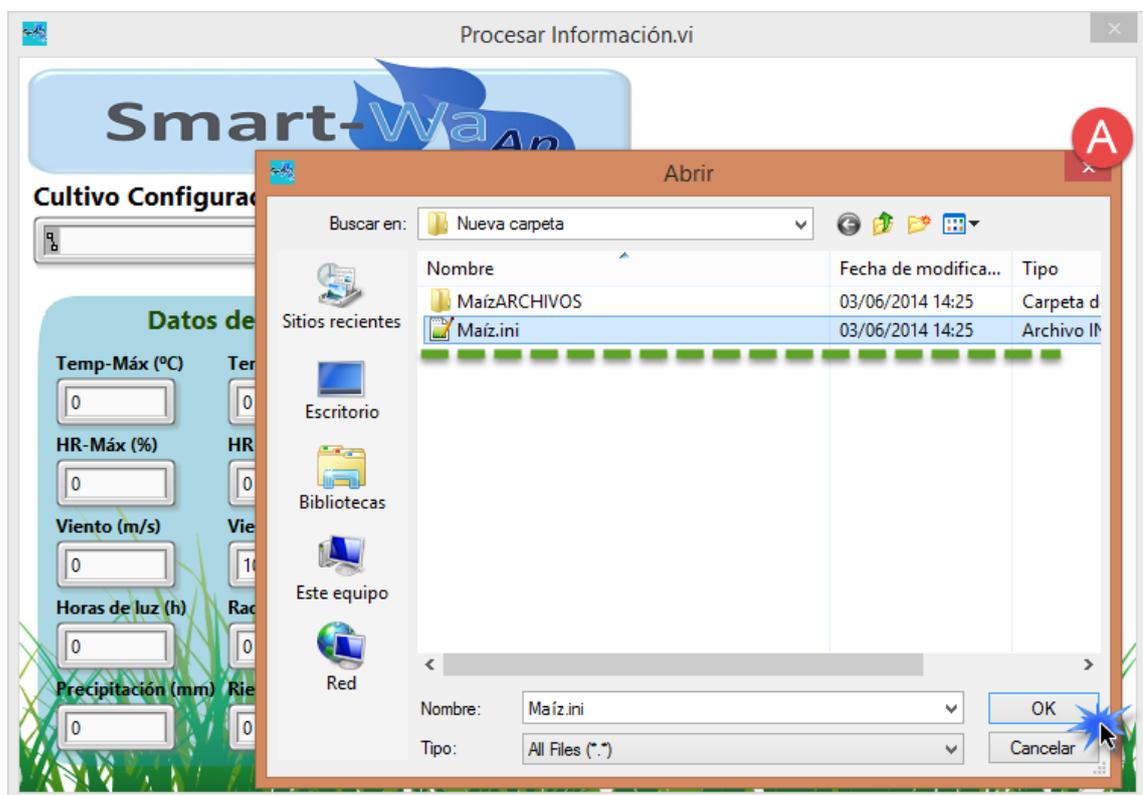
The screenshot shows the 'Procesar Información.vi' window. At the top is the 'Smart-Wa_{Ap}' logo. Below it is a 'Cultivo Configurado' field with a dropdown arrow (A). The main area is titled 'Datos del Tiempo' and contains two columns of input fields. The left column includes: Temp-Máx (°C) (B), HR-Máx (%) (C), Viento (m/s) (D), Horas de luz (h) (E), and Precipitación (mm) (F). The right column includes: Temp-Mín (°C) (B), HR-Mín (%) (C), Viento medido a (m) (D) with a default value of 10, Radiación solar (MJ/m2día) (E), and Riego aplicado (mm) (F). To the right of these fields is an 'Acciones' panel (G) with a green checkmark icon and a 'Procesar Datos' button, and a red 'x' icon and a 'Cancelar' button. A tooltip above the fields says 'Seleccione su archivo de Configuración creado'.

Se introducen los datos adquiridos de las estaciones Agrometeorológicas y el **Cultivo Configurado** (A) (detallado en la sección anterior), deben ser introducidos las **Temperaturas Máximas y Mínimas** (B) en grados centígrados, la **Humedad Relativa Máxima y Mínima** (C) en porcentaje, la **Velocidad del Viento** (D) en metros por segundo y en **Viento medido a (m)** el valor por defecto es 10 metros, debido a que las estaciones Agrometeorológicas miden la velocidad del viento a esta altura. Si se conoce que la altura de medición es diferente se recomienda modificar el valor por defecto de este parámetro.

A continuación, se debe introducir la cantidad de **Horas de luz**, en horas, o la **Radiación solar**, en Mega Jules por metro cuadrado y día, (E). Sólo uno de estos dos

parámetros es necesario para efectuar la estimación de la ET_c y en caso de introducir ambos saltará un mensaje de error pidiendo al usuario que introduzca sólo uno de ellos. En caso de haberse producido **Precipitación** o **Riego** los mismos deben ser introducidos, en milímetros de lámina de agua, para tenerlos en cuenta al realizar el balance del estado hídrico del suelo.

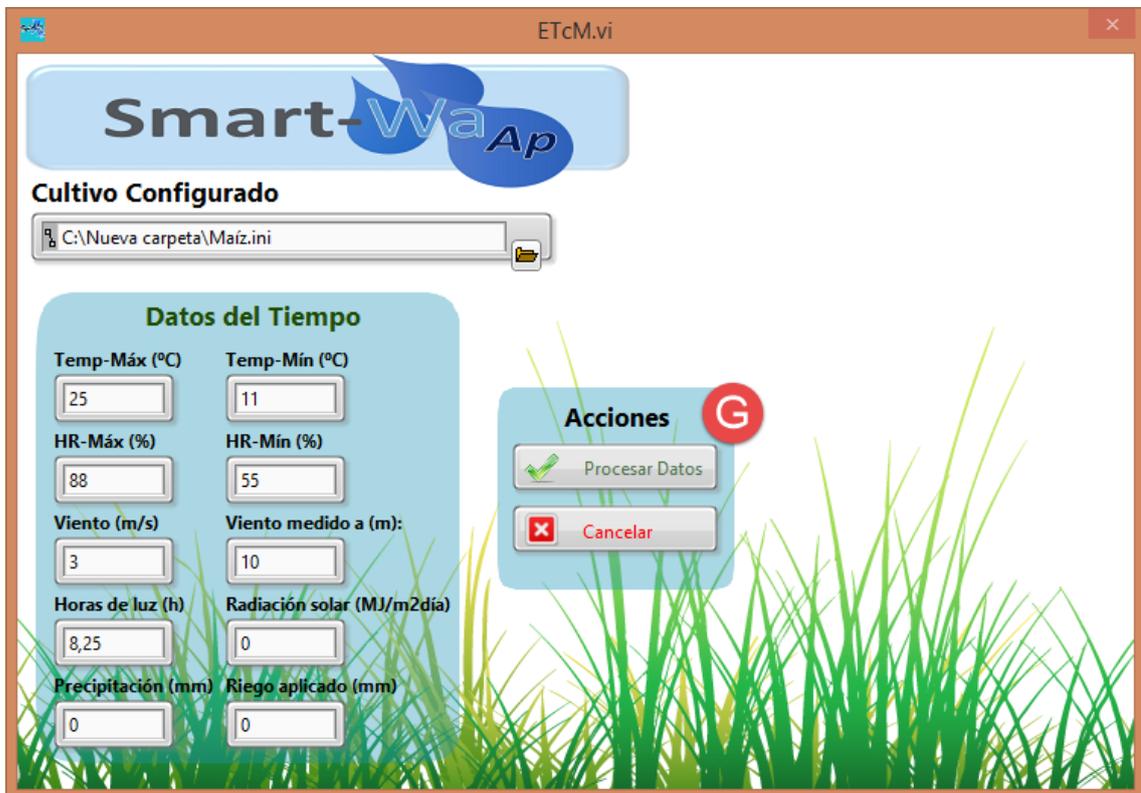
En **Cultivo Configurado** (A) se selecciona el archivo de configuración (.ini) creado anteriormente.



Posteriormente, se procede a digitar los parámetros agrometeorológicos descritos, como la disponibilidad de estos datos se producen al finalizar el día o mejor dicho al día siguiente, todos los datos de entrada deben ser los correspondientes a la fecha con día de retraso respecto al actual. También el balance de hídrico se computa al finalizar el día y los resultados obtenidos serán los del balance hídrico en concordancia a la fecha de los datos del tiempo introducidos por el usuario.



En las **Acciones** (G) podemos **Procesar Datos** para calcular la ET_c o **Cancelar** la operación y volver a la pantalla de inicio del Smart-Wa_{Ap}.



En caso de haber introducido incorrectamente algún parámetro se visualizará un mensaje de error (ERROR!!) detallando el o los parámetros que deben ser revisados.

En el siguiente caso de error se muestra que la temperatura máxima es menor que la mínima. Dando click al botón de Ok se retorna a la ventana anterior para reingresar datos.



D.2 Ejecución de los Algoritmos

Cuando los datos se encuentran correctamente digitados y se da a la opción de **Procesar Datos**, se ejecutan los algoritmos correspondientes para determinar el agua transpirada por la planta y la evaporada del suelo, además del balance hídrico del suelo y las recomendaciones de riego.

A la derecha de la ventana emergerán los siguientes resultados:

- **ET_c** (A), Evapotranspiración del Cultivo correspondiente al día de ayer.
- **Requerimiento de Riego** (B), LED indicador si actualmente se requiere reponer el agua del suelo.
- Datos del cultivo y la parcela (C), como la **Fecha de Siembra**, la **Textura** del suelo y el **Cultivo** en cuestión.
- Y finalmente (D), la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia (**ET_o**) y los componentes del Método del Coeficiente Dual del Cultivo, Coeficiente basal del cultivo (**K_{cb}**) y Coeficiente de evaporación del suelo (**K_e**).

Procesar Información.vi

Smart-Wa_{Ap}

Cultivo Configurado
C:\Nueva carpeta\Maíz.ini

Datos del Tiempo

Temp-Máx (°C)	Temp-Mín (°C)
25	11
HR-Máx (%)	HR-Mín (%)
88	55
Viento (m/s)	Viento medido a (m):
3	10
Horas de luz (h)	Radiación solar (MJ/m2día)
8,25	0
Precipitación (mm)	Riego aplicado (mm)
0	0

Resultados

ET_c (A): 4,72932

Requerimiento de Riego (B): [Empty]

Fecha de Siembra (C): 29/05/2014

Textura: Arcilloso

Cultivo: Maíz grano

ET_o (D): 4,36957 **K_{cb}**: 0,15 **K_e**: 0,932331

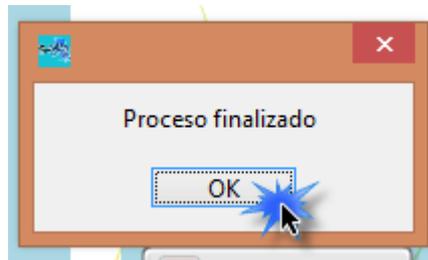
Proceso finalizado
OK
Cancelar



En caso de que al día de la fecha sea preciso aplicar riego para evitar ocasionar estrés hídrico al cultivo, el LED del **Requerimiento de Riego (B)** mostrará la siguiente apariencia:



Al dar click sobre el botón de Ok se vuelve a la ventana principal del Smart-Wa_{Ap}.



E. Consulta de Datos Agrometeorológicos

La opción de **Consultar datos Agrometeorológicos** despliega una ventana que conduce a la base de datos de Agrometeorológicos de InfoRiego, para acceder a la misma se requiere de conexión a internet. La base de datos proporciona información de datos agrometeorológicos de Castilla y León.

The screenshot shows the 'InfoRiego' web application interface. The browser address bar displays 'www.inforiego.org/opencms/opencms/info_meteo/ayer/index.html'. The page title is 'Datos de ayer'. The sidebar on the left contains a menu with the following items:

- Recomendación de riego
- Datos Agroclimáticos**
 - Datos de ayer
 - Por estación meteorológica
 - Por población
 - Por zona regable
 - Datos semana actual
 - Datos mes actual
 - Seleccionar periodo de datos
 - Resumen datos año meteorológico por estación
- Predicción de Precipitación
- Red de estaciones

The main content area shows a map of Castilla y León with three red arrows labeled A, B, and C pointing to different data selection options: 'Estación', 'Población', and 'Zona Regable'. Below the map, there are three dropdown menus corresponding to these options:

- A** Indique estación: A dropdown menu with a list of stations including 'Nava de la Asunción - S002', 'Almazán - S001', 'Hospicio del Campo - S0101', 'San Esteban de Gormaz - S002', 'FuenteCantos - S003', 'Mayorga - VA01', 'Finca Zamadueñas - VA101', 'Medina del Campo - VA102', 'Rueda - VA103', 'Torre de la Orden - VA02', 'Cande - VA03', 'Encinas de Esgueva - VA05', 'Tordesillas - VA06', 'Valbuena de Duero - VA07', 'Medina de Rioseco - VA08', 'Cobas de Trasmonte - ZA01', 'Vilarinho - ZA02', 'Villaverde - ZA04', 'Pozuelo de Támara - ZA05', and 'Barco de Babaco - ZA06'.
- B** Población: A dropdown menu with a list of municipalities including 'ARROYO', 'AMUSCO', 'ANTIGÜEDAD', 'ARBEAL', 'ARCOVADIA', 'ARENILLAS DE NUÑO PESEZ', 'ARENILLAS DE SAN PELAYO', 'AREÑOS', 'ARROYO', 'ASTUDELLO', 'AUTILLA DEL PINO', 'AUTILLO DE CAMPOS', 'AVILAÑTE DE LA PEÑA', 'AVUELA', 'AÑOZA', 'BAHILLO', 'BALTAJAS', 'BAQUERIN DE CAMPOS', 'BARAJONES', and 'BARCELINA DE CAMPOS'.
- C** Indique zona regable: A dropdown menu with a list of irrigation zones including 'Bajo Carrón', 'Bajo Cea y Valderadoury', 'Bajo Duración y Canal de Raza', 'Bajo Puyueles', 'Bercos de Avila-Pedraza', 'Bierzo', 'Campesía de Bultrago', 'Canal de Almazán', 'Canal de Aranda-Guina-Vid', 'Canal de Babalante-Vilagonzalo-Vitoria-Almar', 'Canal de Castilla-Campos', 'Canal de Ires', 'Canal de La Haya-Santa Teresa-Ejeme-Alba de Tormes', 'Canal de Macías Picavea', 'Canal de Raza', 'Canal de Zorra-Florida-Villamayor', 'Canal del Duero', 'Canales de Tormes-Zamora y San José', and 'Condado de Treviño'.

Por defecto la página dirige al sitio de consultas de los datos de ayer, los cuales deben ser introducidos para su procesamiento en el menú descrito en la sección anterior, sin embargo se pueden acceder a los registros semanales, mensuales o de otros periodos de tiempo seleccionados por el usuario. Los datos se consultan según Estación, Población o Zona Regable.



Todos los datos agrometeorológicos requeridos por el Smart-Wa_{Ap} pueden ser consultados en las planillas brindadas por InfoRiego.

Datos recogidos ayer en la estación VA101 - Finca Zamadueñas (Valladolid)
Dia:

Datos absolutos registrados:											
Temp. media	Temp. máx.	Temp. mín.	Humedad med.	Humedad máx.	Humedad mín.	Vel. viento	Dir. viento (°)	Vel. máx.	Dir. vel. máx. (°)	Radiación	Precipitación
°C	°C	°C	%	%	%	m/s	°(N=0°)	m/s	°(N=0°)	MJ/m ²	mm
23.88	32.06	14.65	43.11	76.1	17.68	1.16	20.95	5.76	261.6	25.97	0.0

Porcentajes de calmas (viento < 0.5m/s) y de temperaturas por tramos											
Calmas	No Calmas	-40° a -30°	-30° a -20°	-20° a -10°	-10° a 0°	0° a 10°	10° a 20°	20° a 30°	30° a 40°	40° a 50°	50° a 60°
15	85	0	0	0	0	0	30	49	21	0	0

Datos calculados:									
ETo(P.MON.)	Precipit. efectiva(P.MON.)	Horas insolación	Veloc. viento diurna (°)	Veloc. viento nocturna (°)	Recorrido viento	Radiación neta	Temp. media diurna	Hum. media diurna	
mm	mm	HH:mm	m/s	m/s	km/día	MJ/m ²	°C	%	
5.7	0.0	12.4	1.33	1.03	100.31	14.27	28.89	26.89	

Se pueden utilizar datos de otras fuentes, como termómetros o sensores propios u otros servicios de meteorología que el usuario prefiera.

F. Visualización de Informes

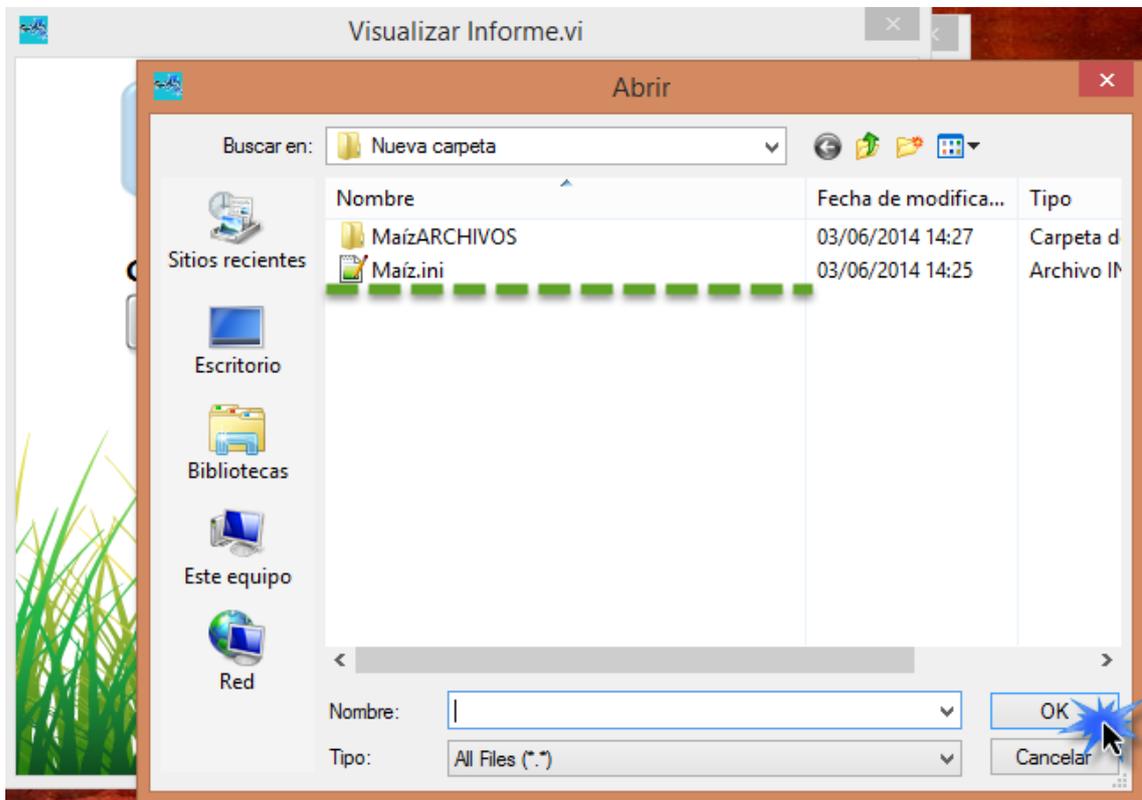
La opción de **Visualizar Informe de Datos**, sirve para visualizar de manera sencilla los resultados de las estimaciones hídricas resultantes de los cálculos.



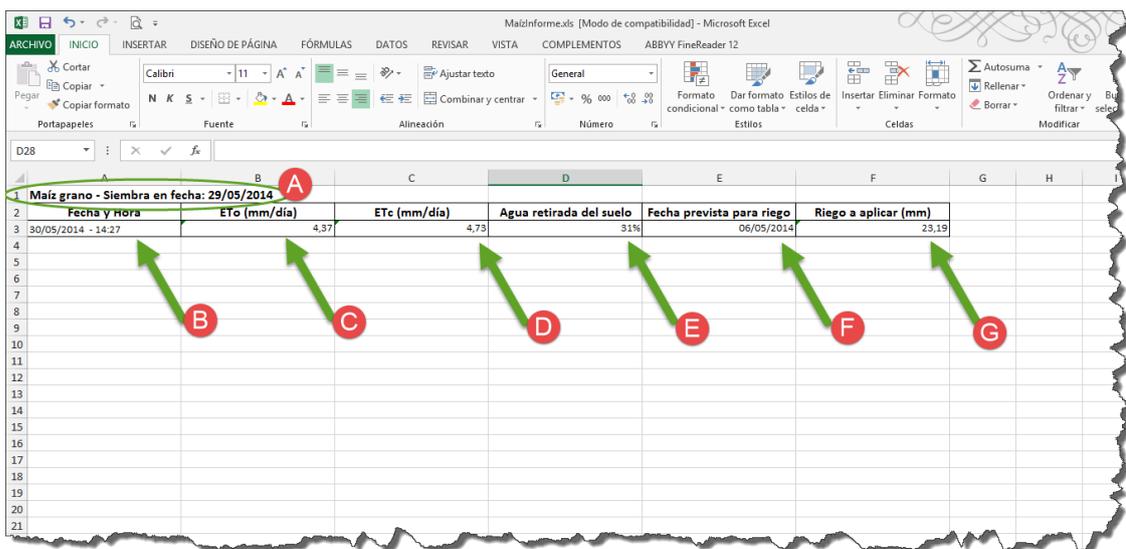
La ventana cuenta con un control para introducir el **Cultivo Configurado** (A) y un panel de **Acciones** (B), **Ver Informe** para abrir el informe del Cultivo Configurado y **Cancelar**, para volver a la ventana principal de la aplicación.



Se debe seleccionar el cultivo del cual quiere visualizarse el informe y posteriormente se da a la opción de **Ver Informe**.



Se despliega una hoja Excel que contiene los siguientes campos:





- Datos del Cultivo, indicando el cultivo en cuestión con su respectiva fecha de siembra (A).
- **Fecha y Hora**, la fecha y hora de realización de los cálculos, la hora se encuentra en concordancia con la zona horaria del ordenador (B).
- **ET_o (mm/día)**, la Evapotranspiración de la superficie de referencia, en milímetros de agua consumida por día (C).
- **ET_c (mm/día)**, Evapotranspiración del cultivo, en milímetros de agua consumida por día (D).
- **Agua retirada del suelo**, indica el porcentaje del agua ya retirada del suelo en relación al total del agua fácilmente aprovechable por las plantas (E).
- **Fecha prevista para riego**, en base a predicciones teniendo en cuenta los datos históricos de la Evapotranspiración del Cultivo, el software puede estimar el comportamiento del consumo de agua hasta en tres días y así dar una fecha prevista de riego. En caso de que se estime que no ocurrirá la consumición total del agua fácilmente aprovechable el programa dará el siguiente aviso: Sin previsión de Riego y en **Riego a aplicar** se mostrará el dígito cero (0).
- **Riego a aplicar**, expresa la cantidad de agua en milímetros que es necesario restituir al suelo para alcanzar un nivel óptimo de agua en el mismo. Debe tenerse en cuenta junto a la fecha prevista de realización. Este parámetro puede ser dinámico debido a que las predicciones de riego se realizan en base a estimaciones, y en algunas estimaciones puede ocurrir que se agote una cantidad superior al del agua fácilmente aprovechable y se empiece a consumir el agua disponible total. Sin embargo, nunca el riego sugerido será superior al necesario para sobrepasar el nivel de capacidad de campo.

A continuación se muestra un caso en el cual aún no es posible determinar la fecha de riego debido a que la Evapotranspiración es baja y que el suelo aún posee una gran cantidad de agua disponible para el cultivo.

1	Maíz grano - Siembra en fecha: 01/06/2014					
2	Fecha y Hora	ETc (mm/día)	Agua retirada del suelo	Fecha prevista para riego	Riego a aplicar (mm)	
3	01/06/2014 - 15:23	2,98	2,94	19%	Sin previsión de fecha de riego	0
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						

El balance hídrico diario y las Evapotranspiraciones del cultivo pueden ser utilizados por el usuario con el fin de que tome las decisiones respecto al momento del riego. El usuario puede optar por reponer diariamente la cantidad de agua transpirada por el cultivo y evaporada del suelo o bien realizar el riego cuando el porcentaje de agua fácilmente aprovechable sea bajo y el informe sugiera realizar el riego en una fecha determinada.

Luego de la ocurrencia de eventos de humedecimiento, ya sean lluvias o riegos, deben digitarse en la interfaz de [Procesar Información Agrometeorológica](#), los mismos se integran al balance hídrico, por lo tanto es muy importante registrar, cuantificar y computar dichos eventos.