

SALTIRSOIL: an application to predict soil salinity in irrigated well-drained lands

Fernando Visconti Reluy

Centro de Investigaciones sobre Desertificación-CIDE (CSIC/UEVG/GV)

Dept. Degradación y Conservación de Suelos

Camí de la Marjal s/n

46470 Albal, Valencia (SPAIN)

Website: <http://www.uv.es/fervisre/>

E-mail: fernando.visconti@uv.es

26th November 2010

Abstract

SALTIRSOIL (SALTs in IRRigated SOILs) is a computer program developed to calculate the ionic composition and electrical conductivity of saline, calcareous and gypsiferous soil solutions in the mid to long term in irrigated well-drained lands. SALTIRSOIL uses climate, soil, crop, irrigation water quality and management data. From the information about rainfall, evapotranspiration and irrigation water amounts and crop management and soil hydrophysical properties, SALTIRSOIL carries out a monthly water balance for a year span. From this balance it calculates a soil solution concentration factor regarding the irrigation water. The major ion composition of the irrigation water is multiplied by the concentration factor leading to the composition of a soil solution away from equilibrium. This composition is the input to the module SALSOLCHEM, integrated within SALTIRSOIL, which calculates the soil solution composition at equilibrium with calcite and gypsum minerals and soil CO₂.

SALTIRSOIL is written in Microsoft Visual Basic®. The data required to run the simulations must be saved in a Microsoft Excel® spreadsheet workbook with a predetermined structure upon which the application runs. The simulations are batch-run.

Contents

1. How to use this manual.....	2
2. Model description	3
2.1. Flowcharts	3
2.1.1. Flowchart of SALTIRSOIL	3
2.1.2. Flowchart of SALSOLCHEM.....	5

3. The computer program	7
3.1. Computer requirements	7
3.2. Acquisition and installation	7
4. Structure of the workbook associated with SALTIRSOIL	7
4.1. Sheet "Tree_crops"	8
4.2. Sheet "Annual_crops_growth"	8
4.3. Sheet "Annual_crops_irrigat"	8
4.4. Sheet "Clim_WS"	9
4.5. Sheet "Clim_data"	9
4.6. Sheet "Sim_batch"	10
4.7. Sheet "Clim_batch"	11
4.8. Sheet "Soil_batch"	11
4.9. Sheet "Wat_batch"	12
4.10. Sheet "Irrigat_batch"	12
4.11. Sheet "Crop_batch"	12
4.12. Sheet "SSol_batch"	13
4.13. Sheet "WBal_batch"	13
4.14. Sheet "Constants"	13
4.15. Sheet "Parameters"	14
5. How to use the program	14
5.1. Workbook preparation without SALTIRSOIL	14
5.2. Workbook preparation using SALTIRSOIL tools	16
5.2.1. Preparation of the crop data	17
5.2.1.1. Multiannual crops	17
5.2.1.2. Annual crops	18
5.2.2. Preparation of the climate data	19
5.3. Running the simulations	19
6. Quick start guide	21
7. References	22
8. Annex: list of SALTIRSOIL variables	22

1. How to use this manual

A brief description of the foundations and working of the SALTIRSOIL model is presented in this manual. In section 2 a brief description of the main algorithm of the SALTIRSOIL model is presented. The hypotheses, development and implementation of algorithms of SALTIRSOIL are described in Visconti (2009) and Visconti *et al.* (2010a). In section 2 only a brief summary of characteristics is shown. The interested user is referred to the those documents. Some brief indications about how to obtaining and installing SALTIRSOIL are provided in section 3. An in-detail description

of the SALTIRSOIL.xls workbook, essential to work with SALTIRSOIL, is given in section 4. How to use the program is indicated in section 5, whereas a quick start guide to use SALTIRSOIL is presented in section 6.

2. Model description

SALTIRSOIL is a deterministic, static and capacity model aimed at calculating the major salt composition and electrical conductivity at 25 °C of the soil solution at water saturation. However, other soil solutions such as field capacity and drainage can also be simulated with SALTIRSOIL.

2.1. Flowcharts

2.1.1. Flowchart of SALTIRSOIL

SALTIRSOIL is formed by two main modules (figure 1). The first one, called module A, calculates the water balance and soil solution concentration factor regarding the irrigation water. The second one, called module B, calculates the soil solution composition at equilibrium with calcite and gypsum minerals and soil solution CO₂ partial pressure. The module for chemical equilibrium calculation is called SALSOLCHEM (SALine SOLution CHEMistry).

These two modules are formed in turn by others as it is shown in figure 1. The first step when running a simulation is to calculate the reference evapotranspiration from climate data. Several different methods: Thornthwaite, Blaney-Criddle, Hargreaves and Penman-Monteith are available for the calculation of reference evapotranspiration. This last is, however, the one recommended when its data requirements are fulfilled (Allen *et al.*, 1998). On the other hand, the reference evapotranspiration data can be inserted in the model as input variables whether they have been calculated with another software or measured.

The evapotranspiration data is used along with the crop management data: planting date, crop growth length, rooting depth, shaded area, and irrigation management information: water volume and monthly number of irrigation days and basal crop coefficients to calculate a first value of the monthly actual crop evapotranspiration. The value of the actual crop evapotranspiration is used to calculate the soil water balance. In addition to this, information about rainfall (amount and number of rainy days per month), irrigation schedule and soil water holding capacity is also necessary for the soil water balance calculation. From the values the different terms

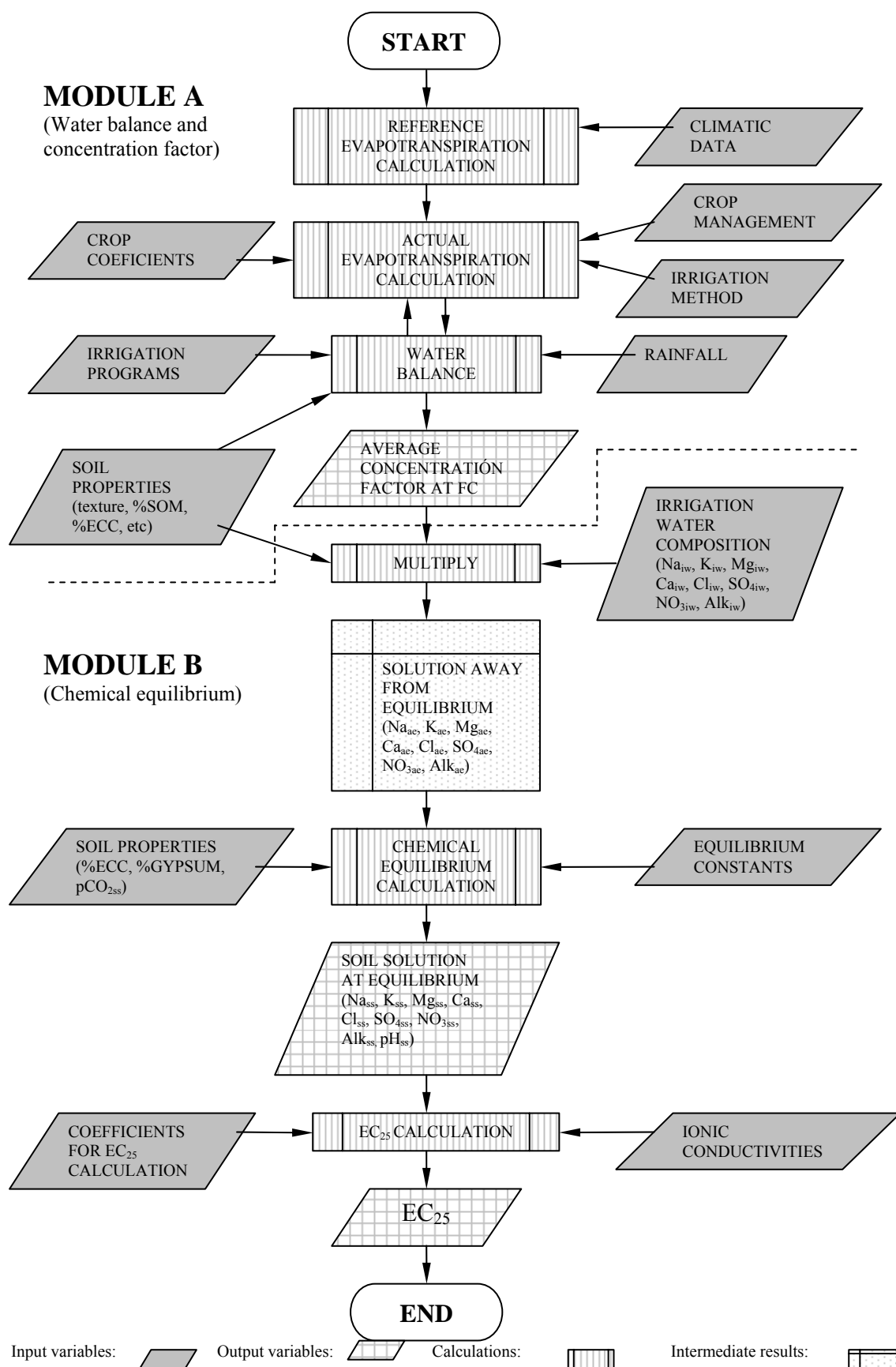


Figure 1. Flowchart of SALTIRSOIL

of the soil water balance present, the average monthly soil moisture is calculated. Since the value of the actual evapotranspiration depends on the soil water content, a value of evapotranspiration consistent with the soil water content is found by means of an iterative calculation. This is expressed with the double arrow relating the modules of actual evapotranspiration calculation and water balance in figure 1.

When the terms of the soil water balance of each one of the soil layers in which the soil has been computationally split are known, SALTIRSOIL calculates the soil solution concentration factor regarding the irrigation water. From this value and the soil water content at saturation and at field capacity, the soil solution concentration factor at saturation is calculated. This is the last value calculated by module A.

The major ion composition of the irrigation water is multiplied by the soil solution concentration factor, and hence the composition of a soil solution away from equilibrium is obtained. This composition is inserted in the chemical equilibrium calculation module SALSOLCHEM. Other data required to calculate the chemical composition at equilibrium are the soil chemical properties: percentage of calcium carbonate equivalent (%CCE), percentage of gypsum and CO_2 partial pressure; in addition to the chemical equilibrium constants.

The composition data of the soil solution at equilibrium are inserted in the equation for calculating the electrical conductivity at 25 °C, which requirements include along with two empirical coefficients, the limiting equivalent ionic conductivities of the major ions. The electrical conductivity of the soil solution is the last value calculated by SALTIRSOIL.

2.1.2. Flowchart of SALSOLCHEM

The module for chemical equilibrium calculation of SALTIRSOIL is shown in figure 2. It starts from a set of ion concentrations formed by sodium, potassium, calcium, magnesium, chloride, nitrate, sulphate and alkalinity along with the carbon dioxide partial pressure. It calculates the ionic activities, and the ionic activity products of calcium carbonate ($\text{IAP}_{\text{CaCO}_3}$), and calcium sulphate ($\text{IAP}_{\text{CaSO}_4}$). The ionic activity calculations are carried out by means of the SALSOLCHEMIS® module which is implemented within SALSOLCHEM. From the value of the ionic activity products and the presence or absence of soil carbonates and gypsum, the calcite and gypsum precipitation and/or dissolution is assessed.

If the ionic activity product of calcium carbonate is higher than the calcite solubility product, the calcium concentration and alkalinity that precipitate from the soil solution are calculated. If the ionic activity product of

calcium carbonate is lower than the calcite solubility product but there is calcite in the soil, the amount of this mineral that dissolves in the soil solution is computed. From this result the calcium concentration and alkalinity of the soil solution are calculated.

With this new concentration of calcium and alkalinity the ionic activities in the soil solution are calculated afresh, and the ionic activity product of calcium carbonate is compared again to the solubility product of calcite. If the calcium concentration calculated in this iteration is not significantly different to the concentration of calcium calculated in the previous one this calculation is finished.

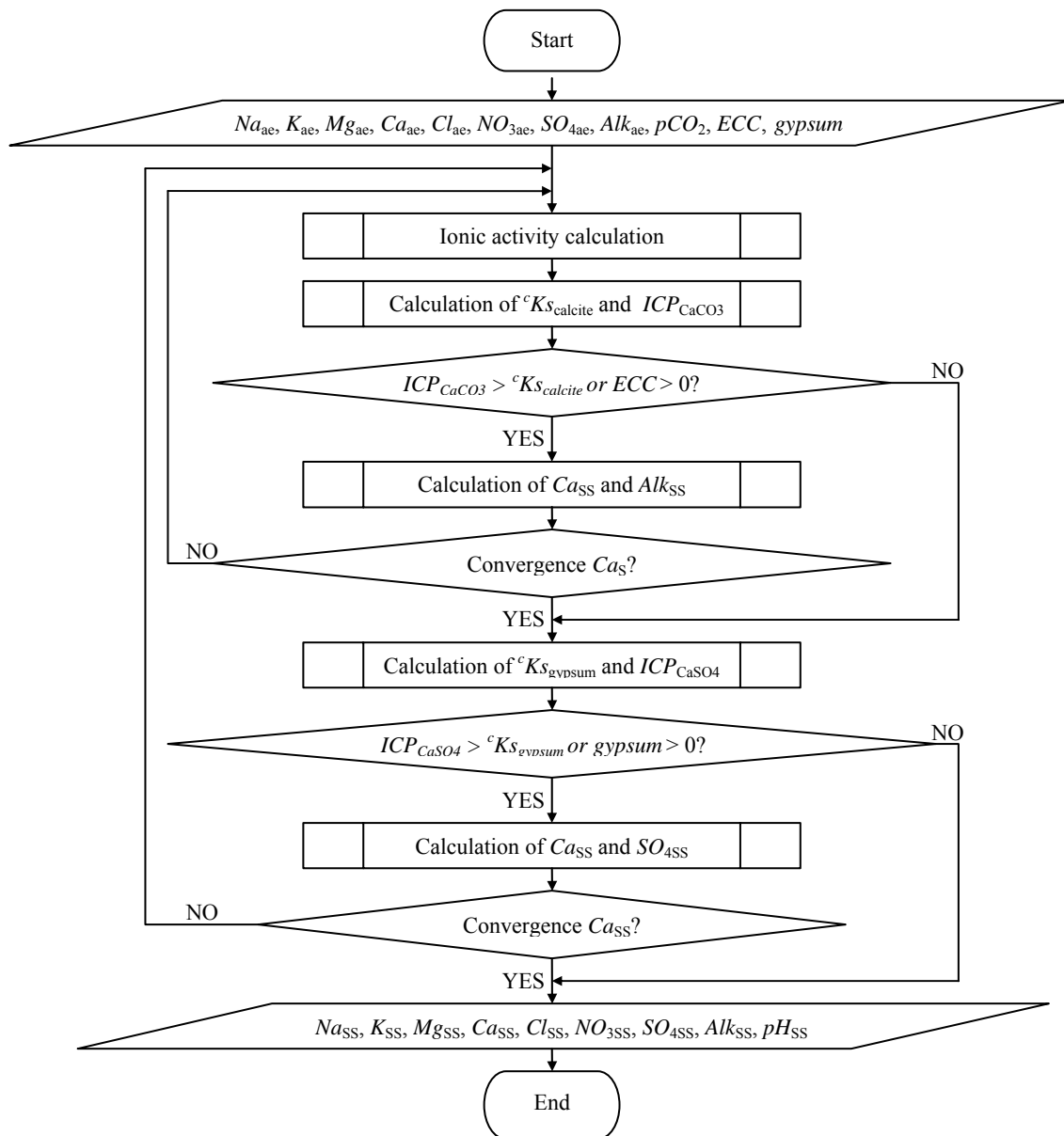


Figure 2. Flowchart of the algorithm of SALSOLCHEM

Next the equilibrium status with regard to gypsum is assessed in the same way but this time comparing the ionic activity product of calcium sulphate with the solubility product of gypsum.

3. The computer program

3.1. Computer requirements

For the optimum working of SALTIRSOIL the following software requirements have to be fulfilled: i) operating system Windows XP, Vista or higher, ii) Microsoft Excel 2003 or higher, and iii) Adobe Reader 6 or higher.

3.2. Acquisition and installation

SALTIRSOIL is freely downloadable from the following URL <http://www.uv.es/fervisre>. Along with the program a spreadsheet workbook with example data is also distributed.

4. Structure of the workbook associated with SALTIRSOIL

SALTIRSOIL works associated with a spreadsheet workbook, which is organized in fifteen sheets. When the program is installed in the computer the workbook SALTIRSOIL.xls is saved in the program folder SALTIRSOIL 1. The input data to the program have to be saved in this workbook, the output data are also written in this workbook (see Annex 1 for a complete list of SALTIRSOIL variables). The crop, climate and irrigation data required to prepare the simulations have to be saved in the five sheets that follow "Clim_WS", "Clim_data", "Tree_crops", "Annual_crops_growth" and "Annual_crops_irrigat". The sheet "Sim_batch" is used to indicate SALTIRSOIL the simulations to be run and the climate, soil, water, and irrigation and crop management data corresponding to each one (figure 3). These data are saved in the sheets "Clim_batch", "Soil_batch", "Wat_batch", "Irrigat_batch" and "Crop_batch" respectively. The data required to calculate the soil solution composition at equilibrium and its electrical conductivity are saved in the sheets "Constants" and "Parameters" respectively. The results regarding the concentration factors at field capacity, saturation, leaching fraction, annual water balance and the characteristics of the simulated soil solution are written in the sheet "SSol_batch". The results regarding the monthly water balance for each one of the simulations are written in the sheet "WBal_batch".

Common to all sheets except for "Constants" and "Parameters" is the fact that the first row is saved for the heading labels. The data have to be inserted from the second row on.

4.1. Sheet "Tree_crops"

The values of the monthly basal crop coefficients (K_{cb}), maximum rooting depth in cm (rd_{max} / cm) and maximum fraction of shaded area (as_{max}) for the tree crops have to be saved in this sheet. The data are inserted from the second row on with one row for each crop. The crop name is inserted in column A, the maximum rooting depth is inserted in column B, the monthly basal crop coefficients from January till December are inserted in columns C to N, finally the maximum fraction of shaded area is inserted in column O.

4.2. Sheet "Annual_crops_growth"

The information regarding the growth of annual crops is saved in this sheet. The crop data are inserted from the second row on with one row for each crop.

The crop name is inserted in column A. The information regarding the crop development is inserted in columns B to M. The value in cm of the maximum rooting depth (rd_{max} / cm) is inserted in column B. The values of the basal crop coefficients (K_{cb}) for each stage of development are inserted in columns C to F: initial (K_{cb_i}), development (K_{cb_d}), maturity (K_{cb_m}) and senescence (K_{cb_s}). The crop season length in days (L_{total}) is inserted in column L, the fraction of the season corresponding to each development stage is inserted in columns G to J: initial (L_i / L_{total}), development (L_d / L_{total}), maturity (L_m / L_{total}) and senescence (L_s / L_{total}). The maximum value of the fraction of shaded area (sa_{max}) is inserted in column K. Another additional information of the crop season not required by the model is inserted in column M (Date).

4.3. Sheet "Annual_crops_irrigat"

The information regarding the irrigation practices of the annual crops is saved in this sheet. The data are inserted from the second row on with one row for each crop.

The name of the crop is inserted in column A. The soil fraction wetted by the irrigation (ws) is inserted in column B. The total amount of irrigation water in mm is inserted in column C (I_{total} / mm), and the fraction of this

irrigation water applied in each one of the crop development stages: initial (I_i / I_{total}), development (I_d / I_{total}), maturity (I_m / I_{total}) and senescence (I_s / I_{total}) is inserted in columns D to G. The total number of irrigation days (If_{total} / day) is inserted in column L, and the fraction of these irrigation days corresponding to each crop stage: initial (If_i / If_{total}), development (If_d / If_{total}), maturity (If_m / If_{total}) and senescence (If_s / If_{total}) is inserted in columns H to K.

4.4. Sheet "Clim_WS"

The information about the location and characteristics of the weather stations is inserted in this sheet. The data are inserted from the second row on with one row for each station.

The name of the station is inserted in column A (Station), the latitude in degrees (latitude ($^{\circ}$)) in column B, the altitude in m (altitude / m) in column C, the province, region, country or state (province) where the station is located in column D, the UTM coordinates UTMx and UTM_y in column E and F respectively, the network of weather stations (system) in column G, and the time interval of the average weather data (Time span) in column H.

4.5. Sheet "Clim_data"

The climate data from the weather stations is saved in this sheet. The data are inserted from the second row on with twelve rows for each station, one for each month in order from January till December.

The station name (Station), which has to match up that in the previous sheet ("Clim_WS"), is inserted in column A, and the month in column N. The following monthly values are inserted in columns B to M. In column B the average temperature ($T_{avg} / ^{\circ}\text{C}$), in column C the average maximum temperature ($T_{max} / ^{\circ}\text{C}$), in column D the average minimum temperature ($T_{min} / ^{\circ}\text{C}$), in column E the average relative air humidity ($RH_{avg} (\%)$), in column F the average relative maximum air humidity ($RH_{max} (\%)$), in column G the average relative minimum air humidity ($RH_{min} (\%)$), in column H the solar radiation at ground level ($R_s / \text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$), in column I the average number of insolation hours (insolation / h), in column J the average rainfall amount ($R / \text{mm month}^{-1}$), in column K the average number of precipitation days ($R_f / \text{day month}^{-1}$), in column L the daily average wind speed (wind / $\text{m s}^{-1} \text{ day}^{-1}$), in column M the average reference evapotranspiration ($ET_0 / \text{mm month}^{-1}$).

All this information is not always available for every station. In case of lack of data the corresponding column is left empty. Only the reference

evapotranspiration calculation methods with their data requirements fulfilled will be enabled in SALTIRSOIL.

4.6. Sheet "Sim_batch"

In this sheet the user saves the information featuring the simulations he/she wants to run. This information includes a unique code for each simulation (Scenario_id), along with the climate, soil, water, irrigation and crop management codes featuring each simulation. The data are inserted from the second row on with one row for each simulation.

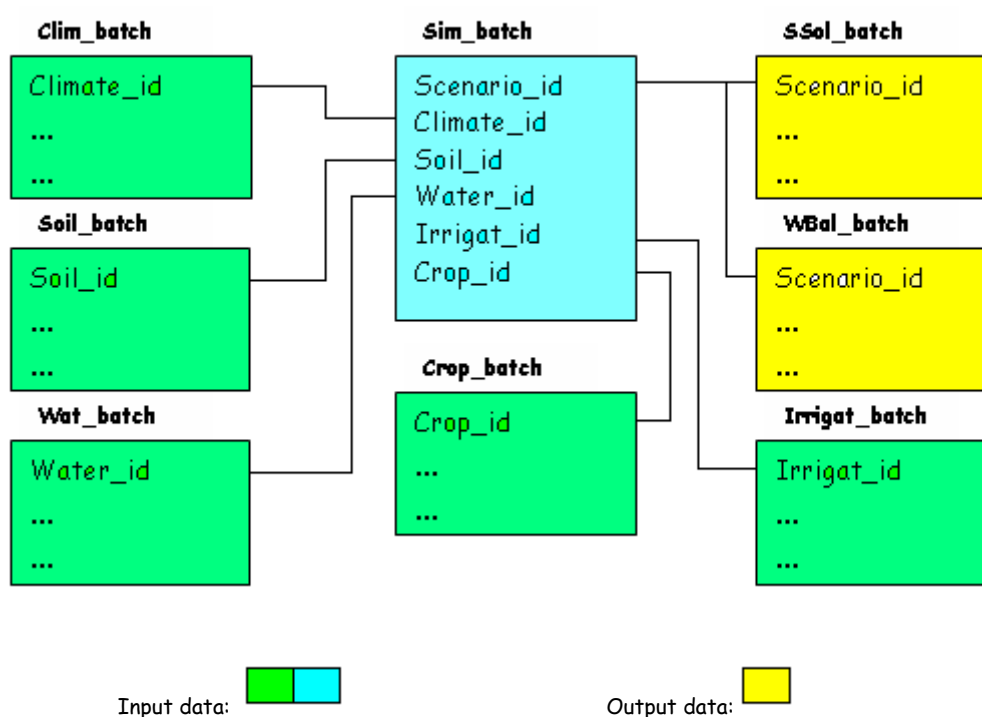


Figura 3. Relationships among the sheets "_batch"

The unique code for each simulation is inserted in column A. In columns B, C, D, E and F the user inserts a code for climate (climate_id), soil (soil_id), water quality (water_id), irrigation (irrigation_id) and crop management (crop_id) respectively. For each different code in each category there must be the corresponding record in the sheets "Clim_batch", "Soil_batch", "Wat_batch", "Irrigat_batch" and "Crop_batch" respectively (figure 3).

The sheet "Sim_batch" is also used to write the common features to all simulations as they are selected by the user when the simulations are set up (see section 4.3). These data are written in the columns G, H, I and J, and they are respectively the evaporative depth in cm (devap / cm), the soil depth for which the concentration factor is calculated (depth / cm), the

number of simulation layers (layers), and the datum related to the selection of the pedotransfer functions for calculating the soil moisture at saturation, field capacity and wilting point.

4.7. Sheet "Clim_batch"

The monthly climate data are saved in this sheet. The first row is saved for heading labels. The information is inserted from the second row on with twelve rows for each simulation, one for each month in order from January till December.

In column A the climate code is inserted (Climate_id). In columns B, C and D respectively, the user inserts the monthly values of rainfall in mm (R / mm), number of rainy days (Rf / day) and reference evapotranspiration in mm (ET_0 / mm) are inserted. Finally, the name of the month is inserted in column E.

4.8. Sheet "Soil_batch"

The soil data required to carry out the simulations are saved in this sheet. The information is inserted from the second row on with as many rows as soil layers were sampled, e.g. if three soil layers have been sampled (0-30 cm, 30-60 cm and 60-90 cm), there must be three rows for that soil; if the number of sampled layers is five (0-10 cm, 10-30 cm, 30-65 cm, 65-100 cm y 100-150 cm), there must be five rows for that soil.

The soil code (Soil_id) is inserted in column A. The upper and lower limits in cm (top / cm and bottom / cm) of the sampled soil layers are inserted in columns B and C. In columns D, E and F the percentages of the textural fractions sand, silt and clay (sand (%), silt (%) and clay (%)) are respectively inserted. In columns G, H and I the user inserts the gravimetric soil moisture at saturation in g/g ($\theta_{g_{sat}}$ / g g⁻¹), volumetric moisture at field capacity in mm/mm ($\theta_{v_{fc}}$ / mm mm⁻¹), and also volumetric moisture at wilting point in mm/mm ($\theta_{v_{wp}}$ / mm mm⁻¹). The bulk density is inserted in column J, if this value is not available the bulk density of the soil at field capacity (ρ_{fc} / g cm⁻³) as it is determined with the Richards pressure plates should be inserted, the percent of stones (stones (%)) is inserted in column K, the percentage of calcium carbonate equivalent (CCE(%)) in column L, the percentage of soil organic matter (SOM (%)) in column M, the percentage of soil gypsum (Gypsum (%)) in column N, and the logarithm to base 10 of the partial pressure of carbon dioxide (log pCO₂) in column O.

4.9. Sheet "Wat_batch"

The analytical data of the irrigation water are saved in this sheet. The information is inserted from the second row on with one row for each different irrigation water quality.

The water code (Water_id) is inserted in row A. The concentrations in mmol L^{-1} of each one of the ions are inserted in columns B to I in the following order: sodium ($[\text{Na}^+]_{\text{iw}} / \text{mmol L}^{-1}$), potassium ($[\text{K}^+]_{\text{iw}} / \text{mmol L}^{-1}$), calcium ($[\text{Ca}^{2+}]_{\text{iw}} / \text{mmol L}^{-1}$), magnesium ($[\text{Mg}^{2+}]_{\text{iw}} / \text{mmol L}^{-1}$), chloride ($[\text{Cl}^-]_{\text{iw}} / \text{mmol L}^{-1}$), nitrate ($[\text{NO}_3^-]_{\text{iw}} / \text{mmol L}^{-1}$), sulphate ($[\text{SO}_4^{2-}]_{\text{iw}} / \text{mmol L}^{-1}$) and finally alkalinity in units of meq L^{-1} ($\text{Alk}_{\text{iw}} / \text{meq L}^{-1}$). In columns J and K respectively the pH (pH_{iw}) and electrical conductivity in dS m^{-1} ($\text{EC}_{\text{iw}} / \text{dS m}^{-1}$) are inserted as additional data (not necessary to carry out the simulations).

4.10. Sheet "Irrigat_batch"

The information featuring the irrigation management is inserted in this sheet. The information is inserted from the second row on with one row for each simulation. This sheet can be filled manually for multiannual crops or can be filled with a SALTIRSOIL tool calculating the monthly values from the crop stage values saved in the sheet "Annual_crops_irrigat".

The irrigation management code (Irrigat_id) is inserted in column A. The monthly amount of irrigation water in order from January ($I_{\text{jan}} / \text{mm}$) till December ($I_{\text{dec}} / \text{mm}$) is inserted in columns B to M. The monthly number of irrigation days in order from January ($I_{\text{f}_{\text{jan}}} / \text{day}$) till december ($I_{\text{f}_{\text{dec}}} / \text{mm}$) are inserted in columns N to Y. The fraction of wetted soil (ws) is inserted in column Z. The percentages of soil water extracted by the plant roots from each quarter of the rooting depth from the shallow one ($\%ET_1$) to the deepest ($\%ET_4$) are inserted in columns from AA to AD.

4.11. Sheet "Crop_batch"

The information featuring the development of crops is inserted in this sheet. The information is inserted from the second row on with twelve rows for each simulation, one row for each month of the year in order from January till December. As with the information in the previous sheet, the data in this sheet can be inserted manually, or with the aid of a SALTIRSOIL tool (see section 4.2).

The crop code (Crop_id) is inserted in column A, this code is repeated twelve times, one for each month. The monthly basal crop coefficients

(Kcb) are inserted in column B, the monthly average root depths (rd / cm) are inserted in column C, and finally the monthly average fraction of shaded area (sa) is inserted in column D.

4.12. Sheet "SSol_batch"

In this sheet SALTIRSOIL writes the results of the simulations with one row for each simulation. In column A the unique code for each simulation (Scenario_id) is written. In columns B and C the soil solution concentration factors at field capacity (ffc) and saturation (fsat) are respectively written, in column D the leaching fraction (LF), in columns E, F, G, H, I and J the annual amounts of rainfall (R / mm yr⁻¹), irrigation (I / mm yr⁻¹), drainage (D / mm yr⁻¹), reference evapotranspiration (ET₀ / mm yr⁻¹), crop evapotranspiration (ET_c / mm yr⁻¹) and actual evapotranspiration (ET_a / mm yr⁻¹) are respectively written. In column K the program writes the soil solution for which the composition, pH and conductivity have been calculated. In columns L, M, N, O, P, Q and R the concentrations in mmol L⁻¹ of sodium ([Na⁺]_{ss} / mmol L⁻¹), potassium ([K⁺]_{ss} / mmol L⁻¹), calcium ([Ca²⁺]_{ss} / mmol L⁻¹), magnesium ([Mg²⁺]_{ss} / mmol L⁻¹), chloride ([Cl⁻]_{ss} / mmol L⁻¹), nitrate ([NO₃⁻]_{ss} / mmol L⁻¹) and sulfate ([SO₄²⁻]_{ss} / mmol L⁻¹) are respectively written. The alkalinity in meq L⁻¹ (Alk_{ss} / meq L⁻¹), the pH (pH_{ss}) and the electrical conductivity at 25 °C (EC_{ss} / dS m⁻¹) are respectively written in columns S, T and U.

4.13. Sheet "WBal_batch"

In this sheet SALTIRSOIL writes the results of the soil water balance from the second row on with twelve rows for each simulation, one for each month in order from January till December.

The simulation code (Scenario_id) is written in column A. From column B to G the following monthly data, all in mm, are written: the rainfall (R / mm month⁻¹) in column B, the irrigation water amount (I / mm month⁻¹) in column C, the reference evapotranspiration (ET₀ / mm month⁻¹) in column D, the crop evapotranspiration (ET_c / mm month⁻¹) in column E, the actual evapotranspiration (ET_a / mm month⁻¹) in column F, and finally the drainage (D / mm month⁻¹) in column G.

4.14. Sheet "Constants"

The values of the thermodynamic constants required to calculate the composition of the soil solutions at equilibrium are saved in this sheet.

In row 5 there are several cells where the logarithm to base 10 of the following constants is inserted: Henry's constant of carbon dioxide solubility in water (K_H), water self-ionization constant (K_W), first and second carbonic acid dissociation constants (K_{a1} and K_{a2}), and the calcite and gypsum solubility products (K_{sCaCO_3} and K_{sCaSO_4}).

In the framed matrix (rows 13 to 18 and columns C to F) the logarithm to base 10 of the formation constants of each one of the ion pairs used in this program are inserted. An empty or filled-with-a-zero cell is interpreted as non formation of the corresponding ion pair.

4.15. Sheet "Parameters"

The values of the parameters used by SALTIRSOIL to calculate the electrical conductivity at 25 °C (EC_{25} , EC_{ss}) from the major ion composition are saved in this sheet. The sheet is organized in four boxes. In the upper box (rows 4 to 7, columns B to M) the following data are inserted: electric charge, ionic mobility and molar mass of the free ions hydronium, oxydrile, sodium, potassium, calcium, magnesium, chloride, nitrate, sulphate, bicarbonate and carbonate along with the neutral species carbonic acid. In the following boxes (rows 10 to 11, columns B to M and rows 14 to 15, columns B to M) the values of electric charge, limiting equivalent ionic conductivity for every one of the ion pairs are inserted. In the bottom box (rows 18 to 20, columns B to E) the coefficients of the empirical equation to calculate the electrical conductivity (Visconti *et al.*, 2010b) have to be inserted, intercept in cell E19 and slope in cell E20.

5. How to use the program

The concept of using SALTIRSOIL consists of three steps: 1) preparation of the workbook without SALTIRSOIL, 2) preparation of the workbook using SALTIRSOIL tools, and 3) carrying out of the simulations (figure 4).

5.1. Workbook preparation without SALTIRSOIL

In this first step the user prepares the simulations manually using the workbook alone. The workbook distributed with the application and originally saved in the program folder SALTIRSOIL 1 can be copied and pasted in whatever location within the computer. The user inserts the data in the sheets indicated in box 1 left. The soil data in the sheet "Soil_batch" and the irrigation water quality data in the sheet "Wat_batch". The

information about the growth of multiannual crops is inserted in the sheet "Tree_crops" and that of annual crops in the sheet "Annual_crops_growth". The information about the irrigation management of multiannual crops is inserted directly in the sheet "Irrigat_batch" and that of annual crops in the sheet "Annual_crops_irrigat". Next the user inserts the climate information in the sheets "Clim_WS" and "Clim_data". Finally, the user inserts the data of constants and parameters required to carry out the calculation of composition and electrical conductivity of the soil solution in the sheets "Constants" and "Parameters".

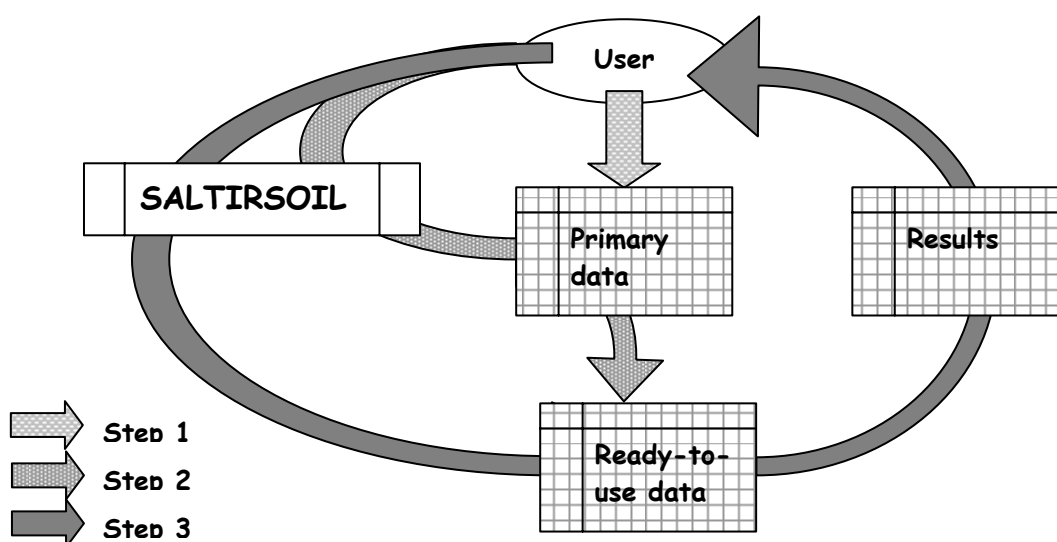


Figure 4. Carrying out the simulations in three steps.

Box 1. Ways of preparing the data required to work with SALTIRSOIL.

Manual insertion of data in the following sheets	Calculation from the data in the other sheets using SALTIRSOIL tools
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Constants ➤ Parameters ➤ Tree_crops ➤ Annual_crops_growth ➤ Annual_crops_irrigat ➤ Clim_WS ➤ Clim_data ➤ Sim_batch (only codes) ➤ Soil_batch ➤ Wat_batch ➤ Irrigat_batch (only multiannuals) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Crop_batch ➤ Clim_batch ➤ Irrigat_batch (only annuals) ➤ Sim_batch (common variables) ➤ SSol_batch ➤ WBal_batch

5.2. Workbook preparation using SALTIRSOIL tools

In this second step the user finishes preparing the simulations calculating the remaining required data using the SALTIRSOIL tools mainly in the sheets "_batch" (box 1 right). These are the data about crop development in the sheet "Crop_batch" and the climate information in the sheet "Clim_batch". In the case of annual crops the data about the irrigation management has to be calculated also in the sheet "Irrigat_batch".

We initialize SALTIRSOIL and the program shows the program workspace shown in figure 5. The menu bar of the program contains one called "File", another called "Simulations", another called "Tools" and another called "Help". We expand the "File" menu to see that it contains two submenus called "Workbook" and "Exit". Through the submenu "Workbook" we open a dialog box, which allow us to search and open the workbook where we have previously saved the information needed by SALTIRSOIL. When the program is installed the workbook is saved in the program folder, however the user can change the location and name of the workbook according to his/her convenience. Once the workbook has been opened it is not closed until the work session is finished.



Figura 5. SALTIRSOIL workspace.

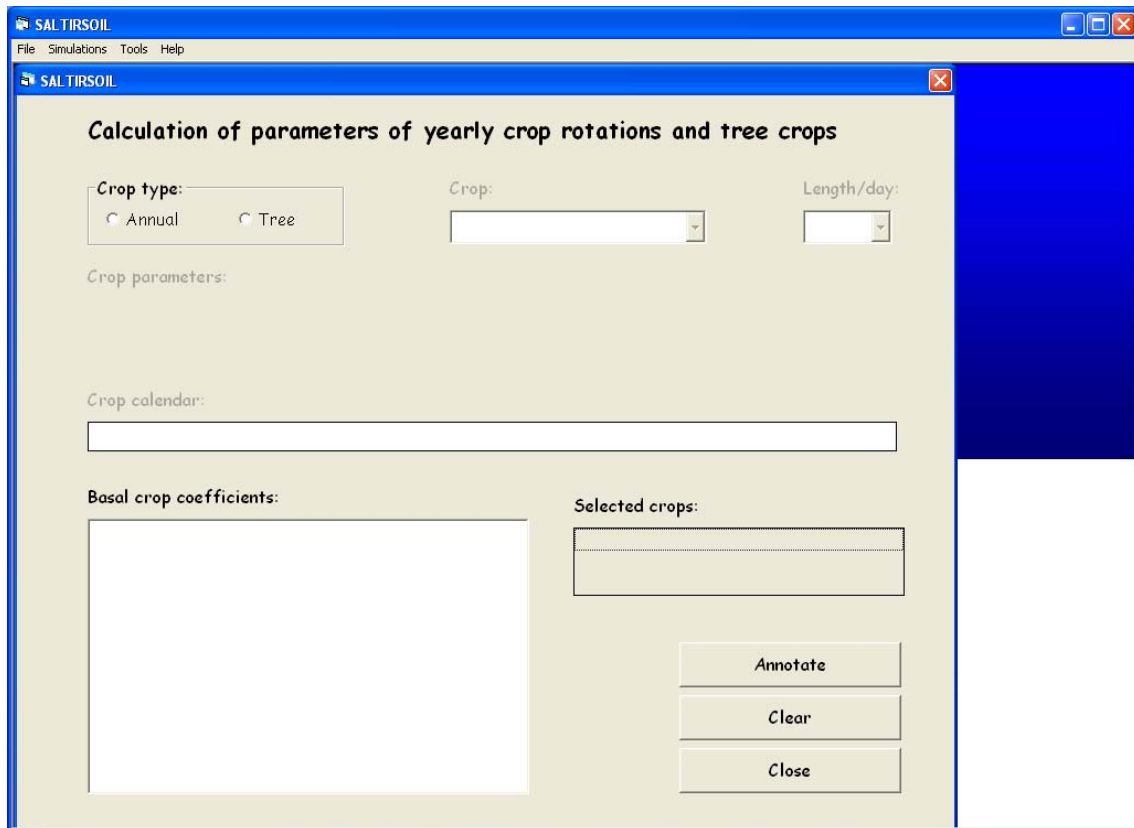


Figure 6. Dialog box to calculate the crop coefficients, rooting depth and shaded area.

5.2.1. Preparation of the crop data

In order to prepare the crop data we expand the "Tools" menu and click the "Crop parameters" submenu. A dialog box called "Calculation of parameters of yearly crop rotations and tree crops" is opened (figure 6). In this screen we select to work either with multiannual crops choosing the option "Tree" in the box "Crop type" or with annual crops choosing the option "Annual" in the same box.

5.2.1.1. Multiannual crops

When the option "Tree" has been selected we expand the drop down list "Crop" and choose one of the crops saved in the sheets "Tree_crops". In the data grid "Crop parameters" and in the graph "Basal crop coefficients" the monthly basal crop coefficients are shown. This information can be annotated in the sheet "Crop_batch". In order to do so we click the "Annotate" button and write a code for this crop, it can be the crop name or another name. The annotation of the monthly crop coefficients is accompanied by the monthly rooting depth and shaded area.

5.2.1.2 Annual crops

When the option "Annual" has been chosen in the box "Crop type", we expand the drop down list "Crop" and select one of the crops saved in the sheets "Annual_crops_growth" and "Annual_crops_irrigat". In the data grid "Crop parameters" the basal crop coefficients and length of each growth stage (Allen *et al.*, 1998) are shown. The total length of the crop in days is shown in the drop down list called "Length / day". This number of days can be changed choosing within this list another number. When we have selected the crop and its length, we choose the sowing date in the calendar picture called "Crop calendar" located in the centre of the dialog box (figure 7). In order to do so we move the cursor over the calendar picture; on doing it the date corresponding to the position of the cursor is shown. We click the calendar when we get the date we like, and the program asks us if we would like to add this crop. We click "Yes" and the crop season will appear painted in the calendar picture. The sowing and harvest dates will be written along with the crop name in the box "Selected crops" and the monthly basal crop coefficients will be graphed in the picture box "Basal crop coefficients".

Next we can select other crops, which can be added provided that they do not overlap (figure 7 right). When the selection of crops is completed, we click the "Annotate" button and write a name for the rotation. The basal crop coefficients, the rooting depth and the fraction of shaded area will be written in the sheet "Crop_batch". Also the information about the irrigation management will be written in the sheet "Irrigat_batch".

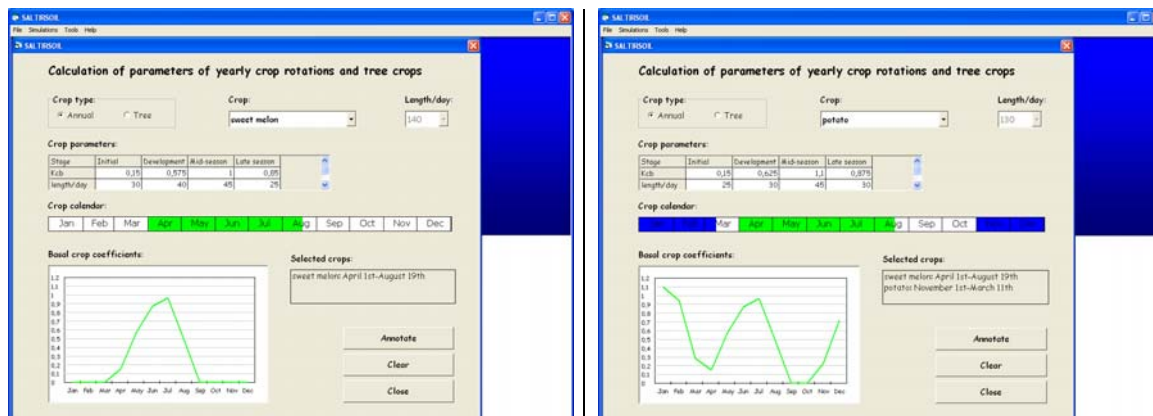


Figure 7. Calculation of the basal crop coefficients for melon (left) and melon-potato rotation (right).

5.2.2. Preparation of the climate data

We expand the menu "Tools" and make click in the submenu "Reference evapotranspiration" to open the dialog box "Calculation of reference evapotranspiration" (figure 8). In this box we expand the drop down list "Weather station" and choose the weather station which data we would like to use. When we select a weather station, the reference evapotranspiration calculation methods available for that station will be enabled. We choose one in the box "Available calculation methods" and the results will be graphed along with the average monthly temperature and rainfall in the "Climogram" picture. As before we annotate the values of the monthly average temperature, rainfall amount and reference evapotranspiration in the SALTIRSOIL workbook. In order to do that we click the "Annotate" button and write a code for the climate data. These will be written in the sheet "Clim_batch".

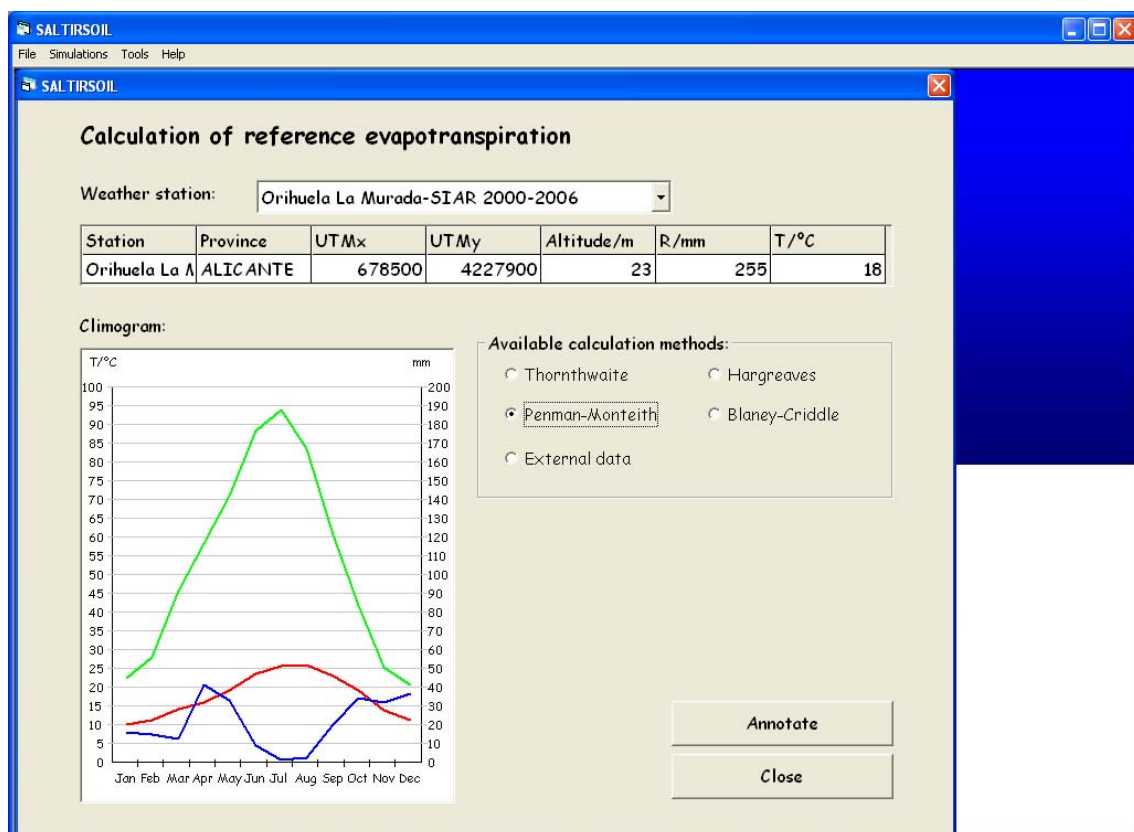


Figure 8. Dialog box to calculate the reference evapotranspiration.

5.3. Running the simulations

To carry out the simulations all the information in the "_batch" sheets must be completed (green and blue sheets in figure 3). This involves fill the identification information of the climate, soil, water quality, irrigation and

crop management in the sheet "Sim_batch". For each code "climate_id", "soil_id", "water_id", "irrigat_id" and "crop_id" written in this sheet there must be a set of climate, soil, water quality, irrigation and crop management data with the same code in the sheets "Clim_batch", "Soil_batch", "Wat_batch", "Irrigat_batch" and "Crop_batch" respectively (figure 3).

When we have made sure there is no data missing we expand the "Simulations" menu and select "Batch runs". The dialog box "Common variables to all simulations" appears (figure 9) where we choose the value of the general conditions of simulation: depth of evaporative soil layer in cm, depth of simulation in cm, and number of soil layers in which the soil is split to carry out the simulations. Also an option for the assessment of the soil water holding capacity, whether with measured data ("Empirical field capacity and wilting point") or through the use of the pedotransfer functions included in SALTIRSOIL, has to be chosen. Finally, the soil solution to be simulated has to be chosen in the box "Select a soil solution". This can be the soil solution at field capacity, at saturation or the drainage water. For each option in the dialog box there are default values.

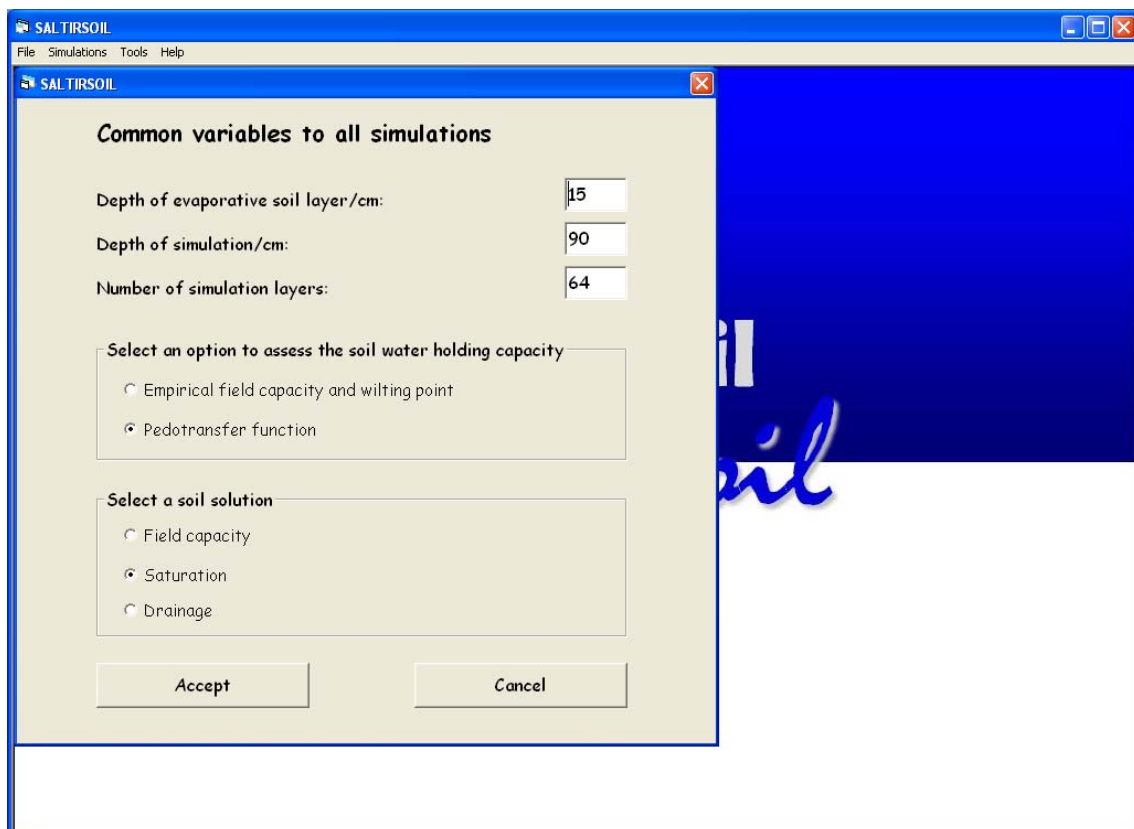


Figure 9. Dialog box where the common parameters to all simulations are selected and the model runs are started.

When this information has been chosen we click the "Accept" button and SALTIRSOIL carries out the simulations and writes the results in the

sheets "SSol_batch" and "WBal_batch", and the calculation options in the sheet "Sim_batch".

The program SALTIRSOIL is free downloadable for research, agricultural management and educational purposes.

Comments and suggested modifications aimed at improving it are welcomed and should be addressed to its author at the e-mail provided at the beginning of this document.

6. Quick start guide

Once the program has been installed we look for the SALTIRSOIL 1 folder, and inside it for the SALTIRSOIL.xls workbook. Usually this will not be the more appropriate location for the simulations data. Therefore we copy the workbook and paste it in another location. Next we open the workbook and read through the information it contains. The workbook is distributed with the information needed to carry out the simulation of a crop melon on a "Vega Baja" soil near the city of "Orihuela" and irrigated with water from the "Segura river". To check this look at the sheet "Sim_batch". To carry out other simulations more rows have to be filled. We have to key the information of the six first columns: "Scenario_id", "Climate_id", "Soil_id", "Water_id", "Irrigat_id" y "Crop_id". The rest of columns have to be left blank. Completing the information in the six first columns we have specified the name of the simulation, the climate, the soil, the water quality, the irrigation management and the crop or crop rotation respectively.

As an example in order to carry out the simulation of the crop melon we copy the values in the first six columns of the second row and paste them in the third row. Next we change the name of the simulation scenario and write "melon_2" for example. We open the SALTIRSOIL program from the Windows "Start" menu. The SALTIRSOIL workspace will be shown (figure 5). We expand the "File" menu and select "Workbook". In the dialog box we look for the folder where we have previously saved the SALTIRSOIL.xls workbook and we open it. Thus we have indicated SALTIRSOIL the workbook it has to use. To carry out the simulation we go to the "Simulations" → "Batch runs" menu. A dialog box with the default values used for the simulation saved in the second row of the sheet "Sim_batch" is shown. We make click in the "Accept" button and SALTIRSOIL will carry out the simulations "melon" and "melon_2". The results of both simulations, which are equal provided we have changed nothing, can be reviewed in the sheet "SSol_batch" and in the sheet "WBal_batch".

We can carry out other simulations changing the soil, climate, water quality, etc in the sheet "Sim_batch" and check the new results. In order to do so we have to key the soil, climate, water quality, etc codes, which we find in the first columns of the sheets "Soil_batch", "Clim_batch", "Wat_batch", etc, respectively, in the corresponding cells of the sheet "Sim_batch".

To fill the data of sheet "Clim_batch" will be necessary to calculate the reference evapotranspiration. This can be carried out from basic climate information using the SALTIRSOIL tool "Reference evapotranspiration". To use it first of all we will have to complete the data in the sheets "Clim_WS" and "Clim_data" (see section 5.2.2). If we want to carry out the simulation of other crops we have to complete the information in the sheets "Crop_batch" and "Irrigat_batch", which needs the use of the SALTIRSOIL tool "Crop parameters". In order to do so, first of all we must have completed the information in the sheets "Tree_crops" for multiannual crops or "Annual_crops_growth" and "Annual_crops_irrigat" for annual crops and crop rotations (see section 5.2.1).

7. References

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Visconti, F., 2009. Elaboración de un modelo predictivo de la acumulación de sales en suelos agrícolas de regadío bajo clima mediterráneo; aplicación a la Vega Baja del Segura y Bajo Vinalopó (Alicante). PhD Thesis. Universitat de València EG. València.

Visconti, F., de Paz, J.M., Rubio, J.L., Sánchez, J., 2010a. Development of SALTIRSOIL: a simulation model for the mid to long term prediction of soil salinity in irrigated well-drained lands. *Soil Use and Management* (under review).

Visconti, F., de Paz, J.M., Rubio, J.L. 2010b. An empirical equation to calculate soil solution electrical conductivity at 25 °C from major ion concentrations. *European Journal of Soil Science* (in press [doi: 10.1111/j.1365-2389.2010.01284.x]).

8. Annex: list of SALTIRSOIL variables

(Next pages)

Class	Variable (abbreviation) / units	Use	N° of data	Sheet	Obs.
Scenario	Simulation scenario code (Scenario_id) / text	input	1	Sim_batch / SSol_batch / WBal_batch	
Common variables to all simulations	Simulation depth (depth) / cm	input	1	Sim_batch	a
	Evaporative soil layer depth (devap) / cm	input	1	Sim_batch	a
	Number of soil layers (layers)	input	1	Sim_batch	a
	Use of pedotransfer function (pedotransfer)	input	1	Sim_batch	a
	Simulated soil solution (soil solution)	input	1	SSol_batch	a
Climate	Weather station code (Station) / text	input	1	Clim_batch / Clim_WS / Sim_batch	
	Monthly rainfall (R) / mm month ⁻¹	input	12	Clim_batch	
	Monthly frequency of rainfall (Rf) / day month ⁻¹	input	12	Clim_batch	
	Monthly reference evapotranspiration (ET ₀) / mm month ⁻¹	input / output	12	Clim_batch	
	Monthly average temperature (Tavg) / °C	input	12	Clim_batch	
	Monthly maximum average temperature (Tmax) / °C	input	12	Clim_batch	
	Monthly minimum average temperature (Tmin) / °C	input	12	Clim_batch	
	Monthly average relative humidity (RHavg) / (%)	input	12	Clim_batch	
	Monthly average maximum relative humidity (RHmax) / (%)	input	12	Clim_batch	
	Monthly average minimum relative humidity (RHmin) / (%)	input	12	Clim_batch	
	Monthly average solar radiation reaching the soil surface (Rs) / MJ m ⁻² day ⁻¹	input / output	12	Clim_batch	
	Insolation hours (insolation) / h	input	12	Clim_batch	
	Monthly average wind speed (wind) / m s ⁻¹ day ⁻¹	input	12	Clim_batch	
	Latitude (latitude) / (°)	input	1	Clim_WS	
	Altitude (altitude) / m	input	1	Clim_WS	
	Province or state (Province) / text	additional	1	Clim_WS	
	UTM x coordinate (UTMx) / m	additional	1	Clim_WS	
	UTM y coordinate (UTMy) / m	additional	1	Clim_WS	
	Weather station net (System) / text	additional	1	Clim_WS	
	Time span (Time span) / text	additional	1	Clim_WS	

Class	Variable (abbreviation) / units	Use	N° of data	Sheet	Obs.
Soil	Soil code (Soil_id) / text	input	1	Batch_soil / Sim_batch	
	Clay percentage (clay) / g (100g) ⁻¹	input	m	Batch_soil	b
	Sand percentage (sand) / g (100g) ⁻¹	input	m	Batch_soil	b
	Silt percentage (silt) / g (100g) ⁻¹	additional	m	Batch_soil	b
	Stone percentage (stones) / g (100g) ⁻¹	input	m	Batch_soil	b
	Percentage of calcium carbonate equivalent (CCE) / g (100g) ⁻¹	input	m	Batch_soil	b
	Percentage of organic matter (SOM) / g (100g) ⁻¹	input	m	Batch_soil	b
	Percentage of gypsum (Gypsum) / g (100g) ⁻¹	input	m	Batch_soil	b
	Carbon dioxide partial pressure (log pCO ₂)	input	m	Batch_soil	b
	Bulk density (ρ_{fc}) / g cm ⁻³	input / calculated	m	Batch_soil	b
	Gravimetric water content at saturation ($\theta_{g_{sat}}$) / g g ⁻¹	input / calculated	m	Batch_soil	b
	Volumetric water content at field capacity ($\theta_{v_{fc}}$) / mm mm ⁻¹	input / calculated	m	Batch_soil	b
	Volumetric water content at wilting point ($\theta_{v_{wp}}$) / mm mm ⁻¹	input / calculated	m	Batch_soil	b
Crop	Crop and crop rotation code (Crop, Crop_id) / text	input	1	Tree_crops / Annual_crops_growth / Sim_batch	
	Maximum rooting depth (rd_{max}) / cm	input	1	Tree_crops / Annual_crops_growth	
	Maximum shaded area (sa_{max})	input	1	Tree_crops / Annual_crops_growth	
	Monthly basal coefficient for multiannual crops (Kcb_{month})	input / output	12	Tree_crops / Crop_batch	
	Monthly rooting depth (rd) / cm	input / output	12	Crop_batch	
	Monthly fraction of shaded ara (sa)	input / output	12	Crop_batch	
	Stage basal crop coefficient for annual crops (Kcb_{stage})	input	4	Annual_crops_growth	
	Total length for annual crops (L_{total}) / day	input	1	Annual_crops_growth	
	Relative stage length for annual crops (L_{stage} / L_{total})	input	4	Annual_crops_growth	
	Crop season (Date) / text	additional	1	Annual_crops_growth	
	Percentage of the actual evapotranspiration taken from the first quarter of the rooting depth (%ET ₁)	input	1	Irrigat_batch	
	Percentage of the actual evapotranspiration taken from the second quarter of the rooting depth (%ET ₂)	input	1	Irrigat_batch	
	Percentage of the actual evapotranspiration taken from the third quarter of the rooting depth (%ET ₃)	input	1	Irrigat_batch	

Class	Variable (abbreviation) / units	Use	Nº of data	Sheet	Obs.
	Percentage of the actual evapotranspiration taken from the fourth quarter of the rooting depth (%ET ₄)	input	1	Irrigat_batch	
Water quality	Irrigation water quality code (Water_id) / text	input	1	Wat_batch / Sim_batch	
	Sodium concentration ([Na ⁺] _{iw}) / mmol L ⁻¹	input	1	Wat_batch	
	Potassium concentration ([K ⁺] _{iw}) / mmol L ⁻¹	input	1	Wat_batch	
	Magnesium concentration ([Mg ²⁺] _{iw}) / mmol L ⁻¹	input	1	Wat_batch	
	Calcium concentration ([Ca ²⁺] _{iw}) / mmol L ⁻¹	input	1	Wat_batch	
	Chloride concentration ([Cl ⁻] _{iw}) / mmol L ⁻¹	input	1	Wat_batch	
	Nitrate concentration ([NO ₃ ⁻] _{iw}) / mmol L ⁻¹	input	1	Wat_batch	
	Sulfate concentration ([SO ₄ ²⁻] _{iw}) / mmol L ⁻¹	input	1	Wat_batch	
	Alkalinity (Alk _{iw}) / meq L ⁻¹	input	1	Wat_batch	
	pH (pH _{iw})	adicional	1	Wat_batch	
	Electrical conductivity at 25 °C (EC _{iw}) / dS m ⁻¹	adicional	1	Wat_batch	
Irrigation management	Irrigation management code (Irrigat_id / Sim_batch) / text	input	1	Irrigat_batch / Sim_batch	
	Total irrigation water amount for annual crops (I _{total}) / mm	input	1	Annual_crops_irrigat	
	Total number of irrigation days for annual crops (If _{total}) / días	input	1	Annual_crops_irrigat	
	Fraction of the annual irrigation water applied each month (I _{month} / I _{total})	input	12	Annual_crops_irrigat	
	Fraction of the total number of irrigation days each month (If _{month} / If _{total})	input	12	Annual_crops_irrigat	
	Irrigation water amount for multiannual crops or crop rotations (I _{month}) / mm month ⁻¹	input	12	Irrigat_batch	
	Monthly number of irrigation days for multiannual crops or crop rotations (I _{fmonth}) / day	input	12	Irrigat_batch	
	Percentage of wetted soil (ws)	input	1	Irrigat_batch / Annual_crops_irrigat	
Thermodynamic chemical equilibrium constants	Henry's law constant for CO ₂ solubility in water (K _H)	input	1	Constants	
	Self-ionization of water (K _w)	input	1	Constants	
	First dissociation of carbonic acid (K _{a1})	input	1	Constants	
	Second dissociation of carbonic acid (K _{a2})	input	1	Constants	
	Calcite solubility product (K _{SCaCO3})	input	1	Constants	
	Gypsum solubility product (K _{SCaSO4})	input	1	Constants	

Class	Variable (abbreviation) / units	Use	N° of data	Sheet	Obs.
	Formation of NaOH° ion pair (K_{NaOH°)	input	1	Constants	
	Formation of KOH° ion pair (K_{KOH°)	input	1	Constants	
	Formation of MgOH^+ ion pair (K_{MgOH^+})	input	1	Constants	
	Formation of CaOH^+ ion pair (K_{CaOH^+})	input	1	Constants	
	Formation of NaCl° ion pair (K_{NaCl°)	input	1	Constants	
	Formation of KCl° ion pair (K_{KCl°)	input	1	Constants	
	Formation of MgCl^+ ion pair (K_{MgCl^+})	input	1	Constants	
	Formation of CaCl^+ ion pair (K_{CaCl^+})	input	1	Constants	
	Formation of NaNO_3° ion pair ($K_{\text{NaNO}_3^\circ}$)	input	1	Constants	
	Formation of KNO_3° ion pair ($K_{\text{KNO}_3^\circ}$)	input	1	Constants	
	Formation of MgNO_3^+ ion pair ($K_{\text{MgNO}_3^+}$)	input	1	Constants	
	Formation of CaNO_3^+ ion pair ($K_{\text{CaNO}_3^+}$)	input	1	Constants	
	Formation of NaSO_4^- ion pair ($K_{\text{NaSO}_4^-}$)	input	1	Constants	
	Formation of KSO_4^- ion pair ($K_{\text{KSO}_4^-}$)	input	1	Constants	
	Formation of MgSO_4° ion pair ($K_{\text{MgSO}_4^\circ}$)	input	1	Constants	
	Formation of CaSO_4° ion pair ($K_{\text{CaSO}_4^\circ}$)	input	1	Constants	
	Formation of NaHCO_3° ion pair ($K_{\text{NaHCO}_3^\circ}$)	input	1	Constants	
	Formation of KHCO_3° ion pair ($K_{\text{KHCO}_3^\circ}$)	input	1	Constants	
	Formation of MgHCO_3^+ ion pair ($K_{\text{MgHCO}_3^+}$)	input	1	Constants	
	Formation of CaHCO_3^+ ion pair ($K_{\text{CaHCO}_3^+}$)	input	1	Constants	
	Formation of NaCO_3^- ion pair ($K_{\text{NaCO}_3^-}$)	input	1	Constants	
	Formation of KCO_3^- ion pair ($K_{\text{KCO}_3^-}$)	input	1	Constants	
	Formation of MgCO_3° ion pair ($K_{\text{MgCO}_3^\circ}$)	input	1	Constants	
	Formation of CaCO_3° ion pair ($K_{\text{CaCO}_3^\circ}$)	input	1	Constants	
Ionic parameters	Limiting equivalent ionic conductivity for H^+ (Λ_{H^+}) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity for HO^- (Λ_{HO^-}) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	

Class	Variable (abbreviation) / units	Use	N° of data	Sheet	Obs.
	Limiting equivalent ionic conductivity of Na^+ (λ_{Na^+}) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of K^+ (λ_{K^+}) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of Ca^{2+} ($\lambda_{\text{Ca}^{2+}}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of Mg^{2+} ($\lambda_{\text{Mg}^{2+}}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of Cl^- (λ_{Cl^-}) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of NO_3^- ($\lambda_{\text{NO}_3^-}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of SO_4^{2-} ($\lambda_{\text{SO}_4^{2-}}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of HCO_3^- ($\lambda_{\text{HCO}_3^-}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of CO_3^{2-} ($\lambda_{\text{CO}_3^{2-}}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of H_2CO_3^* ($\lambda_{\text{H}_2\text{CO}_3^*}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of NaOH° ($\lambda_{\text{NaOH}^\circ}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of KOH° ($\lambda_{\text{KOH}^\circ}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of MgOH^+ (λ_{MgOH^+}) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of CaOH^+ (λ_{CaOH^+}) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of NaCl° ($\lambda_{\text{NaCl}^\circ}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of KCl° ($\lambda_{\text{KCl}^\circ}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of MgCl^+ (λ_{MgCl^+}) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of CaCl^+ (λ_{CaCl^+}) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of NaNO_3° ($\lambda_{\text{NaNO}_3^\circ}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of KNO_3° ($\lambda_{\text{KNO}_3^\circ}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of MgNO_3^+ ($\lambda_{\text{MgNO}_3^+}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of CaNO_3^+ ($\lambda_{\text{CaNO}_3^+}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of NaSO_4^- ($\lambda_{\text{NaSO}_4^-}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of KSO_4^- ($\lambda_{\text{KSO}_4^-}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of MgSO_4° ($\lambda_{\text{MgSO}_4^\circ}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of CaSO_4° ($\lambda_{\text{CaSO}_4^\circ}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	

Class	Variable (abbreviation) / units	Use	N° of data	Sheet	Obs.
	Limiting equivalent ionic conductivity of NaHCO_3° ($\lambda_{\text{NaHCO}_3^\circ}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of KHCO_3° ($\lambda_{\text{KHCO}_3^\circ}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of MgHCO_3^+ ($\lambda_{\text{MgHCO}_3^+}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of CaHCO_3^+ ($\lambda_{\text{CaHCO}_3^+}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of NaCO_3^- ($\lambda_{\text{NaCO}_3^-}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of KCO_3^- ($\lambda_{\text{KCO}_3^-}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of MgCO_3° ($\lambda_{\text{MgCO}_3^\circ}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Limiting equivalent ionic conductivity of CaCO_3° ($\lambda_{\text{CaCO}_3^\circ}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Charge of H^+ (charge H^+)	input	1	Parameters	
	Charge of HO^- (charge HO^-)	input	1	Parameters	
	Charge of Na^+ (charge Na^+)	input	1	Parameters	
	Charge of K^+ (charge K^+)	input	1	Parameters	
	Charge of Ca^{2+} (charge Ca^{2+})	input	1	Parameters	
	Charge of Mg^{2+} (charge Mg^{2+})	input	1	Parameters	
	Charge of Cl^- (charge Cl^-)	input	1	Parameters	
	Charge of NO_3^- (charge NO_3^-)	input	1	Parameters	
	Charge of SO_4^{2-} (charge SO_4^{2-})	input	1	Parameters	
	Charge of HCO_3^- (charge HCO_3^-)	input	1	Parameters	
	Charge of CO_3^{2-} (charge CO_3^{2-})	input	1	Parameters	
	Charge of H_2CO_3^* (charge H_2CO_3^*)	input	1	Parameters	
	Charge of NaOH° (charge NaOH°)	input	1	Parameters	
	Charge of KOH° (charge KOH°)	input	1	Parameters	
	Charge of MgOH^+ (charge MgOH^+)	input	1	Parameters	
	Charge of CaOH^+ (charge CaOH^+)	input	1	Parameters	
	Charge of NaCl° (charge NaCl°)	input	1	Parameters	
	Charge of KCl° (charge KCl°)	input	1	Parameters	

Class	Variable (abbreviation) / units	Use	N° of data	Sheet	Obs.
	Charge of $MgCl^+$ (charge $MgCl^+$)	input	1	Parameters	
	Charge of $CaCl^+$ (charge $CaCl^+$)	input	1	Parameters	
	Charge of $NaNO_3^0$ (charge $NaNO_3^0$)	input	1	Parameters	
	Charge of KNO_3^0 (charge KNO_3^0)	input	1	Parameters	
	Charge of $MgNO_3^+$ (charge $MgNO_3^+$)	input	1	Parameters	
	Charge of $CaNO_3^+$ (charge $CaNO_3^+$)	input	1	Parameters	
	Charge of $NaSO_4^-$ (charge $NaSO_4^-$)	input	1	Parameters	
	Charge of KSO_4^- (charge KSO_4^-)	input	1	Parameters	
	Charge of $MgSO_4^0$ (charge $MgSO_4^0$)	input	1	Parameters	
	Charge of $CaSO_4^0$ (charge $CaSO_4^0$)	input	1	Parameters	
	Charge of $NaHCO_3^0$ (charge $NaHCO_3^0$)	input	1	Parameters	
	Charge of $KHCO_3^0$ (charge $KHCO_3^0$)	input	1	Parameters	
	Charge of $MgHCO_3^+$ (charge $MgHCO_3^+$)	input	1	Parameters	
	Charge of $CaHCO_3^+$ (charge $CaHCO_3^+$)	input	1	Parameters	
	Charge of $NaCO_3^-$ (charge $NaCO_3^-$)	input	1	Parameters	
	Charge of KCO_3^- (charge KCO_3^-)	input	1	Parameters	
	Charge of $MgCO_3^0$ (charge $MgCO_3^0$)	input	1	Parameters	
	Charge of $CaCO_3^0$ (charge $CaCO_3^0$)	input	1	Parameters	
Electrical conductivity	Intercept of the empirical equation (CpiA&Lintercept) / $dS\ m^{-1}$	input	1	Parameters	
	Slope of the empirical equation (CpiA&Lslope)	input	1	Parameters	
Soil solution composition (saturation extract, field capacity or drainage)	Concentration factor at field capacity (ffc)	output	1	SSol_batch	
	Concentration factor at saturation (fsat)	output	1	SSol_batch	
	Leaching fraction (LF)	output	1	SSol_batch	
	Sodium concentration ($[Na^+]_{ss}$) / $mmol\ L^{-1}$	output	1	SSol_batch	
	Potassium concentration ($[K^+]_{ss}$) / $mmol\ L^{-1}$	output	1	SSol_batch	
	Magnesium concentration ($[Mg^{2+}]_{ss}$) / $mmol\ L^{-1}$	output	1	SSol_batch	

Class	Variable (abbreviation) / units	Use	N° of data	Sheet	Obs.
	Calcium concentration ($[Ca^{2+}]_{ss}$) / mmol L ⁻¹	output	1	SSol_batch	
	Chloride concentration ($[Cl^-]_{ss}$) / mmol L ⁻¹	output	1	SSol_batch	
	Nitrate concentration ($[NO_3^-]_{ss}$) / mmol L ⁻¹	output	1	SSol_batch	
	Sulfate concentration ($[SO_4^{2-}]_{ss}$) / mmol L ⁻¹	output	1	SSol_batch	
	Alkalinity (Alk _{ss}) / meq L ⁻¹	output	1	SSol_batch	
	pH (pH _{ss})	output	1	SSol_batch	
	Electrical conductivity at 25°C (EC _{ss}) / dS m ⁻¹	output	1	SSol_batch	
Annual water balance	Reference evapotranspiration (ET ₀) / mm yr ⁻¹	output	1	Wbal_batch	
	Crop evapotranspiration (ETc) / mm yr ⁻¹	output	1	Wbal_batch	
	Actual crop evapotranspiration (ETa) / mm yr ⁻¹	output	1	Wbal_batch	
	Total rainfall (R) / mm yr ⁻¹	output	1	Wbal_batch	
	Total irrigation (I) / mm yr ⁻¹	output	1	Wbal_batch	
	Drainage / mm yr ⁻¹	output	1	Wbal_batch	
Monthly water balance	Crop evapotranspiration (ETc) / mm month ⁻¹	output	12	SSol_batch	
	Actual evapotranspiration (ETa) / mm month ⁻¹	output	12	SSol_batch	
	Monthly drainage (D) / mm month ⁻¹	output	12	SSol_batch	

a. It is inserted in the batch runs setup

b. As much data as number of sampled soil layers (number of sampled layers = m)

SALTIRSOIL: una aplicación para predecir la salinidad de suelos de regadío bien drenados

Fernando Visconti Reluy

Centro de Investigaciones sobre Desertificación-CIDE (CSIC, UVEG, GV)

Dept. Degradación y Conservación de Suelos

Camí de la Marjal s/n

46470 Albal, Valencia (SPAIN)

Website: <http://www.uv.es/fervisre/>

E-mail: fernando.visconti@uv.es

26 de noviembre de 2010

Resumen

SALTIRSOIL (SALTs in IRrigated SOILs) es un programa informático elaborado para el cálculo de la composición iónica y la conductividad eléctrica de la solución de suelos salinos, calcáreos y yesíferos en regadío y bien drenados a medio y largo plazo. SALTIRSOIL utiliza datos de clima, suelo, cultivo, calidad de agua de riego y manejo del riego. A partir de la información de cantidad de lluvia, evapotranspiración, manejo del riego y el cultivo y propiedades hidrofísicas del suelo SALTIRSOIL realiza un balance anual de agua. A partir de este balance calcula un factor de concentración de la solución del suelo respecto del agua de riego. La composición iónica mayoritaria del agua de riego se multiplica por este factor de concentración obteniéndose la composición de una solución alejada del equilibrio. Esta composición se utiliza como entrada para el módulo SALSOLCHEM, integrado en SALTIRSOIL, el cual calcula la composición de la solución del suelo en equilibrio con los minerales calcita y yeso y CO_2 del suelo.

SALTIRSOIL está escrito en Microsoft Visual Basic®. Los datos necesarios para realizar las simulaciones se consignan en un libro de cálculo de Microsoft Excel® con una estructura predeterminada sobre el cual trabaja la aplicación. Las simulaciones se realizan por lotes.

Contenidos

1. Cómo utilizar este manual.....	2
2. Descripción del modelo.....	3
2.1. Diagramas de flujo.....	3
2.1.1. Diagrama de flujo de SALTIRSOIL.....	3
2.1.2. Diagrama de flujo de SALSOLCHEM.....	5

3. El programa	6
3.1. Requisitos informáticos	6
3.2. Obtención e instalación.....	6
4. Estructura del libro de cálculo asociado a SALTIRSOIL	7
4.1. Hoja "Tree_crops"	8
4.2. Hoja "Annual_crops_growth"	8
4.3. Hoja "Annual_crops_irrigat"	9
4.4. Hoja "Clim_WS"	9
4.5. Hoja "Clim_data"	10
4.6. Hoja "Sim_batch"	10
4.7. Hoja "Clim_batch"	11
4.8. Hoja "Soil_batch"	12
4.9. Hoja "Wat_batch"	12
4.10. Hoja "Irrigat_batch"	13
4.11. Hoja "Crop_batch"	13
4.12. Hoja "SSol_batch"	13
4.13. Hoja "WBal_batch"	14
4.14. Hoja "Constants"	14
4.15. Hoja "Parameters"	15
5. Utilización del programa	15
5.1. Preparación del libro de cálculo sin SALTIRSOIL.....	15
5.2. Preparación del libro de cálculo con SALTIRSOIL.....	17
5.2.1. Elaboración de la información de cultivo.....	18
5.2.1.1. Cultivos multianuales.....	18
5.2.1.2. Cultivos anuales.....	19
5.2.2. Elaboración de la información climática	20
5.3. Realización de simulaciones.....	21
6. Guía rápida de utilización de SALTIRSOIL	22
7. Referencias	24
8. Anexo: lista de variables de SALTIRSOIL	24

1. Cómo utilizar este manual

En este manual se presenta una breve descripción de las hipótesis básicas y funcionamiento del modelo SALTIRSOIL. En la sección 2 se presenta una breve descripción del algoritmo principal del modelo. Las hipótesis, desarrollo e implementación de algoritmos de SALTIRSOIL han sido descritas en Visconti (2009) y Visconti *et al.* (2010). En la sección 2 se exponen únicamente algunas generalidades sobre el modelo. Al usuario interesado se le remite a los citados documentos. En la sección 3 se proporcionan unas breves indicaciones sobre cómo conseguir SALTIRSOIL

y cómo instalarlo. En la sección 4 se describe pormenorizadamente el libro de cálculo SALTIRSOIL.xls, esencial para el trabajo con SALTIRSOIL. En la sección 5 se indica cómo utilizar el programa, mientras que en la sección 6 se presenta una guía rápida para empezar a utilizar SALTIRSOIL sin más demoras.

2. Descripción del modelo

SALTIRSOIL es un modelo determinista, de estado estacionario y de capacidad elaborado para el cálculo de la composición salina mayoritaria y la conductividad eléctrica a 25 °C de la solución del suelo saturado de agua. No obstante, con SALTIRSOIL también se pueden simular otras soluciones de suelo, éstas son la de capacidad de campo o el agua de drenaje.

2.1. Diagramas de flujo

2.1.1. Diagrama de flujo de SALTIRSOIL

SALTIRSOIL está compuesto por dos módulos principales (figura 1). El primero, llamado módulo A, calcula el balance de agua y el factor de concentración de la solución del suelo respecto del agua de riego. El segundo, llamado módulo B, calcula la composición de la solución del suelo en equilibrio con los minerales calcita y yeso a la presión parcial de CO₂ de la solución del suelo. El módulo de cálculo del equilibrio químico se llama SALSOLCHEM (SALine SOLution CHEMistry).

Estos dos módulos están formados a su vez por otros tal y como se puede observar en la figura 1. El primer paso para realizar simulaciones es calcular la evapotranspiración de referencia a partir de los datos climáticos. En el entorno de SALTIRSOIL la evapotranspiración de referencia puede calcularse mediante varios métodos distintos: Thornthwaite, Blaney-Criddle, Hargreaves y Penman-Monteith. Éste último es, no obstante, el recomendado cuando se dispone de los datos necesarios para llevarlo a cabo. Los datos de evapotranspiración de referencia también se pueden introducir en el modelo como variables de entrada más si han sido calculados con otro programa o medidos.

Los datos de evapotranspiración de referencia se utilizan junto con la información de manejo de cultivo: fecha de siembra, duración de cultivo, profundidad radicular, área sombreada, información de manejo del riego:

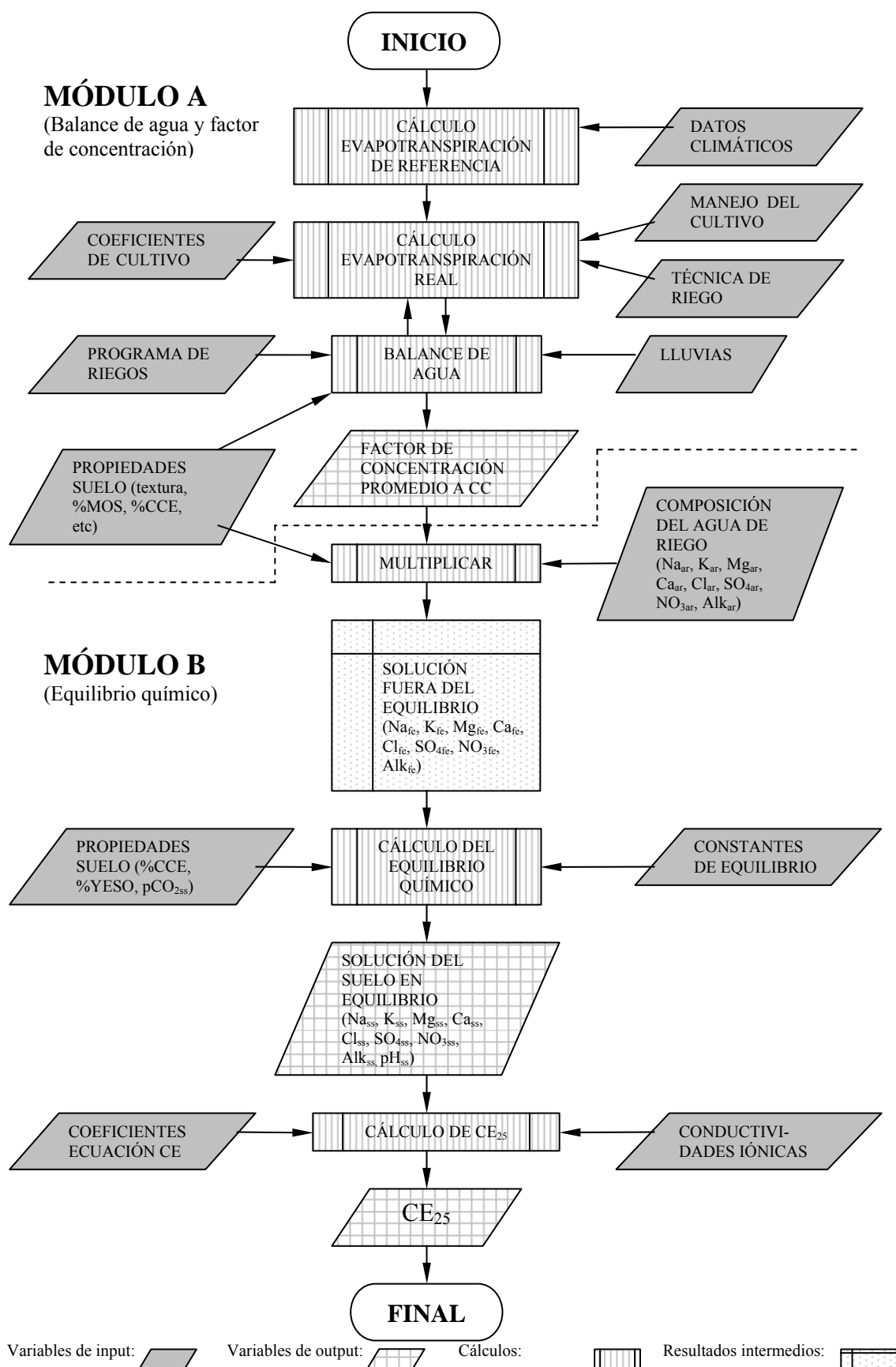


Figura 1. Flujo y elaboración de la información en SALTIRSOIL.

volumen de agua de riego y número de días de riego mensual y coeficientes de cultivo basal mensual, para el cálculo de un primer valor de la evapotranspiración real mensual de cultivo. El valor de evapotranspiración real se utiliza para el cálculo del balance de agua del suelo. Para el cálculo del balance de agua del suelo se necesita además información de lluvia (cantidad y frecuencia), programa de riegos y capacidad de retención de agua del suelo. Una vez conocidos los términos del balance de agua del suelo se puede calcular la humedad del suelo. Dado que el contenido de agua del suelo influye sobre el valor de la evapotranspiración real, un valor de la evapotranspiración real coherente con el contenido de agua del suelo se encuentra mediante un cálculo iterativo. Esto está expresado mediante la doble flecha que relaciona los módulos de cálculo de la evapotranspiración real y balance de agua en la figura 1.

Una vez se conoce el valor de los términos del balance de agua de cada una de las capas en que se ha discretizado el suelo, SALTIRSOIL calcula un factor de concentración promedio de la solución del suelo a capacidad de campo respecto del agua de riego. Conociendo la humedad del suelo a capacidad de campo y a saturación puede calcularse el factor de concentración de la solución del suelo a saturación. Esta es la última variable calculada por el módulo A.

La composición iónica mayoritaria del agua de riego se multiplica por este factor de concentración de la solución del suelo y se obtiene la composición de una solución del suelo alejada del equilibrio. Esta composición se introduce dentro del módulo de cálculo del equilibrio químico, SALSOLCHEM. Otros datos necesarios para el cálculo de la composición en equilibrio químico son las propiedades químicas del suelo: porcentaje de carbonato cálcico equivalente (%CCE), porcentaje de yeso y presión parcial de CO_2 ; además de las constantes de equilibrio químico.

Los datos de composición de la solución del suelo en equilibrio se introducen dentro de una ecuación para el cálculo de la conductividad eléctrica a 25 °C, la cual necesita además de dos coeficientes empíricos, datos de conductividades iónicas de los iones mayoritarios. Este es el último dato calculado por SALTIRSOIL.

2.1.2. Diagrama de flujo de SALSOLCHEM

El módulo de cálculo del equilibrio químico de SALTIRSOIL se muestra en la figura 2. Se parte de las concentraciones iónicas de sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro, nitrato, sulfato y alcalinidad además de la presión parcial de dióxido de carbono para el cálculo de las actividades iónicas, y productos de la actividad iónica de carbonato cálcico (PAI_{CaCO_3}) y sulfato cálcico

(PAI_{CaSO_4}). Los cálculos de actividades iónicas se realizan mediante el módulo SALSOLCHEMIS®, el cual está integrado en SALSOLCHEM. A partir del valor de los productos de la actividad iónica y la presencia o no de carbonatos y yeso en el suelo se evalúa la disolución o precipitación de calcita y yeso.

Si el producto de la actividad iónica del carbonato de calcio es mayor que el producto de solubilidad de la calcita se calcula la concentración de calcio y la alcalinidad que precipitan de la solución del suelo. Si el producto de la actividad iónica de carbonato cálcico es menor que el producto de solubilidad de la calcita pero existe calcita en el suelo se calcula la cantidad de este mineral que se disuelve en la solución del suelo. A partir de este resultado se obtiene el valor de equilibrio de la concentración de calcio y alcalinidad en la solución del suelo.

Con la nueva concentración de calcio y alcalinidad se calculan de nuevo las actividades iónicas en la solución del suelo y se vuelve a comparar el producto de la actividad iónica de carbonato cálcico con el producto de solubilidad de la calcita. La concentración de calcio y alcalinidad se vuelven a calcular, y siempre y cuando la concentración de calcio calculada en esta iteración no es distinta de la concentración de calcio calculada en la iteración anterior dentro de un margen de error predeterminado se da por concluido este cálculo.

A continuación se evalúa el estado de equilibrio con respecto al yeso de la misma manera, pero esta vez comparando el producto de la actividad iónica de sulfato cálcico con el producto de solubilidad del yeso.

3. El programa

3.1. Requisitos informáticos

Para el buen funcionamiento de SALTIRSOIL se deben verificar los siguientes requisitos informáticos: i) sistema operativo Windows XP, Vista o superior, ii) Microsoft Excel 2003 o superior, y iii) Adobe Reader 6 o superior.

3.2. Obtención e instalación

SALTIRSOIL se puede descargar gratuitamente en la dirección electrónica <http://www.uv.es/fervisre> . Junto con el programa se distribuye también un libro de cálculo con datos de ejemplo llamado SALTIRSOIL.xls.

Para llevar a cabo la instalación, en la carpeta SALTIRSOIL buscar la aplicación "setup", hacer doble clic para abrirla y seguir las instrucciones.

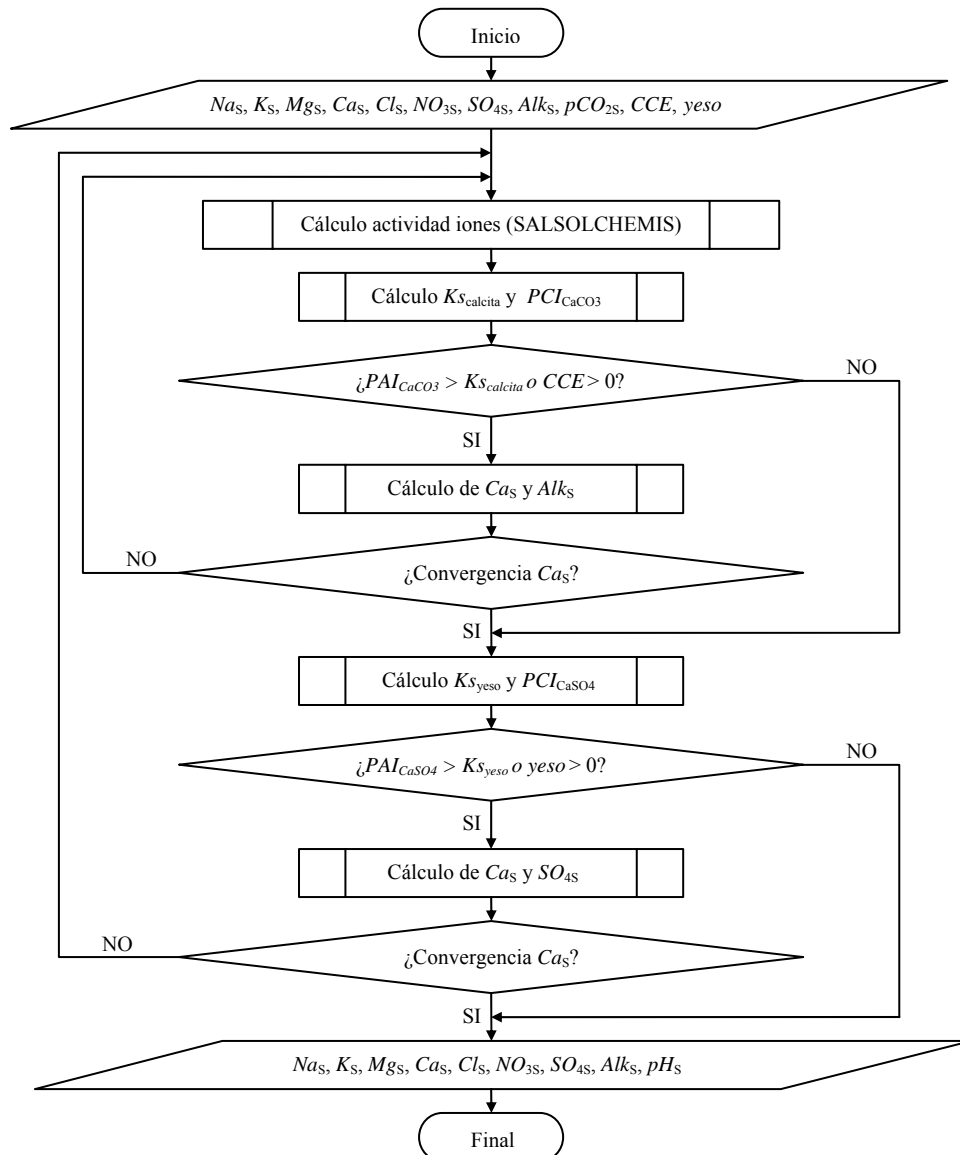


Figura 2. Diagrama de flujo del algoritmo de SALSOLCHEM.

4. Estructura del libro de cálculo asociado a SALTIRSOIL

SALTIRSOIL funciona de modo asociado a un libro de cálculo, el cual se estructura en quince hojas. Cuando se instala SALTIRSOIL en el equipo del usuario el libro de cálculo SALTIRSOIL.xls se guarda en la carpeta del programa llamada SALTIRSOIL 1. En el libro de cálculo se encuentran los datos de entrada del modelo y en él se escriben las datos de salida (ver Anexo 1 para un listado completo de las variables de SALTIRSOIL). En las siguientes cinco hojas: "Clim_WS", "Clim_data", "Tree_crops", "Annual_crops_growth", "Annual_crops_irrigat", se introducen los datos de cultivo, climáticos y de riego necesarios para preparar las simulaciones. En la hoja "Sim_batch" se introduce la información necesaria para que

SALTIRSOIL identifique cada una de las simulaciones y los datos de clima, suelo, agua y manejo del riego así como de cultivo que corresponden a cada una de ellas. Esta información se introduce en las hojas "Clim_batch", "Soil_batch", "Wat_batch", "Irrigat_batch" y "Crop_batch" respectivamente. En las hojas "Constants" y "Parameters" se introducen respectivamente los datos para el cálculo del equilibrio químico de la solución del suelo y su conductividad eléctrica. En lo que respecta a los resultados, SALTIRSOIL escribe aquéllos relacionados con los factores de concentración a capacidad de campo, saturación, fracción de lavado, balance de agua anual y las características de la solución del suelo simulada en la hoja "SSol_batch". Los resultados del balance de agua mensual para cada una de las simulaciones se escriben en la hoja "WBal_batch". Común a todas las hojas excepto "Constants" y "Parameters" es que la primera fila está reservada para las etiquetas de encabezamiento. Los datos deben introducirse de la segunda fila en adelante.

4.1. Hoja "Tree_crops"

En esta hoja se guardan los valores del coeficiente de cultivo basal mensual (K_{cb}), de profundidad radicular máxima en cm (rd_{max} / cm) y de fracción de área sombreada máxima (sa_{max}) de los cultivos arbóreos. Los datos se introducen de la fila 2 en adelante con una fila para cada cultivo. En la columna A se introduce el nombre del cultivo, en la columna B la profundidad radicular máxima del cultivo, en las columnas de la C a la N los coeficientes de cultivo basal mensual desde enero hasta diciembre, finalmente en la columna O se introduce la fracción máxima de área sombreada por el cultivo.

4.2. Hoja "Annual_crops_growth"

En esta hoja se guarda la información referente al desarrollo de los cultivos anuales. Los datos de los cultivos se introducen de la fila 2 en adelante con una fila para cada cultivo.

En la columna A se introduce el nombre del cultivo. La información referente al desarrollo del cultivo se introduce en las columnas B a M. En la columna B se introduce el valor de la profundidad radicular máxima del cultivo en cm (rd_{max} / cm). En las columnas C a F se introducen los valores de coeficiente de cultivo basal (K_{cb}) de cada una de las etapas de desarrollo: etapa inicial (K_{cb_i}), etapa de desarrollo (K_{cb_d}), etapa de mediados de temporada (K_{cb_m}), y final de temporada (K_{cb_s}). En la columna L se introduce la duración de la temporada de cultivo en días (L_{total}), en las columnas de la G

a la J la fracción de la temporada de cultivo que corresponde a cada una de las etapas de desarrollo: etapa inicial (L_i / L_{total}), etapa de desarrollo (L_d / L_{total}), etapa de mediados de temporada (L_m / L_{total}), y etapa final (L_s / L_{total}). En la columna K se introduce el valor máximo de la fracción de área sombreada por el cultivo (sa_{max}). En la columna M se introduce como información adicional no requerida por el modelo el periodo del año en que se desarrolla el cultivo (Date).

4.3. Hoja "Annual_crops_irrigat"

En esta hoja se guarda la información referente a las prácticas de riego de los cultivos anuales. Los datos de los cultivos se introducen de la fila 2 en adelante con una fila para cada cultivo.

En la columna A se introduce el nombre del cultivo. En la columna B se introduce la fracción de suelo humedecida por el riego (ws). En la columna C se introduce la cantidad total de agua de riego en mm (I_{total} / mm), y en las columnas D a G se introduce la fracción de esta agua en cada una de las etapas de desarrollo: en la etapa inicial (I_i / I_{total}), en la de desarrollo (I_d / I_{total}), en la de mediados de temporada (I_m / I_{total}) y en la de final de temporada (I_s / I_{total}). En la columna L se introduce el número total de días de riego en la temporada de cultivo (If_{total} / day), y en las columnas de la H a la K se introduce la fracción de estos días que corresponden a cada una de las etapas de desarrollo: etapa inicial (If_i / If_{total}), etapa de desarrollo (If_d / If_{total}), etapa de mediados de temporada (If_m / If_{total}) y etapa final (If_s / If_{total}).

4.4. Hoja "Clim_WS"

En esta hoja se guarda la información de localización de las estaciones meteorológicas. Los datos de las estaciones se introducen de la fila 2 en adelante con una fila para cada estación.

En la columna A se introduce el nombre de la estación (Station), en la columna B la latitud en grados (latitude (°)), en la columna C la altitud en metros (altitude / m), en la columna D la provincia, región o estado donde se localiza la estación (province), en la columna E y F las coordenadas UTM de la estación, respectivamente UTMx y UTM_y, en la columna G la red a la cual pertenece la estación (system), y en la columna H el periodo de tiempo correspondiente a los datos climáticos promedio (Time span).

4.5. Hoja "Clim_data"

En esta hoja se guarda la información climática de las estaciones meteorológicas. La información se introduce de la fila 2 en adelante con doce filas para cada estación, una para cada mes del año en orden desde enero a diciembre.

En la columna A se introduce el nombre de la estación (Station), que debe coincidir con el introducido en la anterior hoja ("Clim_WS"), y en la columna N el mes (month). En las columnas de la B a la M se introduce los siguientes valores para cada mes. En la columna B se introduce la temperatura media (T_{avg} / °C), en la columna C la temperatura máxima media (T_{max} / °C), en la columna D la temperatura mínima media (T_{min} / °C), en la columna E la humedad relativa media (RH_{avg} (%)), en la columna F la humedad relativa máxima media (RH_{max} (%)), en la columna G la humedad relativa mínima media (RH_{min} (%)), en la columna H la radiación solar al nivel del suelo (R_s / $MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$), en la columna I el número medio de horas de sol (insolation / h), en la columna J la cantidad media de precipitación (R / $mm\ month^{-1}$), en la columna K el número medio de días de precipitación (R_f / $day\ month^{-1}$), en la columna L la velocidad del viento media diaria (wind / $m\ s^{-1}\ day^{-1}$), y en la columna M la evapotranspiración de referencia media (ET_0 / $mm\ month^{-1}$).

No todos los datos climáticos están disponibles para todas las estaciones. En caso de no tener datos para una de estas variables la columna correspondiente se deja vacía. En SALTIRSOIL sólo se habilitarán los métodos de cálculo de la evapotranspiración de referencia para las cuales estén los datos requeridos.

4.6. Hoja "Sim_batch"

En esta hoja el usuario introduce la información que caracteriza cada una de las simulaciones que desea realizar. Esta información incluye un código único para cada simulación (Scenario_id), junto con el código del clima, el suelo, el agua y el manejo del riego y el cultivo correspondiente a cada una de ellas. El usuario debe escribir los datos de la segunda fila en adelante con una fila para cada simulación.

En la columna A ("Scenario_id") se escribe el código único de las simulaciones. En las columnas B, C, D, E y F el usuario introduce los códigos identificativos del clima (climate_id), suelo (soil_id), calidad de agua (water_id), prácticas de manejo del riego (irrigat_id) y cultivo (crop_id) que corresponden a cada una de las simulaciones. Por cada código distinto de cada categoría de datos debe existir el correspondiente registro en las

hojas "Clim_batch", "Soil_batch", "Wat_batch", "Irrigat_batch" y "Crop_batch" respectivamente (figura 3).

La hoja "Sim_batch" también se utiliza para escribir las características comunes a todas las simulaciones escogidas por el usuario al ordenar la realización de las simulaciones (ver punto 4.3). Estos datos se escriben en las columnas de la G, H, I y J, y son respectivamente la profundidad de evaporación en cm (devap / cm), la profundidad de suelo en cm para la cual se calcula el factor de concentración (depth / cm), el número de capas en que se discretiza el suelo (layers), y si se utilizan o no funciones de edafotransferencia para el cálculo de la humedad a saturación, capacidad de campo y marchitez.

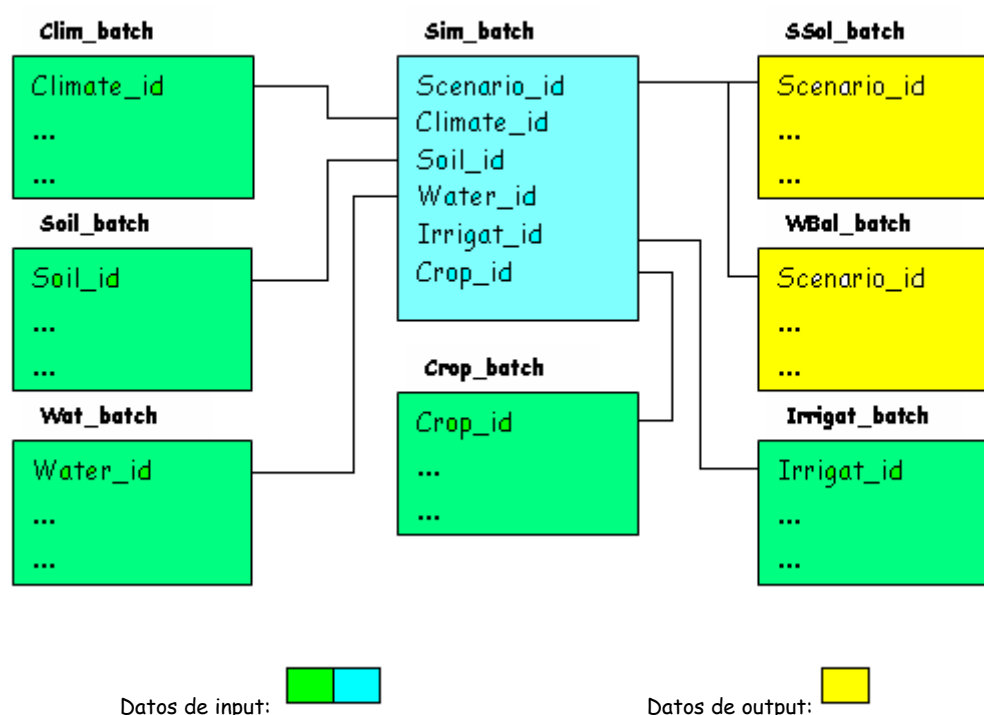


Figura 3. Relación entre las hojas "_batch"

4.7. Hoja "Clim_batch"

En esta hoja se guarda la información mensual de clima. La primera fila está reservada para las etiquetas de encabezamiento. La información se introduce de la fila 2 en adelante con doce filas para cada simulación, una para cada mes del año en orden desde enero a diciembre.

En la columna A se introduce el código de los datos climáticos (Climate_id). En las columnas B, C y D se introducen, respectivamente los valores mensuales de precipitación en mm (R / mm), de número de días de precipitación (Rf / day) y de evapotranspiración de referencia también en

mm (ET_0 / mm). Finalmente en la columna E se introduce el nombre de cada mes.

4.8. Hoja "Soil_batch"

En esta hoja se introducen los datos de suelo para la realización de las simulaciones. La información se introduce de la fila 2 en adelante con un número de filas para cada suelo igual al número de capas de suelo muestreadas, e.g. si de un suelo se han muestreado tres capas (0-30 cm, 30-60 cm y 60-90 cm), habrán tres filas para ese suelo; si se han muestreado cinco capas (0-10 cm, 10-30 cm, 30-65 cm, 65-100 cm y 100-150 cm) habrán cinco filas para ese suelo.

En la columna A se introduce el código del suelo (Soil_id). En las columnas B y C se introducen respectivamente los límites superior e inferior de las capas de suelo muestreadas en cm (top / cm y bottom / cm). En las columnas D, E y F se introducen respectivamente los porcentajes de las fracciones texturales arena, limo y arcilla (sand (%), silt (%) y clay (%)). En las columnas G, H e I se introducen respectivamente la humedad gravimétrica a saturación en g/g ($\theta_{g_{sat}}$ / g g⁻¹), volumétrica a capacidad de campo en mm/mm ($\theta_{v_{fc}}$ / mm mm⁻¹), y volumétrica en el punto de marchitez también en mm/mm ($\theta_{v_{wp}}$ / mm mm⁻¹). En la columna J se introduce el valor de la densidad aparente del suelo, si no se dispone de ese dato se puede introducir el valor de la densidad aparente a capacidad de campo (ρ_{fc} / g cm⁻³), en la columna K se introduce el porcentaje de elementos gruesos (stones (%)), en la L el porcentaje de carbonato cálcico equivalente (CCE (%)), en la M el porcentaje de materia orgánica del suelo (SOM (%)), en la N el porcentaje de yeso (Gypsum (%)), y en la O el logaritmo de la presión parcial de dióxido de carbono (log pCO₂).

4.9. Hoja "Wat_batch"

En esta hoja se guardan los datos analíticos del agua de riego. La información se introduce de la fila 2 en adelante con una fila para cada diferente calidad de agua de riego.

En la columna A se introduce el código del agua de riego (Water_id). De la columna B a la I se introducen las concentraciones en unidades de mmol L⁻¹ de cada uno de los iones del agua del riego en este orden: sodio ($[Na^+]_{iw}$ / mmol L⁻¹), potasio ($[K^+]_{iw}$ / mmol L⁻¹), calcio ($[Ca^{2+}]_{iw}$ / mmol L⁻¹), magnesio ($[Mg^{2+}]_{iw}$ / mmol L⁻¹), cloruro ($[Cl^-]_{iw}$ / mmol L⁻¹), nitrato ($[NO_3^-]_{iw}$ / mmol L⁻¹), sulfato ($[SO_4^{2-}]_{iw}$ / mmol L⁻¹) y finalmente alcalinidad en unidades de meq L⁻¹ (Alk_{iw} / meq L⁻¹). En la columna J y K se introducen respectivamente como

datos adicionales (no necesarios para las simulaciones) el pH (pH_{iw}) y la conductividad eléctrica (EC_{iw} / $dS\ m^{-1}$) en unidades de $dS\ m^{-1}$.

4.10. Hoja "Irrigat_batch"

En esta hoja se introducen los datos de manejo del riego. La información se introduce de la fila 2 en adelante con una fila para cada simulación. Esta hoja se puede rellenar manualmente en el caso de los cultivos multianuales, o bien se puede rellenar mediante una herramienta de SALTIRSOIL en el caso de cultivos anuales calculando los valores mensuales a partir de los valores por etapas guardados en la hoja "Annual_crops_irrigat".

En la columna A se introduce el código del programa de riegos (Irrigat_id). De la columna B a la M se introduce la cantidad mensual de agua de riego en orden desde enero (I_{jan} / mm) hasta diciembre (I_{dec} / mm). De la columna N a la Y se introduce el número de días de riego de cada mes en orden también desde enero (If_{jan} / day) hasta diciembre (If_{dec} / day). En la columna Z se introduce la fracción de suelo humedecida por el riego (ws). En las columnas de la AA a la AD se introduce el porcentaje de agua extraída por las raíces de la planta de cada cuarto de la profundidad radicular desde el más superficial ($\%ET_1$) hasta el más profundo ($\%ET_4$).

4.11. Hoja "Crop_batch"

En esta hoja se introduce la información que caracteriza el desarrollo de los cultivos. La información se introduce de la fila 2 en adelante con doce filas para cada simulación, una fila para cada mes del año en orden desde enero hasta diciembre. Igual que la información en la hoja anterior, en esta hoja los datos se pueden introducir manualmente, o bien se pueden calcular a partir de la información guardada en la hoja "Annual_crops_growth" mediante una herramienta de SALTIRSOIL (ver punto 4.2).

En la columna A se introduce el código del cultivo (Crop_id), éste se repite doce veces, una por cada mes. En la columna B se introduce el coeficiente de cultivo basal mensual (K_{cb}), en la columna C se introduce la profundidad radicular promedio mensual en cm (rd / cm), y finalmente en la columna D se introduce la fracción de área sombreada promedio mensual (sa).

4.12. Hoja "SSol_batch"

En esta hoja SALTIRSOIL escribe los resultados de las simulaciones con una fila para cada simulación. En la columna A se escribe el código identificativo de la simulación (Scenario_id). En las columnas B y C los

factores de concentración de la solución del suelo a capacidad de campo (f_{fc}) y saturación (f_{sat}) respectivamente, en la columna D la fracción de lavado del suelo (LF), en las columnas E, F, G, H, I y J la cantidad anual de agua de lluvia ($R / \text{mm yr}^{-1}$), riego ($I / \text{mm yr}^{-1}$), drenaje ($D / \text{mm yr}^{-1}$), evapotranspiración de referencia ($ET_0 / \text{mm yr}^{-1}$), evapotranspiración de cultivo ($ET_c / \text{mm yr}^{-1}$) y evapotranspiración real ($ET_a / \text{mm yr}^{-1}$) respectivamente. En la columna K se escribe la solución del suelo para la cual se calculan la composición, pH y conductividad. En las columnas L, M, N, O, P, Q y R se escriben respectivamente las concentraciones en mmol L^{-1} de sodio ($[Na^+]_{ss} / \text{mmol L}^{-1}$), potasio ($[K^+]_{ss} / \text{mmol L}^{-1}$), calcio ($[Ca^{2+}]_{ss} / \text{mmol L}^{-1}$), magnesio ($[Mg^{2+}]_{ss} / \text{mmol L}^{-1}$), cloruro ($[Cl^-]_{ss} / \text{mmol L}^{-1}$), nitrato ($[NO_3^-]_{ss} / \text{mmol L}^{-1}$) y sulfato ($[SO_4^{2-}]_{ss} / \text{mmol L}^{-1}$). En la columna S se escribe la alcalinidad en meq L^{-1} ($Alk_{ss} / \text{meq L}^{-1}$), en la columna T se escribe el pH (pH_{ss}) y en la U se escribe la conductividad eléctrica a 25°C ($EC_{ss} / \text{dS m}^{-1}$).

4.13. Hoja "WBal_batch"

En esta hoja SALTIRSOIL escribe los resultados del balance de agua de la fila 2 en adelante con doce filas para cada simulación, una por cada mes.

En la columna A se escribe el código de la simulación (Scenario_id). De la columna B a la G se escriben los siguientes datos mensuales todos ellos en mm: en la columna B se escribe la precipitación ($R / \text{mm month}^{-1}$), en la columna C se escribe la cantidad de agua de riego ($I / \text{mm month}^{-1}$), en la columna D se escribe la evapotranspiración de referencia ($ET_0 / \text{mm month}^{-1}$), en la columna E se escribe la evapotranspiración de cultivo ($ET_c / \text{mm month}^{-1}$), en la columna F se escribe la evapotranspiración real ($ET_a / \text{mm month}^{-1}$), y en la columna G se escribe el drenaje ($D / \text{mm month}^{-1}$).

4.14. Hoja "Constants"

Los valores de las constantes termodinámicas que utiliza SALTIRSOIL para el cálculo de la composición de las soluciones del suelo en equilibrio se guardan en esta hoja.

En la fila 5 se presentan varias celdas recuadradas donde debe introducirse el logaritmo decimal de las siguientes constantes: constante de Henry de solubilidad del dióxido de carbono en agua (K_H), constante de autoionización del agua (K_W), primera y segunda constantes de acidez del ácido carbónico (K_{a1} y K_{a2}), y los productos de solubilidad de calcita y yeso (K_{sCaCO_3} y K_{sCaSO_4}).

En la matriz recuadrada de la hoja (filas 13 a 18 y columnas C a F) debe introducirse el logaritmo decimal de la constante de formación de cada uno

de los pares iónicos considerados en este programa. Una celda vacía o con un cero en esta matriz se interpreta como que el correspondiente par iónico no se forma.

4.15. Hoja "Parameters"

Los valores de los parámetros que utiliza SALTIRSOIL para calcular la conductividad eléctrica a 25 °C (EC_{25} , EC_{ss}) a partir de la composición iónica mayoritaria se guardan en esta hoja. La hoja está organizada en cuatro recuadros. En el recuadro de arriba (filas 4 a 7, columnas B a M) se guardan los valores de carga, movilidad iónica y masa molar de los iones libres hidronio, hidroxilo, sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro, nitrato, sulfato, bicarbonato y carbonato además de la especie neutra ácido carbónico. En los dos siguientes recuadros (filas 10 a 11, columnas B a M y filas 14 a 15, columnas B a M) se introducen los valores de carga y conductividad iónica equivalente a dilución infinita para cada uno de los pares iónicos que se pueden formar por combinación de los iones libres anteriormente citados. En el recuadro de abajo (filas 18 a 20, columnas B a E) se introducen los coeficientes de la ecuación empírica para el cálculo de la conductividad eléctrica (Visconti *et al.*, 2010b), la ordenada en el origen en la celda E19 y la pendiente en la celda E20.

5. Utilización del programa

El concepto de utilización de SALTIRSOIL consta de los siguientes pasos: 1) preparación del libro de cálculo sin SALTIRSOIL, 2) preparación del libro de cálculo utilizando las herramientas de SALTIRSOIL, y 3) realización de las simulaciones (figura 4).

5.1. Preparación del libro de cálculo sin SALTIRSOIL

En un primer paso el usuario prepara las simulaciones trabajando únicamente con el libro de cálculo. El libro de cálculo distribuido con la aplicación y guardado inicialmente en la carpeta del programa SALTIRSOIL 1 puede copiarse en cualquier otra ubicación dentro del equipo del usuario. Para preparar sus simulaciones el usuario debe introducir los datos necesarios de suelo y calidad de agua de riego en las hojas que se indican en el cuadro 1 izquierda. El usuario introduce la información de los suelos en la hoja "Soil_batch" y la de calidad de agua de riego en la hoja "Wat_batch". El usuario introduce la información de desarrollo de cultivos multianuales en la

hoja "Tree_crops" y la de desarrollo de cultivos anuales en la hoja "Annual_crops_growth". La información de prácticas de riego de cultivos

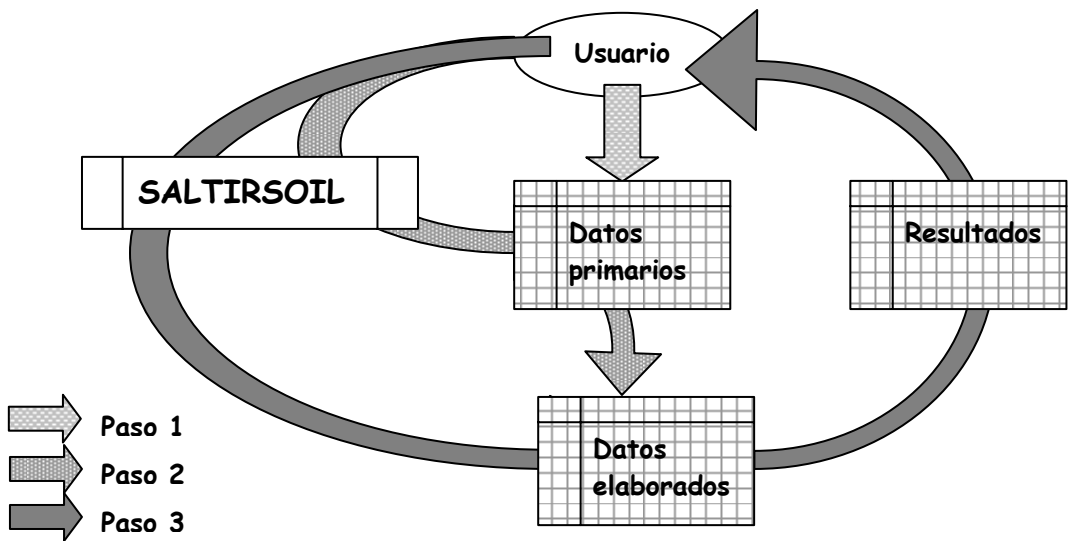


Figura 4. Realización de las simulaciones en tres pasos.

Cuadro 1. Modo de obtención de los datos necesarios para trabajar con SALTIRSOIL.

Introducción manual de los datos en las hojas	Cálculo mediante las herramientas de SALTIRSOIL a partir de los datos en las otras hojas
<ul style="list-style-type: none">➤ Constants➤ Parameters➤ Tree_crops➤ Annual_crops_growth➤ Annual_crops_irrigat➤ Clim_WS➤ Clim_data➤ Sim_batch (sólo los códigos)➤ Soil_batch➤ Wat_batch➤ Irrigat_batch (sólo multianuales)	<ul style="list-style-type: none">➤ Crop_batch➤ Clim_batch➤ Irrigat_batch (sólo anuales)➤ Sim_batch (variables comunes)➤ SSol_batch➤ WBal_batch

multianuales se introduce directamente en la hoja "Irrigat_batch" y la de cultivos anuales en la hoja "Annual_crops_irrigat". A continuación el usuario introduce la información climática en las hojas "Clim_WS" y "Clim_data". Finalmente, el usuario introduce los datos de constantes y parámetros necesarios para llevar a cabo el cálculo de la composición y conductividad eléctrica de la solución del suelo en las hojas "Constants" y "Parameters".

5.2. Preparación del libro de cálculo con SALTIRSOIL

La preparación de las simulaciones se termina elaborando la información que falta mediante la utilización de las herramientas de SALTIRSOIL. Ésta es la información contenida en las tres primeras hojas del cuadro 1 derecha: información de cultivo en la hoja "Crop_batch" e información de clima en la hoja "Clim_batch". En el caso de los cultivos anuales también se debe elaborar la información de prácticas de manejo de riego de la hoja "Irrigat_batch".

Iniciamos SALTIRSOIL y se abre el programa con la pantalla del espacio de trabajo del programa (figura 5). En la barra de menús del programa hay uno llamado "File", otro llamado "Simulations", otro llamado "Tools" y otro llamado "Help". Desplegamos el menú "File" para observar que contiene los submenús "Workbook" y "Exit". Mediante el submenú "Workbook" accedemos a un cuadro de diálogo que nos permite buscar y abrir el libro de cálculo donde hemos guardado previamente la información con la que trabajará SALTIRSOIL. Cuando se instala el programa el libro de cálculo se guarda en la carpeta del programa, no obstante el usuario puede cambiar la localización y el nombre del libro de cálculo según sus necesidades. Una vez abierto el libro de cálculo no se cierra hasta que se acaba la sesión de trabajo.



Figura 5. Espacio de trabajo de SALTIRSOIL.

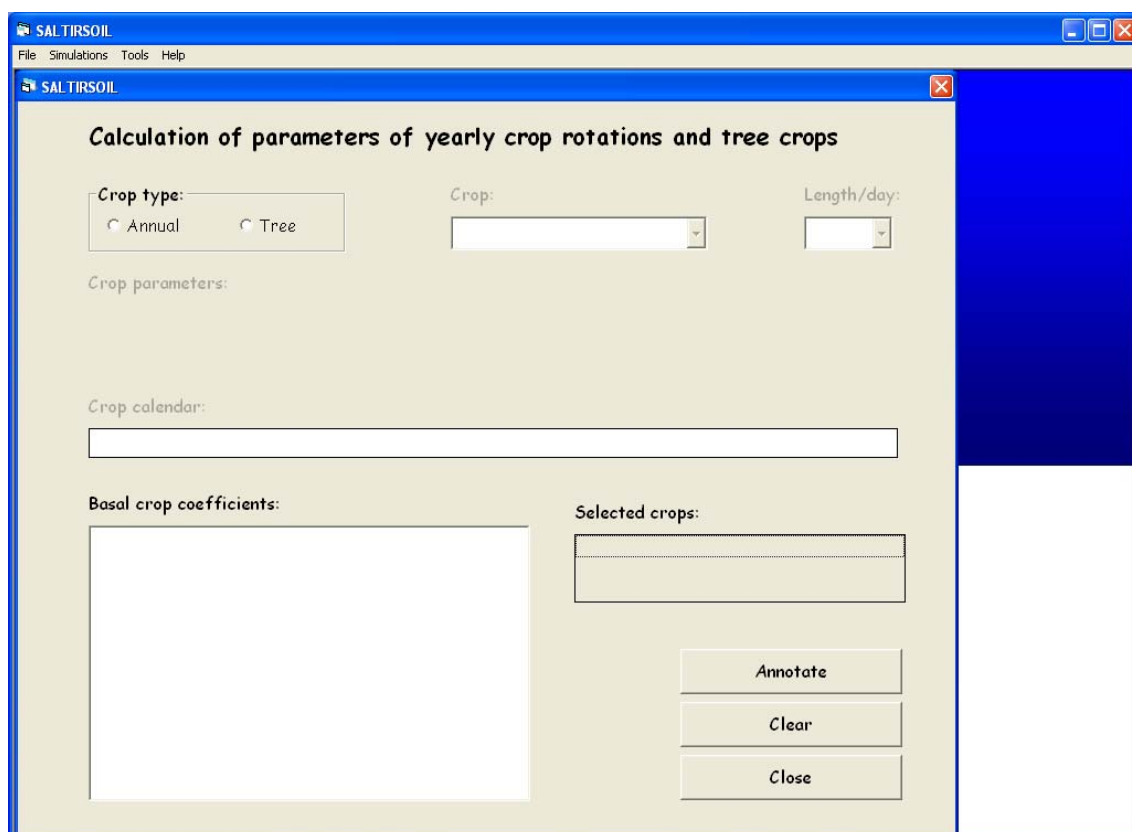


Figura 6. Pantalla para calcular los coeficientes de cultivo, profundidad radicular y área sombreada.

5.2.1. Elaboración de la información de cultivo

Para elaborar la información de cultivo desplegamos el menú "Tools" y hacemos clic en el submenú "Crop parameters". Se abre el cuadro de diálogo "Calculation of parameters of yearly crop rotations and tree crops" (figura 6) en el cual seleccionamos trabajar con cultivos multianuales escogiendo la opción "Tree" en el cuadro "Crop type" o bien trabajar con cultivos anuales seleccionando la opción "Annual" en este mismo cuadro.

5.2.1.1. Cultivos multianuales

Una vez seleccionada la opción "Tree" desplegamos la lista "Crop" y escogemos uno de los cultivos guardados en las hojas "Tree_crops". En el cuadro "Crop parameters" y en la gráfica "Basal crop coefficients" se muestra el coeficiente basal de cultivo de cada mes. Esta información se puede anotar en la hoja "Crop_batch". Para ello hacemos clic en el botón "Annotate" y escribimos un código para este cultivo, puede ser el mismo nombre del cultivo u otro. La anotación del coeficiente de cultivo mensual se acompaña del valor de la profundidad radicular y el área sombreada mensual.

5.2.1.2. Cultivos anuales

Una vez seleccionada la opción "Annual" en el cuadro "Crop type" se despliega la lista "Crop" y en ella se selecciona alguno de los cultivos guardados en las hojas "Annual_crops_growth" y "Annual_crops_irrigat". En el cuadro "Crop parameters" se muestran los coeficientes de cultivo y duración en días de cada una de las etapas en que puede dividirse el desarrollo de estos cultivos (Allen *et al.*, 1998). La duración total del cultivo en días se muestra en la lista desplegable llamada "Length / day". Éste número de días puede cambiarse seleccionando dentro de esta lista otro número de días. Una vez tenemos seleccionado el cultivo y su duración se escoge la fecha de siembra en el calendario llamado "Crop calendar" situado en el centro del cuadro (figura 7). Para ello se pasa el ratón por encima de dicho eje, al hacerlo se muestra la fecha que corresponde al punto del eje sobre el que se encuentra el puntero del ratón. Hacemos clic en el cuadro cuando tengamos la fecha que queramos y el programa nos pregunta si queremos añadir este cultivo, decimos que sí y el periodo de tiempo ocupado por dicho cultivo en el año aparecerá pintado en el eje cronológico. Las fechas de plantación y de siembra aparecen junto con el nombre del cultivo en el cuadro "Selected crops" y los coeficientes de cultivo basales mensuales se representan en la gráfica "Basal crop coefficients".

A continuación se pueden seleccionar otros cultivos, los cuales podrán añadirse siempre y cuando no se solapen (figura 7 derecha). Cuando hemos concluido la selección de cultivos hacemos clic en el botón "Annotate" y escribimos en el cuadro que aparece un código para la rotación. Los coeficientes de cultivo basales mensuales, la profundidad radicular y la fracción de área sombreada se escribirán en la hoja "Crop_batch". Asimismo la información de prácticas de manejo del riego se escribirá en la hoja "Irrigat_batch".

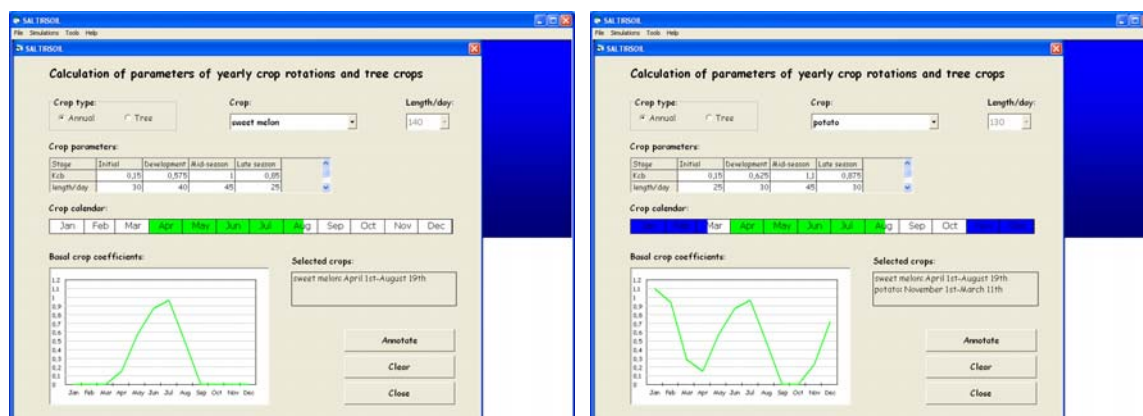


Figura 7. Cálculo de los coeficientes basales de cultivo para melón (izquierda) y para la rotación de melón y patata (derecha).

5.2.2. Elaboración de la información climática

Dentro del menú "Tools" hacemos clic en el submenú "Reference evapotranspiration" para abrir el cuadro de diálogo "Calculation of reference evapotranspiration" (figura 8). En este cuadro desplegamos la lista "Weather station" y seleccionamos la estación meteorológica cuyos datos nos interesen. Al seleccionar una estación meteorológica se habilitan las opciones de cálculo de la evapotranspiración de referencia disponibles con la información existente para la estación. Elegimos alguna de éstas en el cuadro "Available calculation methods" y su resultado se representa gráficamente junto con la temperatura y lluvia mensual en el cuadro "Climogram". De la misma manera que antes los valores medios mensuales de la temperatura, precipitación y evapotranspiración de referencia se anotan en el libro de trabajo de SALTIRSOIL. Para ello se hace clic en el botón "Annotate" y se escribe un código para los datos climáticos. Éstos se anotarán en la hoja "Clim_batch".

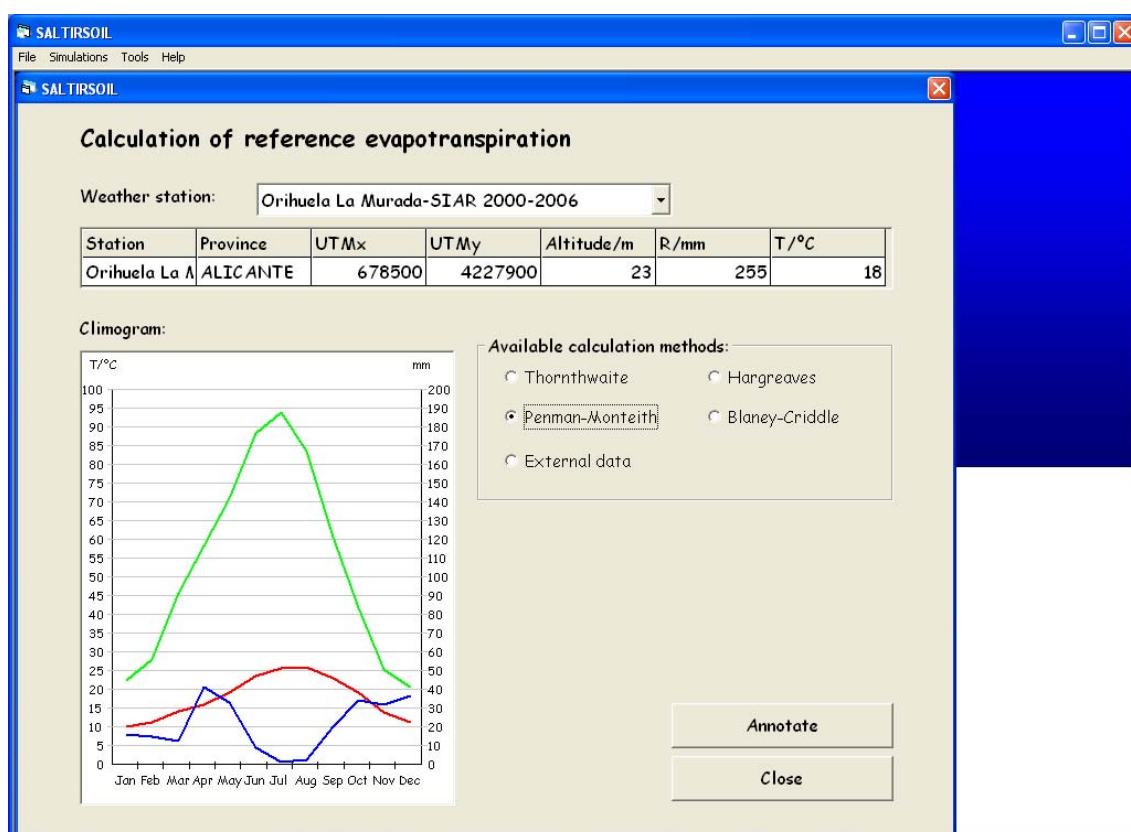


Figura 8. Pantalla para calcular la evapotranspiración de referencia.

5.3. Realización de simulaciones

Para la realización de simulaciones deberemos tener toda la información de las hojas "_batch" completada (hojas verdes y azul en la figura 3). Esto implica que deberemos rellenar la información de identificación de los datos climáticos, de suelo, de calidad de agua, de prácticas de manejo del riego y de cultivo de la hoja "Sim_batch". Por cada uno de los códigos "Climate_id", "Soil_id", "Water_id", "Irrigat_id" y "Crop_id" escritos en esta hoja debe haber un conjunto de datos climáticos, de suelo, de calidad de agua, de prácticas de manejo del riego y de cultivo con el mismo código en las hojas "Clim_batch", "Soil_batch", "Wat_batch", "Irrigat_batch" y "Crop_batch" respectivamente (figura 3).

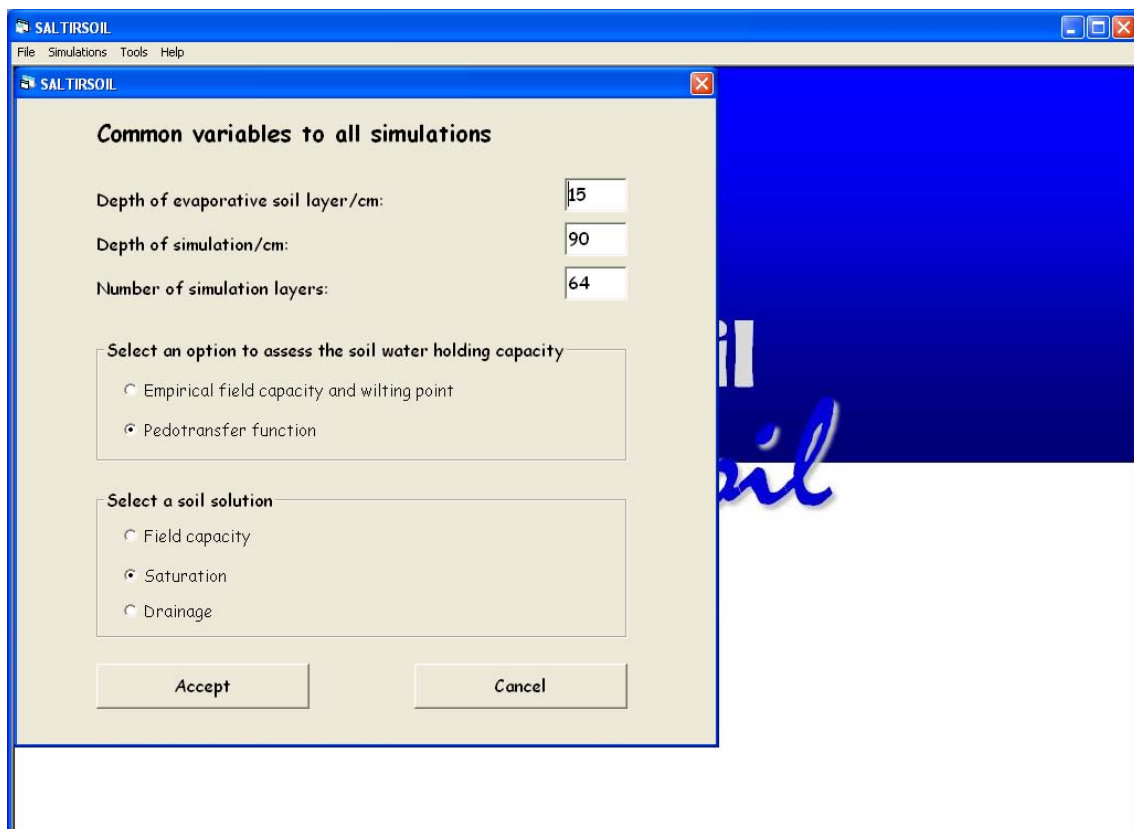


Figura 9. Pantalla donde se seleccionan los parámetros comunes para todas las simulaciones y se ordena su cálculo.

Una vez nos hemos asegurado de que no falta ningún dato desplegamos el menú "Simulations" y seleccionamos "Batch runs". Se abre el cuadro de diálogo "Common variables to all simulations" (figura 9) donde se selecciona el valor de las condiciones generales de simulación: profundidad de suelo evaporativo ("Depth of evaporative soil layer / cm"), profundidad de simulación ("Depth of simulation / cm") y número de capas en que se discretiza el suelo para llevar a cabo las simulaciones ("Number of

simulation layers"). También se debe elegir un método de evaluación de la humedad del suelo en el cuadro "Select an option to assess the soil water holding capacity", que puede ser con datos medidos ("Empirical field capacity and wilting point"), o bien mediante la utilización de las funciones de edafotransferencia integradas en SALTIRSOIL ("Pedotransfer function"). Finalmente se debe elegir la solución del suelo para la cual se calculará su composición y propiedades en el cuadro "Select a soil solution", que puede ser la solución del suelo a capacidad de campo ("Field capacity"), a saturación ("Saturation"), o bien el agua de drenaje del suelo ("Drainage"). Para todas las opciones en esta hoja se presentan una serie de valores por defecto.

Una vez se selecciona esta información se hace clic en el botón "Accept" y SALTIRSOIL realiza las simulaciones y escribe sus resultados en las hojas "SSol_batch" y "WBal_batch" y las opciones de cálculo seleccionadas en la hoja "Sim_batch".

El programa SALTIRSOIL se distribuye gratuitamente para propósitos de investigación, de gestión agrícola y educativos.

Las consultas y sugerencias de mejora son bienvenidas y pueden dirigirse a su autor en la dirección de correo electrónico proporcionada al principio de este documento.

6. Guía rápida de utilización de SALTIRSOIL

Una vez instalado el programa, buscamos la carpeta del programa SALTIRSOIL 1, y dentro de ella el libro de cálculo SALTIRSOIL.xls. Habitualmente ésta no será la ubicación más adecuada para los datos de las simulaciones que vayamos realizando. Así que copiaremos el libro y lo pegaremos en otra ubicación más adecuada. A continuación abriremos el libro de cálculo y repasaremos la información que incluye. El libro se distribuye con la información necesaria para realizar la simulación de un cultivo de melón en suelo de la Vega Baja del Segura en las cercanías de la localidad de Orihuela y regado con agua del río Segura. Para ver esto mirar en la hoja "Sim_batch". Para realizar otras simulaciones se deben rellenar más filas. La información que debemos teclear es la de las seis primeras columnas: "Scenario_id", "Climate_id", "Soil_id", "Water_id", "Irrigat_id" y "Crop_id". El resto de columnas se dejan libres. Rellenando las columnas indicadas habremos especificado el nombre de la simulación, el clima, el suelo, la calidad de agua de riego, el manejo del riego y el cultivo o rotación de cultivos respectivamente.

Para llevar a cabo la simulación del cultivo de melón a modo de ejemplo copiamos los valores contenidos en las seis primeras columnas de la segunda

fila de la hoja "Sim_batch" y los pegamos en la tercera fila. A continuación cambiamos el nombre del escenario de simulación y ponemos "melón_2" por ejemplo. Abrimos el programa SALTIRSOIL desde el menú "Inicio" de Windows. Se nos presentará el espacio de trabajo del programa (figura 5). Se despliega el menú "File" y se selecciona "Workbook". En el cuadro de diálogo que aparece buscamos la carpeta donde hemos guardado el libro de trabajo SALTIRSOIL.xls y lo abrimos. De este modo hemos indicado al programa el libro de trabajo con el cual ha de trabajar. Para realizar la simulación vamos al menú "Simulations" → "Batch runs". Se abre un cuadro de diálogo en el cual están seleccionadas por defecto las opciones que se han utilizado en la simulación guardada en la segunda fila de la hoja "Sim_batch" (figura 9). Hacemos clic en "Accept" y SALTIRSOIL llevará a cabo la simulación "melón" y "melón_2". Podemos ver los resultados de estas dos simulaciones, son iguales si no hemos cambiado nada, en la hoja "SSol_batch" y en la hoja "WBal_batch".

Podemos probar a realizar otras simulaciones cambiando el suelo, el clima, la calidad de agua, etc en la hoja "Sim_batch" y ver los cambios que se producen. Para hacer esto debemos teclear en las celdas correspondientes de la hoja "Sim_batch" los códigos de suelo, clima, calidad de agua, etc que se encuentran en la primera columna de las hojas "Soil_batch", "Clim_batch", "Wat_batch", etc, respectivamente.

Podemos hacer las simulaciones para nuestros propios suelos, climas, calidades de agua, etc. Para ello se rellenan los valores correspondientes en las hojas "Soil_batch", "Clim_batch", "Wat_batch", etc respectivamente. Para rellenar los datos de la hoja "Clim_batch" es posible que necesitemos calcular la evapotranspiración de referencia. Esto puede llevarse a cabo a partir de información climática más básica utilizando la herramienta de SALTIRSOIL "Reference evapotranspiration". Para utilizarla en primer lugar tendremos que tener completados los datos necesarios para el cálculo en las hojas "Clim_WS" y "Clim_data" (ver sección 5.2.2). Si lo que queremos es llevar a cabo la simulación de otros cultivos, rellenar la información de las hojas "Crop_batch" e "Irrigat_batch" exige la utilización de la herramienta de SALTIRSOIL "Crop parameters". Para ello en primer lugar se tendrá que haber completado la información de las hojas "Tree_crops" si queremos simular cultivos multianuales (arbóreos) o "Annual_crops_growth" y "Annual_crops_irrigat" si queremos simular cultivos anuales y rotaciones de cultivos multianuales (ver sección 5.2.1).

7. Referencias

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Visconti, F., 2009. Elaboración de un modelo predictivo de la acumulación de sales en suelos agrícolas de regadío bajo clima mediterráneo; aplicación a la Vega Baja del Segura y Bajo Vinalopó (Alicante). Memoria de tesis doctoral. Universitat de València EG. València.

Visconti, F., de Paz, J.M., Rubio, J.L., Sánchez, J., 2010a. Development of SALTIRSOIL: a simulation model for the mid to long term prediction of soil salinity in irrigated well-drained lands. *Soil Use and Management* (en revision).

Visconti, F., de Paz, J.M., Rubio, J.L. 2010b. An empirical equation to calculate soil solution electrical conductivity at 25 °C from major ion concentrations. *European Journal of Soil Science* (en prensa [doi: 10.1111/j.1365-2389.2010.01284.x]).

8. Anexo: lista de variables de SALTIRSOIL

(Páginas siguientes)

Clase	Variable (abreviatura) / unidades	Utilización	Nº de datos	Hoja	Obs.
Escenario	Código de escenario de simulación (Scenario_id) / texto	input	1	Sim_batch / SSol_batch / WBal_batch	
Variables comunes a todas las simulaciones	Profundidad de simulación (depth) / cm	input	1	Sim_batch	a
	Profundidad de suelo evaporativo (devap) / cm	input	1	Sim_batch	a
	Número de capas de suelo (layers)	input	1	Sim_batch	a
	Uso de función de edafotransferencia (pedotransfer)	input	1	Sim_batch	a
	Solución del suelo simulada (soil solution)	input	1	Ssol_batch	a
Clima	Código de la estación meteorológica (Station) / texto	input	1	Clim_batch / Clim_WS / Sim_batch	
	Precipitación mensual (R) / mm month ⁻¹	input	12	Clim_batch	
	Frecuencia de lluvia mensual (Rf) / day month ⁻¹	input	12	Clim_batch	
	Evapotranspiración de referencia mensual (ET ₀) / mm month ⁻¹	input / output	12	Clim_batch	
	Temperatura media mensual (Tavg) / °C	input	12	Clim_batch	
	Temperatura máxima media mensual (Tmax) / °C	input	12	Clim_batch	
	Temperatura mínima media mensual (Tmin) / °C	input	12	Clim_batch	
	Humedad relativa media mensual (RHavg) / (%)	input	12	Clim_batch	
	Humedad relativa máxima media mensual (RHmax) / (%)	input	12	Clim_batch	
	Humedad relativa mínima media mensual (RHmin) / (%)	input	12	Clim_batch	
	Radiación solar en el nivel del suelo media mensual (Rs) / MJ m ⁻² day ⁻¹	input / output	12	Clim_batch	
	Insolación (insolation) / h	input	12	Clim_batch	
	Velocidad del viento media mensual (wind) / m s ⁻¹ day ⁻¹	input	12	Clim_batch	
	Latitud (latitude) / (°)	input	1	Clim_WS	
	Altitud (altitude) / m	input	1	Clim_WS	
	Provincia o estado (Province) / texto	adicional	1	Clim_WS	
	Coordenada UTM x (UTMx) / m	adicional	1	Clim_WS	
	Coordenada UTM y (UTMy) / m	adicional	1	Clim_WS	
	Red de estaciones (System) / texto	adicional	1	Clim_WS	
	Periodo de tiempo (Time span) / texto	adicional	1	Clim_WS	

Clase	Variable (abreviatura) / unidades	Utilización	Nº de datos	Hoja	Obs.
Suelo	Código de suelo (Soil_id) / texto	input	1	Batch_soil / Sim_batch	
	Porcentaje de arcilla (clay) / g (100g) ⁻¹	input	m	Batch_soil	b
	Porcentaje de arena (sand) / g (100g) ⁻¹	input	m	Batch_soil	b
	Porcentaje de limo (silt) / g (100g) ⁻¹	adicional	m	Batch_soil	b
	Porcentaje de piedras (stones) / g (100g) ⁻¹	input	m	Batch_soil	b
	Porcentaje de carbonato cálcico equivalente (CCE) / g (100g) ⁻¹	input	m	Batch_soil	b
	Porcentaje de materia orgánica (SOM) / g (100g) ⁻¹	input	m	Batch_soil	b
	Porcentaje de yeso (Gypsum) / g (100g) ⁻¹	input	m	Batch_soil	b
	Presión parcial de dióxido de carbono (log pCO ₂)	input	m	Batch_soil	b
	Densidad aparente (ρ_{fc}) / g cm ⁻³	input / calculada	m	Batch_soil	b
	Humedad gravimétrica a saturación ($\theta_{g_{sat}}$) / g g ⁻¹	input / calculada	m	Batch_soil	b
	Humedad volumétrica a capacidad de campo ($\theta_{v_{fc}}$) / mm mm ⁻¹	input / calculada	m	Batch_soil	b
	Humedad volumétrica en el punto de marchitez ($\theta_{v_{wp}}$) / mm mm ⁻¹	input / calculada	m	Batch_soil	b
Cultivo	Código de cultivo o rotación de cultivos (Crop, Crop_id) / texto	input	1	Tree_crops / Annual_crops_growth / Sim_batch	
	Profundidad radicular máxima (rd _{max}) / cm	input	1	Tree_crops / Annual_crops_growth	
	Fracción máxima de área sombreada (sa _{max})	input	1	Tree_crops / Annual_crops_growth	
	Coeficiente basal mensual de cultivos multianuales (Kcb _{month})	input / output	12	Tree_crops / Crop_batch	
	Profundidad radicular mensual (rd) / cm	input / output	12	Crop_batch	
	Fracción de área sombreada mensual (sa)	input / output	12	Crop_batch	
	Coeficiente basal de etapa de cultivo anual (Kcb _{stage})	input	4	Annual_crops_growth	
	Duración total de los cultivos anuales (L _{total}) / day	input	1	Annual_crops_growth	
	Duración relativa de cada etapa de los cultivos anuales (L _{stage} / L _{total})	input	4	Annual_crops_growth	
	Época de cultivo (Date) / texto	adicional	1	Annual_crops_growth	
	Porcentaje de evapotranspiración real extraída del 1 ^{er} cuarto de la profundidad radicular (%ET ₁)	input	1	Irrigat_batch	
	Porcentaje de evapotranspiración real extraída del 2 ^o cuarto de la profundidad radicular (%ET ₂)	input	1	Irrigat_batch	
	Porcentaje de evapotranspiración real extraída del 3 ^{er} cuarto de la profundidad radicular (%ET ₃)	input	1	Irrigat_batch	

Clase	Variable (abreviatura) / unidades	Utilización	Nº de datos	Hoja	Obs.
Calidad de agua	Porcentaje de evapotranspiración real extraída del 4º cuarto de la profundidad radicular (%ET ₄)	input	1	Irrigat_batch	
	Código de calidad de agua de riego (Water_id) / texto	input	1	Wat_batch / Sim_batch	
	Concentración de sodio ([Na ⁺] _{iw}) / mmol L ⁻¹	input	1	Wat_batch	
	Concentración de potasio ([K ⁺] _{iw}) / mmol L ⁻¹	input	1	Wat_batch	
	Concentración de magnesio ([Mg ²⁺] _{iw}) / mmol L ⁻¹	input	1	Wat_batch	
	Concentración de calcio ([Ca ²⁺] _{iw}) / mmol L ⁻¹	input	1	Wat_batch	
	Concentración de cloruro ([Cl ⁻] _{iw}) / mmol L ⁻¹	input	1	Wat_batch	
	Concentración de nitrato ([NO ₃ ⁻] _{iw}) / mmol L ⁻¹	input	1	Wat_batch	
	Concentración de sulfato ([SO ₄ ²⁻] _{iw}) / mmol L ⁻¹	input	1	Wat_batch	
	Alcalinidad (Alk _{iw}) / meq L ⁻¹	input	1	Wat_batch	
Manejo del riego	pH (pH _{iw})	adicional	1	Wat_batch	
	Conductividad eléctrica a 25 °C (EC _{iw}) / dS m ⁻¹	adicional	1	Wat_batch	
	Código de manejo del riego (Irrigat_id / Sim_batch) / texto	input	1	Irrigat_batch / Sim_batch	
	Riego total para cultivos anuales (I _{total}) / mm	input	1	Annual_crops_irrigat	
	Número total de días de riego para cultivos anuales (If _{total}) / días	input	1	Annual_crops_irrigat	
	Fracción del agua de riego anual aplicada cada mes (I _{month} / I _{total})	input	12	Annual_crops_irrigat	
	Fracción de los días de riego total en cada mes (If _{month} / If _{total})	input	12	Annual_crops_irrigat	
	Riego mensual para cultivos multianuales o rotaciones de cultivo (I _{month}) / mm month ⁻¹	input	12	Irrigat_batch	
Constantes termodinámicas de equilibrio químico	Número de días de riego mensuales para cultivos multianuales o rotaciones de cultivo (I _{fmonth}) / day	input	12	Irrigat_batch	
	Porcentaje de superficie de suelo mojada por el riego (ws)	input	1	Irrigat_batch / Annual_crops_irrigat	
	Disolución de CO ₂ en agua (K _H)	input	1	Constants	
	Producto de autoprotólisis del agua (K _w)	input	1	Constants	
	Primera ionización del ácido carbónico (K _{a1})	input	1	Constants	
	Segunda ionización del ácido carbónico (K _{a2})	input	1	Constants	
	Producto de solubilidad de la calcita (K _{sCaCO3})	input	1	Constants	
	Producto de solubilidad del yeso (K _{sCaSO4})	input	1	Constants	

Clase	Variable (abreviatura) / unidades	Utilización	Nº de datos	Hoja	Obs.
	Formación del par NaOH° (K_{NaOH°)	input	1	Constants	
	Formación del par KOH° (K_{KOH°)	input	1	Constants	
	Formación del par MgOH^+ (K_{MgOH^+})	input	1	Constants	
	Formación del par CaOH^+ (K_{CaOH^+})	input	1	Constants	
	Formación del par NaCl° (K_{NaCl°)	input	1	Constants	
	Formación del par KCl° (K_{KCl°)	input	1	Constants	
	Formación del par MgCl^+ (K_{MgCl^+})	input	1	Constants	
	Formación del par CaCl^+ (K_{CaCl^+})	input	1	Constants	
	Formación del par NaNO_3° ($K_{\text{NaNO}_3^\circ}$)	input	1	Constants	
	Formación del par KNO_3° ($K_{\text{KNO}_3^\circ}$)	input	1	Constants	
	Formación del par MgNO_3^+ ($K_{\text{MgNO}_3^+}$)	input	1	Constants	
	Formación del par CaNO_3^+ ($K_{\text{CaNO}_3^+}$)	input	1	Constants	
	Formación del par NaSO_4^- ($K_{\text{NaSO}_4^-}$)	input	1	Constants	
	Formación del par KSO_4^- ($K_{\text{KSO}_4^-}$)	input	1	Constants	
	Formación del par MgSO_4° ($K_{\text{MgSO}_4^\circ}$)	input	1	Constants	
	Formación del par CaSO_4° ($K_{\text{CaSO}_4^\circ}$)	input	1	Constants	
	Formación del par NaHCO_3° ($K_{\text{NaHCO}_3^\circ}$)	input	1	Constants	
	Formación del par KHCO_3° ($K_{\text{KHCO}_3^\circ}$)	input	1	Constants	
	Formación del par MgHCO_3^+ ($K_{\text{MgHCO}_3^+}$)	input	1	Constants	
	Formación del par CaHCO_3^+ ($K_{\text{CaHCO}_3^+}$)	input	1	Constants	
	Formación del par NaCO_3^- ($K_{\text{NaCO}_3^-}$)	input	1	Constants	
	Formación del par KCO_3^- ($K_{\text{KCO}_3^-}$)	input	1	Constants	
	Formación del par MgCO_3° ($K_{\text{MgCO}_3^\circ}$)	input	1	Constants	
	Formación del par CaCO_3° ($K_{\text{CaCO}_3^\circ}$)	input	1	Constants	
Parámetros iónicos	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita de H^+ (λ_{H^+}) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita de HO^- (λ_{HO^-}) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	

Clase	Variable (abreviatura) / unidades	Utilización	Nº de datos	Hoja	Obs.
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita de Na^+ (Λ_{Na^+}) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita de K^+ (Λ_{K^+}) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita de Ca^{2+} ($\Lambda_{\text{Ca}^{2+}}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita de Mg^{2+} ($\Lambda_{\text{Mg}^{2+}}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita de Cl^- (Λ_{Cl^-}) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita de NO_3^- ($\Lambda_{\text{NO}_3^-}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita de SO_4^{2-} ($\Lambda_{\text{SO}_4^{2-}}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita de HCO_3^- ($\Lambda_{\text{HCO}_3^-}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita de CO_3^{2-} ($\Lambda_{\text{CO}_3^{2-}}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita de H_2CO_3^* ($\Lambda_{\text{H}_2\text{CO}_3^*}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita del par NaOH° ($\Lambda_{\text{NaOH}^\circ}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita del par KOH° ($\Lambda_{\text{KOH}^\circ}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita del par MgOH^+ (Λ_{MgOH^+}) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita del par CaOH^+ (Λ_{CaOH^+}) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita del par NaCl° ($\Lambda_{\text{NaCl}^\circ}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita del par KCl° ($\Lambda_{\text{KCl}^\circ}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita del par MgCl^+ (Λ_{MgCl^+}) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita del par CaCl^+ (Λ_{CaCl^+}) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita del par NaNO_3° ($\Lambda_{\text{NaNO}_3^\circ}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita del par KNO_3° ($\Lambda_{\text{KNO}_3^\circ}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita del par MgNO_3^+ ($\Lambda_{\text{MgNO}_3^+}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita del par CaNO_3^+ ($\Lambda_{\text{CaNO}_3^+}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita del par NaSO_4^- ($\Lambda_{\text{NaSO}_4^-}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita del par KSO_4^- ($\Lambda_{\text{KSO}_4^-}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita del par MgSO_4° ($\Lambda_{\text{MgSO}_4^\circ}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita del par CaSO_4° ($\Lambda_{\text{CaSO}_4^\circ}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	

Clase	Variable (abreviatura) / unidades	Utilización	Nº de datos	Hoja	Obs.
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita del par NaHCO_3° ($\lambda_{\text{NaHCO}_3^\circ}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita del par KHCO_3° ($\lambda_{\text{KHCO}_3^\circ}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita del par MgHCO_3^+ ($\lambda_{\text{MgHCO}_3^+}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita del par CaHCO_3^+ ($\lambda_{\text{CaHCO}_3^+}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita del par NaCO_3^- ($\lambda_{\text{NaCO}_3^-}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita del par KCO_3^- ($\lambda_{\text{KCO}_3^-}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita del par MgCO_3° ($\lambda_{\text{MgCO}_3^\circ}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Conductividad iónica equivalente a dilución infinita del par CaCO_3° ($\lambda_{\text{CaCO}_3^\circ}$) / $\text{S cm}^2 \text{eq}^{-1}$	input	1	Parameters	
	Carga de H^+ (charge H^+)	input	1	Parameters	
	Carga de HO^- (charge HO^-)	input	1	Parameters	
	Carga de Na^+ (charge Na^+)	input	1	Parameters	
	Carga de K^+ (charge K^+)	input	1	Parameters	
	Carga de Ca^{2+} (charge Ca^{2+})	input	1	Parameters	
	Carga de Mg^{2+} (charge Mg^{2+})	input	1	Parameters	
	Carga de Cl^- (charge Cl^-)	input	1	Parameters	
	Carga de NO_3^- (charge NO_3^-)	input	1	Parameters	
	Carga de SO_4^{2-} (charge SO_4^{2-})	input	1	Parameters	
	Carga de HCO_3^- (charge HCO_3^-)	input	1	Parameters	
	Carga de CO_3^{2-} (charge CO_3^{2-})	input	1	Parameters	
	Carga de H_2CO_3^* (charge H_2CO_3^*)	input	1	Parameters	
	Carga del par NaOH° (charge NaOH°)	input	1	Parameters	
	Carga del par KOH° (charge KOH°)	input	1	Parameters	
	Carga del par MgOH^+ (charge MgOH^+)	input	1	Parameters	
	Carga del par CaOH^+ (charge CaOH^+)	input	1	Parameters	
	Carga del par NaCl° (charge NaCl°)	input	1	Parameters	
	Carga del par KCl° (charge KCl°)	input	1	Parameters	

Clase	Variable (abreviatura) / unidades	Utilización	Nº de datos	Hoja	Obs.
	Carga del par MgCl^+ (charge MgCl^+)	input	1	Parameters	
	Carga del par CaCl^+ (charge CaCl^+)	input	1	Parameters	
	Carga del par NaNO_3° (charge NaNO_3°)	input	1	Parameters	
	Carga del par KNO_3° (charge KNO_3°)	input	1	Parameters	
	Carga del par MgNO_3^+ (charge MgNO_3^+)	input	1	Parameters	
	Carga del par CaNO_3^+ (charge CaNO_3^+)	input	1	Parameters	
	Carga del par NaSO_4^- (charge NaSO_4^-)	input	1	Parameters	
	Carga del par KSO_4^- (charge KSO_4^-)	input	1	Parameters	
	Carga del par MgSO_4° (charge MgSO_4°)	input	1	Parameters	
	Carga del par CaSO_4° (charge CaSO_4°)	input	1	Parameters	
	Carga del par NaHCO_3° (charge NaHCO_3°)	input	1	Parameters	
	Carga del par KHCO_3° (charge KHCO_3°)	input	1	Parameters	
	Carga del par MgHCO_3^+ (charge MgHCO_3^+)	input	1	Parameters	
	Carga del par CaHCO_3^+ (charge CaHCO_3^+)	input	1	Parameters	
	Carga del par NaCO_3^- (charge NaCO_3^-)	input	1	Parameters	
	Carga del par KCO_3^- (charge KCO_3^-)	input	1	Parameters	
	Carga del par MgCO_3° (charge MgCO_3°)	input	1	Parameters	
	Carga del par CaCO_3° (charge CaCO_3°)	input	1	Parameters	
Conductividad eléctrica	Ordenada en el origen de la ecuación (CpiA&Lintercept) / dS m^{-1}	input	1	Parameters	
	Pendiente de la ecuación (CpiA&Lslope)	input	1	Parameters	
Composición de la solución del suelo (extracto de saturación, capacidad de campo o drenaje)	Factor de concentración a capacidad de campo (ffc)	output	1	SSol_batch	
	Factor de concentración a saturación (fsat)	output	1	SSol_batch	
	Fracción de lavado (LF)	output	1	SSol_batch	
	Concentración de sodio ($[\text{Na}^+]_{\text{ss}}$) / mmol L^{-1}	output	1	SSol_batch	
	Concentración de potasio ($[\text{K}^+]_{\text{ss}}$) / mmol L^{-1}	output	1	SSol_batch	
	Concentración de magnesio ($[\text{Mg}^{2+}]_{\text{ss}}$) / mmol L^{-1}	output	1	SSol_batch	

Clase	Variable (abreviatura) / unidades	Utilización	Nº de datos	Hoja	Obs.
	Concentración de calcio ($[Ca^{2+}]_{ss}$) / mmol L ⁻¹	output	1	SSol_batch	
	Concentración de cloruro ($[Cl^-]_{ss}$) / mmol L ⁻¹	output	1	SSol_batch	
	Concentración de nitrato ($[NO_3^-]_{ss}$) / mmol L ⁻¹	output	1	SSol_batch	
	Concentración de sulfato ($[SO_4^{2-}]_{ss}$) / mmol L ⁻¹	output	1	SSol_batch	
	Alcalinidad (Alk_{ss}) / meq L ⁻¹	output	1	SSol_batch	
	pH (pH_{ss})	output	1	SSol_batch	
	Conductividad eléctrica a 25°C (EC_{ss}) / dS m ⁻¹	output	1	SSol_batch	
Balance de agua anual	Evapotranspiración de referencia anual (ET_0) / mm yr ⁻¹	output	1	Wbal_batch	
	Evapotranspiración de cultivo anual (ET_c) / mm yr ⁻¹	output	1	Wbal_batch	
	Evapotranspiración real anual (ET_a) / mm yr ⁻¹	output	1	Wbal_batch	
	Precipitación total (R) / mm yr ⁻¹	output	1	Wbal_batch	
	Riego total (I) / mm yr ⁻¹	output	1	Wbal_batch	
	Agua de drenaje / mm yr ⁻¹	output	1	Wbal_batch	
Balance de agua mensual	Evapotranspiración de cultivo (ET_c) / mm month ⁻¹	output	12	SSol_batch	
	Evapotranspiración real (ET_a) / mm month ⁻¹	output	12	SSol_batch	
	Agua de drenaje mensual (D) / mm month ⁻¹	output	12	SSol_batch	

a. Se introducen cuando se ordena la ejecución de las simulaciones

b. Tantos datos como número de capas de suelo muestreadas (nº de muestras = m)