

VALIDACIÓN DEL MODELO BALANSAL EN SUELOS CON RIEGO COMPLEMENTARIO DE LA PAMPA HÚMEDA

Carlos Mirábile¹, Leopoldo Génova², Julieta Monteleone³

¹ Instituto Nacional del Agua y del Ambiente - Centro Regional Andino
Belgrano (oeste) 210 (5500) Mendoza, Argentina

Telefax : 0261-428 8251. E-mail: carlosmirabile@hotmail.com

² Docente e investigador de la F. Agronomía– Universidad Nacional de La Plata

³ Alumna de la F. C. Agrarias – Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN

El estudio tiene por objetivo principal validar el modelo Balansal en la región de la pampa húmeda y luego mediante su aplicación conocer y cuantificar la dinámica hídrica-salina operada en suelos cultivados con riego complementario, analizar su problemática, identificando modalidad de manejo del recurso hídrico y su relación con la dinámica salina.

Lograda la validación del modelo, la toma de decisiones contará con el soporte técnico de fácil aplicación; así mismo los resultados contribuirán a la definición de estrategias de manejo técnico cultural compatibles con una agricultura sostenible

La necesidad de contar con información climática y agro climática confiables, llevó a seleccionar campos de las zonas de **Balcarce** y **Coronel Suárez** (Buenos Aires) por estar bajo cobertura de estaciones meteorológicas normatizadas y estaciones de investigaciones agrícolas. Esto permitió además contar con algunos datos preliminares que posibilitaron una primera corrida del modelo y vislumbrar su adaptabilidad a las zonas seleccionadas.

Verificadas las variables que el modelo utiliza, se procedió a la recopilación de información climática, como también de características físico-químicas de los suelos y fisiológicas de los cultivos a fin de lograr la cuantificación de las mismas. Procediéndose luego a correr el modelo con periodicidad mensual en cultivos maíz, trigo y soja.

La diferencia porcentual promedio entre los valores medidos a campo y los simulados por el modelo es en valor absoluto del 8,6 % y la mediana 0. Un análisis de frecuencia determina un error estándar del 11 % y que el 76% de las comparaciones realizadas están dentro de una diferencia de mas / menos 10%.-

El factor de eficiencia de lavado que está íntimamente relacionado con características texturales, estructurales y de manejo del suelo debe ser determinado localmente ya que modelo es sumamente sensible a él.

Los agricultores generalmente aplican láminas de riego (en los meses críticos de cada cultivo) solo para compensar en parte la demanda evapotranspirativa, esto hace que la salinidad del suelo aumente temporalmente durante la época de riego, para luego volver a bajar. Durante el periodo de riego la salinidad aumenta debido a las sales aportadas por el agua y a la falta de aplicación del requerimiento de lixiviación.

Palabras clave: Modelo –Riego- Dinámica Salina

INTRODUCCIÓN

En la Pampa Húmeda con el fin de aumentar la producción, en los últimos años debido entre otras cosas a un tipo de cambio que favorece las exportaciones, se produjo un aumento explosivo en la implementación y uso del riego complementario mediante equipos de riego presurizados de alto costo de inversión.

El uso eficiente del recurso hídrico y la conservación de la productividad de los suelos reviste entonces una importancia actual y futura muy grande, ya que al complementar los requerimientos hídricos de los cultivos, se ha logrado aumentos importantes en el rendimiento de los mismos. Estos resultados beneficiosos obtenidos por el riego complementario no deben ponerse en riesgo debido a la calidad del agua utilizada y/o al manejo que el agricultor haga de las láminas de riego aplicadas, las cuales pueden modificar la salinidad del suelo, producir la lixiviación de nutrientes y fertilizantes o elevar el nivel freático, etc. provocando un deterioro del suelo y una reducción de la productividad potencial.

Es sabido que los suelos regados reciben cantidades importantes de sales disueltas, aportadas por el agua de riego, de no tenerse en cuenta los requerimientos de lixiviación (plus necesario para lavar del perfil del suelo las sales aportadas por el agua de riego), los suelos se estarían salinizando. Es decir que por exceso de riego o déficit del mismo se pueden salinizar los suelos deteriorando su capacidad productiva.

Los recursos agua y suelo dada su limitada disponibilidad, constituyen los factores de producción más importantes y escasos de la agricultura, sector que ocupa un lugar destacado en el producto bruto interno, en las exportaciones y en lo referente a la creación de empleo. El principal recurso hídrico aprovechable para riego en la zona, es de localización subterránea de limitada disponibilidad y con gran peligro de degradación por sobreexplotación, por lo que el uso racional de los recursos suelo y agua es necesario para mantener la sustentabilidad de los agro ecosistemas

ANTECEDENTES

Todo cultivo para su desarrollo necesita un ambiente edáfico adecuado en la zona de exploración radical, el mismo depende de diversos factores como régimen hídrico, aireación, nivel de salinidad etc. La literatura internacional ofrece numerosos modelos de balance hídrico salino con gran rigurosidad teórica del fenómeno, pero los mismos por lo general se caracterizan por ser de muy difícil aplicación dada la gran diversidad y complejidad de datos que requieren para su correcto funcionamiento, los cuales no siempre están disponibles o son fáciles de medir en nuestro país. Tal es el caso de reconocidos modelos como el Swap, Swapsalt, Swatre, Biwasa, etc.

En el ámbito nacional son escasos los modelos elaborados para analizar en forma conjunta la problemática hídrica y salina de los suelos regados, no así para estudiar solamente los balances hídricos; Chambouleyron, J. (1982) confeccionó el modelo de operación y optimización de la distribución del recurso hídrico "Tunin" para el estudio del uso y distribución eficiente del recurso hídrico al nivel de grandes zonas de riego (río Tunuyán Inferior), el mismo Chambouleyron J y Morábito J. desarrollan el modelo Erfin para la evaluación del uso del recurso hídrico a nivel de propiedad. En 1987 Mirábile C incorpora el balance salino al Modelo Tunin llamándolo Tuninsal

En 1987 Mirábile, C., Luis Fornero (1987) desarrollan un modelo de balance hídrico salino

para áreas bajo riego que tiene en cuenta la modalidad y lámina de riego aplicada, la salinidad de dicho agua y la del suelo, la textura del suelo y las precipitaciones efectivas acontecidas. Esto permite visualizar dinámica hídrico salina de los suelos en función de la modalidad con que se opera la zona de riego y las eficiencias con que los agricultores riegan; además permite conocer las láminas de riego y lixiviación necesarias para mantener la salinidad del suelo constante o para llevarla a un valor deseado

Numerosos trabajos se han publicado recientemente en nuestro país, en donde se informa sobre algunos inconvenientes que están apareciendo en áreas regadas derivados del uso incorrecto de sistemas de riego presurizados, fundamentalmente problemas de salinización de los suelos regados.

En las algunas zonas de la pampa húmeda en donde se está extendiendo el uso del riego complementario, están apareciendo problemas localizados y temporarios de salinización; localizados por que dependen del manejo particular que cada agricultor realiza del riego y de la calidad del agua utilizada, y temporarios en muchos casos ya un régimen de lluvias generoso o lluvias en época de barbecho pueden en los sectores sin problemas de freática elevada y buena permeabilidad de los suelos producir el lavado de los mismos. Es por ello que se considera importante chequear el comportamiento del Modelo Balansal, tanto para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas, monitoreando la calidad de los suelos, como para diagnosticar degradaciones por sales y prevenirlas con el mejoramiento del sistema de manejo agronómico bajo riego.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA

Los campos seleccionados pertenecen a los partidos de Balcarce y Coronel Suárez, ubicados respectivamente en el sur este y sur oeste de la provincia de Buenos Aires. En ambas se ha difundido el uso del riego complementario utilizando principalmente aguas subterráneas del acuífero pampeano, de salinidad que va entre los 1,05 - 1,30 dS/m (Génova 2005), siendo el régimen de lluvia variable entre 650 y 1200 mm que puede crear excesos hídricos momentáneos.

Los suelos de los campos seleccionados son molisoles pampeanos, en la zona de Balcarce Argiudol típico serie Mar del Plata, presentándose suelos pesados que a medida que se profundizan incrementan el porcentaje de arcilla; y en la de Coronel Suárez un Hapludol típico Serie Loma profunda, en general suelos más gruesos en profundidad pero en la zona se presenta la particularidad de una capa de tosca a partir de los 0,80 a 1,00 m de profundidad, que establece limitaciones a la profundidad radical de los cultivos.

El riego complementario se aplica mediante sistemas de riego mecanizado, prevaleciendo el sistema de "Pivote Central", siendo los principales cultivos regados en ambas zonas trigo, maíz y soja.

OBJETIVO

El objetivo del presente estudio es la validación del modelo para las condiciones particulares de la pampa húmeda; esto permitirá no solo conocer el manejo del agua (riego) con respecto a las necesidades reales del cultivo, y la dinámica salina de los suelos en función de dicha modalidad de manejo, sino también elaborar un diagnóstico de la problemática e inferir estrategias sobre el manejo adecuado del suelo y riego para el desarrollo sustentable

METODOLOGÍA (Material y Método- Desarrollo)

En primera instancia se efectuó un estudio pormenorizado del desarrollo teórico (ecuaciones que dan origen al modelo) como también corridas preliminares con información no sin sistematizar aportadas aportados por productores de ambas zonas a fin de observar el funcionamiento general del mismo, jugando con distintas posibilidades que permite el modelo

Luego se seleccionaron las áreas de estudio y dada la necesidad de contar con información climática y agro climática confiables, una de las premisas para su selección fue que las mismas estuviesen bajo la acción o cobertura de estaciones meteorológicas normatizadas y en lo posible de estaciones de investigaciones agrícolas. En función de cumplir con estas exigencias y de encontrar además buena predisposición de los agricultores se seleccionó campos de la zona de **Balcarce** y de **Coronel Suárez** de la provincia de Buenos Aires Esto permitió además contar con algunos datos preliminares que posibilitaron una primera corrida del modelo y vislumbrar su adaptabilidad a las zonas seleccionadas.

En función del esquema de cultivo vigente en los campos seleccionados los cultivos a considerar son maíz, soja y trigo.

Posteriormente se procedió a recopilar para ambas zonas información climática y a partir de ella, también de características físico-químicas de los suelos y fisiológicas de los cultivos seleccionados, se realizó la cuantificación de variables que el modelo necesita para su ejecución, siendo la mayoría de cálculo mensual,

Para ello fue necesario entonces fijar:

- **Profundidad radicular** de cada cultivo en cada tipo textural de suelo
- **Conductividad eléctrica (salinidad) máxima del suelo** a la cual el cultivo mantiene su máximo rendimiento potencial.
- **Conductividad eléctrica del suelo a la cual el cultivo disminuye un 10 %, su rendimiento potencial** ya que de acuerdo a criterios de conveniencia económica se puede establecer uno u otro valor como la salinidad objetivo. El modelo arroja las láminas de riego que se deben aplicar para alcanzar dicho objetivo
- **Ciclo del cultivo**

Las variables calculadas o medidas

- **Evapotranspiración del cultivo -requerimientos hídricos**
- **Textura del suelo**
- **Humedad almacenada en el suelo a capacidad de campo** (por cada tipo de suelo para cada cultivo)
- **Factor de eficiencia de lavado** - (para cada tipo de suelo)
- **Salinidad del agua de riego** (conductividad eléctrica)
- **Salinidad inicial del suelo** (conductividad eléctrica del extracto de saturación)

- **Láminas mensuales de riego aplicada**
- **Precipitación mensual**

Se ha realizado además una recopilación de las precipitaciones mensuales de los últimos años en ambas zonas seleccionadas a fin de conocer en detalle el régimen medio de precipitación. Esto posibilitara correr el modelo con datos promedios para poder inferir sobre la realidad temporal de las dos zonas.

Posteriormente se confeccionó una base de datos en la cual se cargó toda la información obtenida y la calculada, necesarias para la ejecución del modelo, el cual fue ejecutado con periodicidad mensual para un período determinado o para un ciclo de cultivo.

A los resultados de la simulación se los comparó con datos medidos a campo, se determinaron las diferencias estableciéndose rangos para posteriormente efectuar un análisis frecuencia y determinar el error estándar.

RESULTADOS

Las corridas preliminares permitieron establecer una gran sensibilidad del modelo al valor de eficiencia de lavados (f), este parámetro generalmente no se conoce (no está medido) y se obtiene de tablas que contemplan rangos muy amplios para cada tipo textural de suelo, por lo que se tuvo que ajustar los valores de (f)

En la tabla 1 se observan los valores de (f) ajustados utilizados en las corridas del modelo.

Tabla 1

Zona	Estancia	Lugar-Lote	Variables del suelo					Agua	(f)
			Textura	Wfc (gr% gr)	PMP (gr% gr)	PEA (gr/cc)	CEe (dS/m)	CE (dS/m)	
Balcarce	Ojo de Agua	S. Pedro Chico	franco-arcilloso	26,2	14,4	1,185	0,235	1,130	0,30
		S. Pedro Grande	franco arcilloso	26,6	14,4	1,070	0,205	1,240	0,30
Cnel. Suárez	Santa Ida	Lote 1	fra.lim-fco.lim.arc	25,5	15	1,154	0,270	1,050	0,55
		Lote 2	franco limoso	25,5	15	1,145	0,425	1,050	0,60

Además de la información meteorológica y general recopilada, el producto preliminar obtenido corresponde a la determinación de características fisiológicas de cada cultivo y cálculo de variables que el modelo demanda.

Características fisiológicas de los cultivos

Profundidad radical

Se efectuaron determinaciones “in situ” de la profundidad alcanzada por las raíces de los cultivos, en los campos elegidos de las dos áreas seleccionadas Balcarce y Cnel. Suárez, esto determinó que en la zona de Balcarce se observara una diferencia entre los lotes San Pedro Chico y San Pedro Grande. Mientras en el primero la profundidad radical de los cultivos analizados estaba en los 0,60 m, en el segundo la profundidad del maíz rondaba los 0,80-0,90 m y la de los otros cultivos (trigo y soja) se mantenía en 0,60 m. Esta profundidad es menor a la que menciona la

literatura internacional y la explicación está en el tipo de suelo encontrado, franco arcilloso con la característica de ir aumentando con la profundidad la presencia de arcilla

Para la zona de Cnel. Suárez si bien los campos en estudio presentan suelos algo más sueltos se encontró una capa dura entre los 0,80-0,90 m aproximadamente, que actúa como limitante para la profundización de las raíces. Por lo que las profundidades determinadas son 0,80 m para todos los cultivos. En la Tabla 2 se observa la profundidad radicular y los milímetros de agua almacenados a capacidad de campo calculados en función de las mismas.

Tabla 2

Zona	Estancia	Lugar-Lote	Cultivo	Prof. radicular	Wfc (mm)
Balcarce	Ojo de Agua	S. Pedro Chico	trigo	0,60	187
			maíz	0,60	187
			soja	0,60	187
		S. Pedro Grande	trigo	0,60	171
			maíz	0,80	228
			soja	0,60	171
Cnel. Suárez	Santa Ida	Lote 1	trigo	0,80	234
			maíz	0,80	234
			soja	0,80	234
		Lote 2	trigo	0,80	234
			maíz	0,80	234
			soja	0,80	234

Salinidad máxima del suelo (C_{Ee}) a la cual el cultivo no disminuye su rendimiento

A fin de establecer la salinidad objetivo del suelo a colocar en el modelo para cada uno de los cultivos, se buscó en la literatura dicha conductividad eléctrica máxima del suelo y también la conductividad denominada R90 (a partir de la cual el cultivo disminuye un 10 % su rendimiento potencial debido de la salinidad del suelo), esta última conductividad es la que se está tomando como mejor criterio para manejar el riego, ya que la disminución mínima de rendimientos es compensada por el ahorro energético o por el aumento de la superficie regada con la misma cantidad de recurso hídrico. Lógicamente que se debe analizar las particularidades de cada cultivo y cada suelo. En este estudio en virtud de la bajísima salinidad de los suelos es que en las corridas del modelo se ha colocado como salinidad objetivo la salinidad presente

En la tabla 1 se pueden observar los valores de salinidad detectados en los sitios donde se realizó el estudio, los cuales en el caso más desfavorable no superan los 0,450 dS/m, mientras que la C_{Ee} denominada R90 está para el caso del maíz entre 2,5 –3,2, trigo 5,7 – 7,4 y soja 5,5 , según autores como Pizarro, F. “Riego Localizado de Alta Frecuencia”, Handbook 60, “Suelos salinos Sódicos”

Ciclo del cultivo

En los campos en estudio de las zonas de Balcarce y Cnel. Suárez, las fechas medias de siembra y ciclos de cultivos determinados son los que se observan en la Tabla 3

Tabla 3- Fecha de ciclo de los cultivos

Cultivo	Ciclo	Inicio de Ciclo (siembra)	Fin de ciclo (cosecha)
Trigo	180	1 – 15 Jul.	fin de Dic.
Maíz	150	7 – 15 Oct.	fin de Feb-Principio. Mar.
Soja	150	1 – 15 Nov.	fin de Mar.

De todas forma se han considerado como inicio de ciclo, para correr el modelo, el primer día del mes correspondiente: julio, octubre, noviembre.

Variables cuantificadas

Evapotranspiración del cultivo

Se calculó la evapotranspiración del trigo, maíz y soja para cada una de las dos áreas; para lo cual se utilizó la fórmula de Penmann- Monteih (1965).. Se utilizó dicha ecuación por ser de las conocidas la que arroja menos demanda en el período punta y se sitúa en una posición intermedia a las otras para el resto del ciclo, además presenta un buen ajuste para las zonas húmedas.

En la tabla 4 se expresa la evapotranspiración mensual en milímetros de cada cultivo para las zonas de Cnel. Suárez y Balcarce

Tabla 4 - Evapotranspiración del cultivo (EC) en mm

Zona	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Cnel. Suárez												
Maíz	215	119	70							45	109	199
Trigo							11	27	55	94	160	127
Soja	152	126	75	39							73	136
Balcarce												
Maíz	203	112	64							40	95	175
Trigo							8	21	48	84	140	111

Variables del suelo

En cada uno de los campos se efectuó un muestreo en él o los lotes seleccionados, para ello con pala barreno se extrajeron muestras a dos profundidades de 0-30 cm y de 30 a 60 cm Posteriormente se determinaron en laboratorio Humedad a capacidad de campo (%), Peso específico aparente -PEA- (gr/cc), porcentajes de arcilla, limo y arena, pH, Conductividad eléctrica del extracto y porcentaje de sodio intercambiable -PSI-.

De ello se desprende que los suelos en ambas zonas son no salinos, no sódicos, presentándose como ácidos a débilmente ácidos los de Balcarce y neutros a muy débilmente alcalinos los de Cnel. Suárez

.Del análisis de los porcentajes de arcilla, arena y limo presentes se determinaron las texturas de los suelos la cual se puede observar en la Tabla 1, también en dicha tabla se puede

visualizar los valores Capacidad de Campo (w_{fc}), Punto de Marchitez Permanente (ambos expresados en forma gravimétrica), Peso Específico Aparente.

Humedad en milímetros a capacidad de campo que puede retener el suelo

Con los datos de la Humedad a capacidad de campo expresada en forma gravimétrica y el peso específico aparente se puede calcular la humedad volumétrica a capacidad de campo y luego al multiplicar esta última por los milímetros de profundidad radical que explora cada cultivo se obtiene la lámina de agua en milímetros que puede retener dicho suelo a capacidad de campo en el espesor explorado por las raíces.

$$W_{fc} = \frac{H_{fc} \cdot Pe_a}{100} \cdot D$$

W_{fc} = mm de agua que tiene el suelo a capacidad de campo en la profundidad radical considerada.

H_{fc} = humedad a capacidad de campo expresada en forma gravimétrica (gr % gr)

D = profundidad radical (mm) Pe_a = peso específico aparente (gr/cc)

Los valores calculados para cada sitio de estudio teniendo en cuenta el espesor o profundidad de suelo que es explorado por las raíces de cada cultivo se observan en la Tabla 2

Salinidad del agua de riego

El agua utilizada para riego complementario se monitorea durante el ciclo de cultivo y sus valores en los respectivos campos están expresados en la tabla 1.

Como se puede observar en dicha tabla los valores de salinidad ubicarían a este agua en el límite inferior de la categoría C3 según Riverside (mediana a alta peligrosidad salina), aunque dado su proximidad al límite inferior de dicha categoría se puede inferir una mediana peligrosidad salina. No obstante ello estas aguas se recomienda aplicarlas a cultivos de por lo menos moderada tolerancia a la salinidad y con aplicación regular de láminas de lavado. El Ing. Wanstein (UNCuyo) ha determinado una clasificación local según la cual dichas aguas se corresponderían con la categoría moderadamente salina utilizables en suelos moderadamente permeables. En cuanto a su sodicidad se las clasifica a todas como S1 baja peligrosidad sódica.

En las corridas del modelo, se pueden observar láminas de riego aplicadas, precipitaciones mensuales y la salinidad inicial de los suelos

Corridas del Modelo

La información recopilada, como la proveniente de las determinaciones realizadas a campo permitieron efectuar corridas del modelo por ciclo de cultivo y corridas continuas de periodicidad mensual de uno o más años El esquema de corridas realizadas se observa en la Tabla 5.

Tabla 5 – Corridas del modelo

Balcarce			
Estancia	Lote	Cultivo	Ciclo
Ojo de agua	San Pedro chico	Maíz	1997 – 98
		Maíz	1999 – 00
		Maíz	2001 – 02
		Corrida mensual continua	1997- 2002
	San Pedro Grande	Maíz	1997 – 98
		Maíz	1998 – 99
		Trigo	1999
		Maíz	2000 – 01
		Corrida mensual continua	1997 – 2001
Cnel. Suárez			
Estancia	Lote	Cultivo	Ciclo
Santa Ida	N°1	Maíz	1995 – 96
		Corrida mensual continua	1995- 96
	N° 2	Soja	1997 – 98
		Corrida mensual continua	1996 – 1999

En la Tabla 6 se presenta una salida del modelo, en la misma se observa en normal la información que el modelo necesita para su funcionamiento y negrilla las columnas con la información que el modelo produce.

Tabla 6 – Ejemplo de salida del modelo

Modelo Balansal

Estancia Ojo de Agua- San Pedro Chico

Cultivo: *Maíz 97-98*
Tipo de suelo: *Franco Arcilloso*
Est. Meteo.: *Balcarce*

Datos suelo: Wfc = 187 mm
 CEe = 0,235 mmohs/cm
 f = 0,3
 CEe* = 0,235

Mes	Evapot. (mm)	Precip. (mm)	Riego (mm)	CE agua (mmohs)	CEe (mmohs)	Cambio (mmohs)	Riego* (mm)	DL (mm)	R (mm)	W (mm)
Oct-97	40	132		0,000	0,203	-0,032	0	0	92	187
Nov-97	95	123		0,000	0,194	-0,009	0	-92	28	187
Dic-97	175	152	25	1,130	0,264	0,070	23	-50	2	187
Ene-98	203	152	65	1,130	0,423	0,159	51	-361	14	187
Feb-98	112	132		0,000	0,409	-0,013	336	356	20	187
Mar-98	64	56		0,000	0,409	0,000	346	337	0	179
	689	747	90			0,174	755	190	156	

En ella los datos de entrada son:

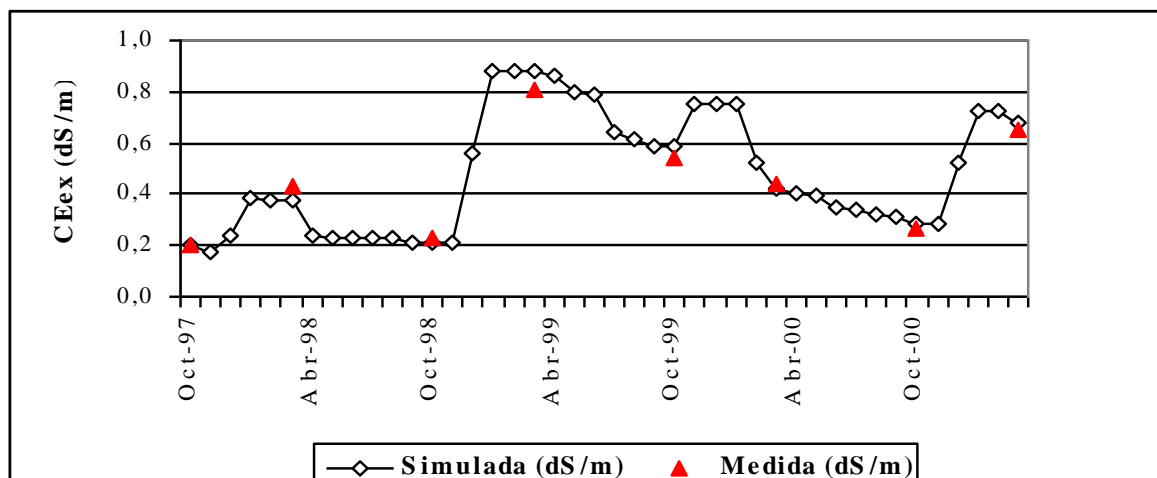
W_{fc}	milímetros de agua retenida por el suelo a capacidad de campo en el espesor de exploración radical.
C_{ee}	salinidad inicial del suelo –conductividad eléctrica del extracto- (dS/m)
CE_{ee}*	salinidad objetivo o deseada del suelo. (dS/m)
F	factor de eficiencia de lavado del suelo
Evapot.	evapotranspiración mensual del cultivo (mm)
Precip.	precipitación mensual (mm)
Riego	lámina de riego mensual aplicada (mm)
C_{ei}	salinidad del agua de riego -conductividad eléctrica - (dS/m)

Mientras que la información de salida es:

CE_e	conductividad eléctrica final del suelo (dS/m)
Cambio	variación de la salinidad del suelo (dS/m)
Riego*	lámina de riego necesaria para obtener la CE _e objetivo (mm)
DL	lámina percolada (Lavado) necesaria para obtener la CE _e objetivo (mm)
R	percolación operada (mm)
W	humedad del suelo en (mm)

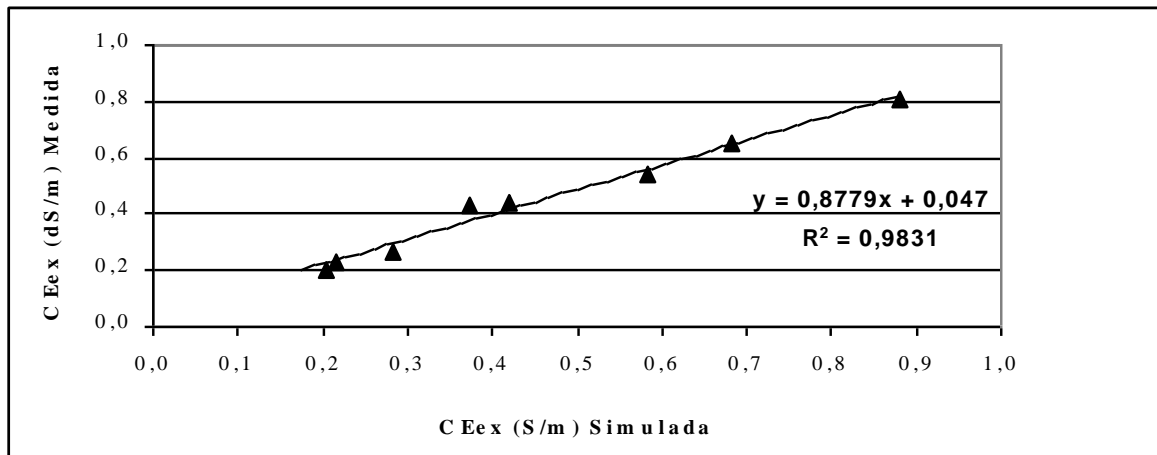
Las dos primeras y las dos últimas columnas de salida (Tabla 6) analizan la acción del agricultor ya que informan sobre el nuevo valor de salinidad del suelo, la magnitud del cambio operado, si ocurrió o no percolación y la nueva humedad presente en el suelo, mientras que las dos columnas centrales de salida indican lo que se debería haber realizado para conseguir la salinidad objetivo, es decir que lámina de riego se debería haber aplicado y de dicha lámina cuántos milímetros tendrían que haber percolado.

Para cada una de las corridas que se ejecutaron (tabla 5) se efectuaron gráficos de líneas que muestran la evolución o dinámica de la salinidad medida a campo y simulada por el modelo, también gráficos de dispersión que permiten observar la correlación entre lo medido y simulado. Se muestra en las figuras 1 y 2 los correspondientes la estancia Ojo de Agua lote San Pedro Grande.



Estancia Ojo de Agua - San Pedro Grande- Corrida Cont. 1997-2001

Figura 1 - Evolución de la salinidad del suelo simulada



Estancia Ojo de Agua - San Pedro Grande- Corrida Cont. 1997-2001
Figura 2 - Correlación entre los valores simulados y medidos

En las figuras 3 y 4 los gráficos confeccionados con la totalidad de los chequeos realizados, involucran a todas las corridas realizadas en el estudio las cuales resumen acabadamente lo obtenido para cada situación individual.

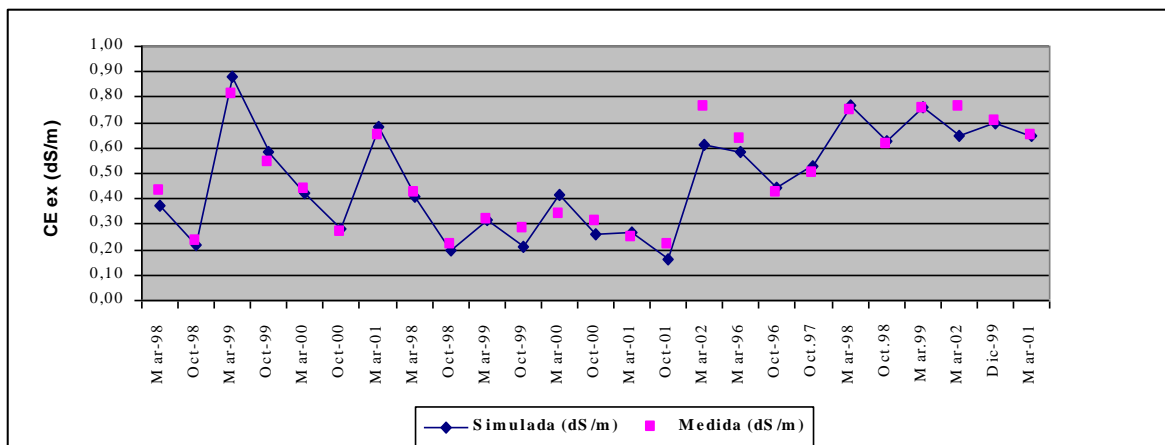


Figura 3 - Evolución de la salinidad del suelo simulada en todos los sitios de estudio

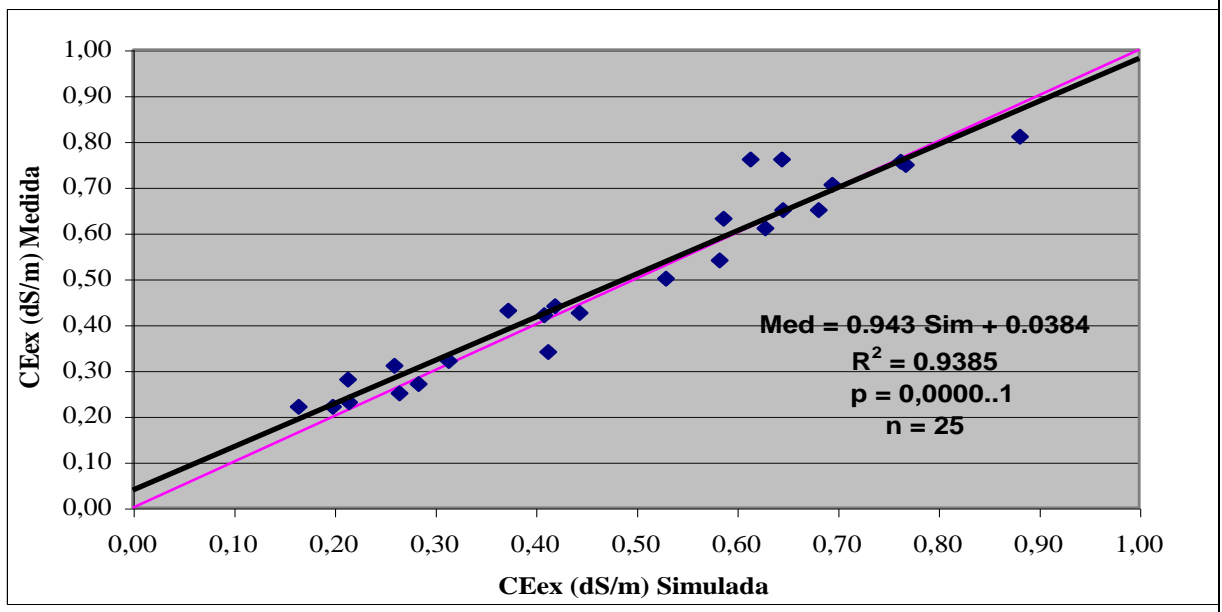


Figura 4 - Correlación entre los valores simulados y medidos de todos los sitios de estudio

La correlación para cada lote o sitio de ensayo esta en el orden de $R^2 = 0,99 - 0,98$ excepto en San Pedro Chico cuyo valor es de 0,88. Mientras que en la Figura 4 que involucra a la totalidad de los ensayos ($n = 25$) se obtuvo un $R^2 = 0,94$ y la ecuación es $y = 0,943 \cdot x + 0,0384$, con un valor de p (probabilidad observada) muy pequeño de 0,00000...1 y un error estándar del coeficiente de 0,050, de lo que resulta la aceptación de la hipótesis nula Coeficiente = 1

Del análisis de la figura 4 se puede observar que la separación o dispersión de los puntos con respecto a la recta es escasa, demostrando la baja amplitud entre las diferencias entre lo medido y lo simulado, además la pendiente de la recta indica que acompaña el simulado a las variaciones (subidas y bajadas) de la salinidad real en forma correcta y por último, la casi perfecta superposición ,posición de la recta con respecto a la normal, indicaría que el modelo, en general, no produciría sub o sobre estimaciones importantes.

Con respecto a las ecuaciones para todos las estancias y sitios de ensayo, se observan unos valores de pendiente muy cercanos a 1 y ordenadas al origen extremadamente bajas, todo lo cual indica un correcto funcionamiento del modelo.

Las diferencias promedio en valor absoluto entre los datos de salinidad medidos a campo y los simulados para la estancia Santa Ida (Cnel. Suárez) es del 4%, mientras que para la estancia Ojo de Agua lote San Pedro Grande es de 6,5% y para San Pedro Chico del 13%. Para la totalidad de los ensayos la media de las diferencias porcentuales en valor absoluto es del 8,6 y la mediana igual a cero.

En la Tabla 7 se presentan las diferencias porcentuales de salinidad entre medido y simulado.

Tabla 7 – Diferencias de salinidad entre valor medido y valor simulado

Campo Santa Ida

Cultivo	Mes/año	Valor (microS/m)		Diferencia porcentual
		Medido	Simulado	
Maíz	Oct/1995	270		
	Mar/1996	631	587	-7
Soja	Oct/1997	500		
	Mar/1998	748	768	4

Corrida Mensual continúa. Período 1995/1996

Oct/1995	270		
Mar/1996	425	444	5

maíz + rast.

Corrida Mensual continúa. Período 1996/1999

Oct/1996	425		
Oct/1997	500	530	6
Oct/1998	610	629	3
Oct/1999	755	763	1

Campo Ojo de Agua. Lote San Pedro Grande

Cultivo	Mes/año	Valor (microS/m)		Diferencia porcentual
		Medido	Simulado	
Maíz	Oct/1997	205		
	Mar/1998	430	373	-13
Maíz	Oct/1998	230		
	Mar/1999	810	896	11
Trigo	Jul/1999	700		
	Dic/1999	705	695	-1,5
Maíz	Oct/2000	270		
	Mar/2001	650	646	-0,6

Corrida Mensual continua. Período 1997/2001

Oct/1997	205		
Mar/1998	430	373	-13
Oct/1998	230	215	-7
Mar/1999	810	881	9
Oct/1999	540	583	8
Mar/2000	440	420	-5
Oct/2000	270	284	5
Mar/2001	650	682	5

Tabla 7 –(Cont.)

Campo Ojo de Agua. Lote San Pedro Chico

Cultivo	Mes/año	Valor (microS/m)		Diferencia porcentual
		Medido	Simulado	
Maíz	Oct/1997	235		
	Mar/1998	420	410	-2,38
Maíz	Oct/1999	280		
	Mar/2000	340	443	30
Maíz	Oct/2001	221		
	Mar/2002	760	645	-15

Corrida Mensual continua. Período 1997/2002

Oct/1997	235		
Mar/1998	420	409	-3
Oct/1998	220	199	-10
Mar/1999	320	314	-2
Oct/1999	280	214	-24
Mar/2000	340	413	21
Oct/2000	310	260	-16
Mar/2001	250	265	6
Oct/2001	220	165	-25
Mar/2002	760	614	-19

Estas diferencias se han agrupado por rangos y se les efectuó un estudio de frecuencias determinándose un error estándar del 11%. En la tabla 8 se observa los rango de diferencias establecidos y las frecuencias, absolutas, acumuladas y relativas, mientras en la figura 8 la representación gráfica mediante histograma de rango de variación versus frecuencia relativa, observándose que entre un $\pm 10\%$ se encuentra casi el 76 de los ensayos o simulaciones realizadas

Tabla 8 – Rangos de variación porcentual y frecuencias

Rangos	Frecuencia	Frecuencia relativa (%)
-30 a -25		
-25 a -20	2	7,40
-20 a -15	2	7,40
-15 a -10	2	7,40
-10 a -5	3	11,11
-5 a 0	6	22,22
0 a 5	6	22,22
5 a 10	4	14,80
10 a 15	1	3,70
15 a 20	0	0
20 a 25	1	3,70
25 a 30		

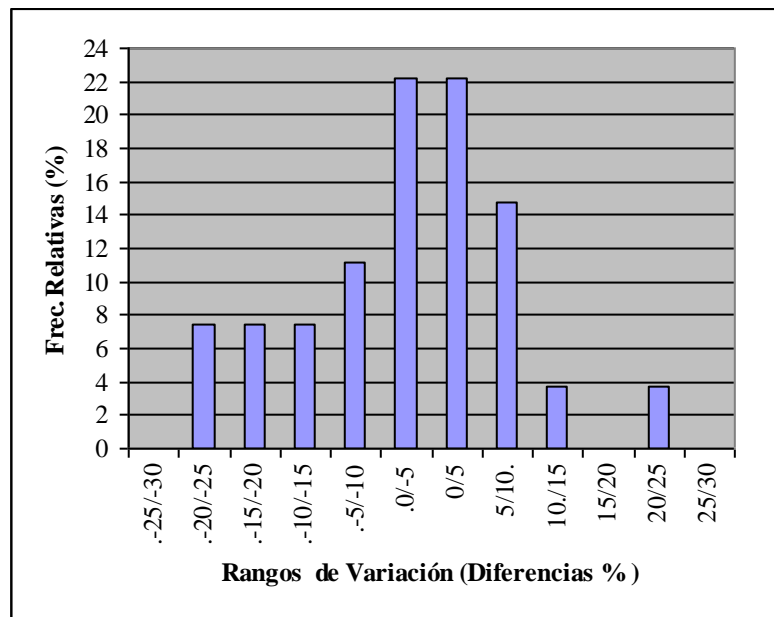


Figura 5 - Frecuencias relativas por rango de variación

CONCLUSIONES

El modelo funciona satisfactoriamente, siendo la media de las diferencias porcentuales entre simulado y medido del orden del 8,6 % en valores absolutos y su mediana 0.- El análisis de frecuencia determina un error estándar del 11 % y que el 76% de las comparaciones realizadas están dentro de una diferencia de mas / menos 10%.

El coeficiente de determinación presenta un valor alto ($R^2 = 94$) con un valor de p (probabilidad observada) muy pequeño de 0,00000...1

La pendiente de la recta demuestra que lo simulado acompaña correctamente la dinámica salina que se opera en el campo y la casi perfecta superposición de la recta con respecto a la normal indicaría que el modelo, en general, no produce sub o sobre estimaciones importantes. Por lo tanto al tener la ecuación obtenida una pendiente cercana a 1 y la ordenada al origen extremadamente baja, indica un correcto funcionamiento del modelo

El modelo es sensible al valor del factor de eficiencia de lavado (f), el cual está íntimamente relacionado con características texturales, estructurales y de manejo del suelo, también es influenciado por el tipo de riego, por lo que se aconseja determinarlo o ajustarlo localmente ya que se pueden cometer errores si se colocan valores de "f" obtenidos de tablas que solo tienen en cuenta la textura del suelo.

Los agricultores generalmente aplican láminas de riego (en los meses críticos de cada cultivo) solo para compensar en parte la demanda evapotranspirativa, esto hace que la salinidad del suelo aumente temporalmente durante la época de riego, para luego volver a bajar debido a la ocurrencia periódica de lluvias que producen excesos hídricos y ocasionan percolación produciéndose por consiguiente lavado de sales hacia capas más profundas. Durante el período de riego la salinidad aumenta debido a las sales aportadas por el agua (la salinidad de las mismas - CEE- es entre 2,5 y 6 veces mayor que la del suelo) y a que dichas láminas, en la mayoría de los casos, no producen percolación, no cumpliéndose con el requerimiento de lixiviación necesario

Se analizaron 30 meses en los cuales se ha aplicado riego complementario, y sólo en el 56% de ellos la precipitación acontecida más el riego aplicado es superior a Etc (evapotranspiración del

cultivo), pero solo en el 44 % de dichos meses se produce percolación, lo que nos estaría indicando que se alcanzó previamente la capacidad de campo.

Observado el comportamiento adecuado del modelo para la zona y modalidad de manejo, el paso siguiente será analizar la información que suministra para obtener conclusiones acerca del manejo que hace el agricultor, no sólo de la salinidad, sino también de la humedad del suelo en los períodos normales y críticos de cada uno de los cultivos considerados, con el objeto de visualizar si la humedad presente en dichos momentos satisface los umbrales de riego necesarios.

BIBLIOGRAFIA

- Baastiansen, W., C. Mirábile** (1995) "Modelling on-Farm soil Water and Salt Balance of Irrigated Vineyard Mendoza Province, Argentina" -proyecto comparación de modelos de simulación en Argentina y Egipto-. ICW (Holanda) - INCYTH (CRA). Mendoza
- Bastiaansen, W, C. Mirábile, M. Soliman, G. Korani, M. Menenti.** (1995). "*Crop-Water-Environment-Models: to evaluate model implementation and on-farm water management*". WSC (Holanda)- INCYTH (Argentina)- UNIV.del CAIRO (Egipto)-. *XVII Congreso mundial de riego y drenaje(ICID)-Egipto. 1996*
- Camacho, L.** (1975) "La Salinización del Suelo y el Agua Subterránea bajo la Agricultura de Riego." Secretaría de Recursos Hidráulicos de Méjico.
- Génova, L.** (1993). "*Estudio de la degradación de suelos bajo riego complementario de cultivos extensivos con aguas subterráneas del acuífero Pampeano en el norte de Buenos Aires.* XIV Congreso Argentino de la Ciencia del suelo". Mendoza. 1993
- Génova, L.** (1994). *Riego complementario de maíz, soja y trigo en el norte de Buenos Aires: efectos de la salinidad de las aguas subterráneas en los suelos y su influencia en los rendimientos.* I Congreso Internacional de Ingeniería Agrícola. Concepción, Chile.
- Génova, L.** (2002). *Resistencia y resiliencia de seis Argiudoles pampeanos a las degradaciones salina y sódica, regados complementariamente con agua subterránea.* XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Madryn, 2002
- Goncharov, Reshetov** (1991) "Recuperación de suelos salinos irrigados." Tashkent URSS.
- Hoffman, G., R. Ayers, E. Doering** (1982) "Salinity in Irrigated Agriculture". Riverside-University of California (Davis). USA.
- Mirábile, C., L. Fornero** (1986). "*Modelo de Simulación de Balance Salino de un Distrito de Riego*". -INCYTH-CRA. Mendoza. Publicado en Mecanismos de Aprovechamiento Hídrico de la Región Andina, Editor Massimo Menenti.
- Mirábile, C.** (1990). "*Estudio de la Salinización y Recuperación de los Suelos del Valle de Copiapó -Chile - Aplicación de un Modelo de Balance Salino*". , FAO -Japón- INCYTH-CRA. Copiapó, Chile. Publicación internacional FAO