

PORTA, J., HERRERO, J., LATORRE, S. 1986. Evaluación de suelos para el riego: criterios y problemática en los regadíos de Huesca. *In: Salinidad en los suelos: aspectos de su incidencia en regadíos de Huesca*. J. HERRERO, Ed., págs. 119-146. Diputación General de Aragón. Zaragoza, España. I.S.B.N.: 84-505-4948-5.

EVALUACION DE SUELOS PARA RIEGO: CRITERIOS Y PROBLEMÁTICA EN LOS REGADIOS DE HUESCA

por

J. PORTA *
J. HERRERO **
S. LATORRE **

Resumen

En los regadíos de la provincia de Huesca hay varias decenas de miles de hectáreas con problemas de salinidad. Se discute la utilidad de los sistemas USBR y FAO para la evaluación de la idoneidad para riego.

Se aportan datos físico-químicos y micromorfológicos relacionados con la salinidad y con la degradación de las propiedades agrícolas de estos suelos. Para la elaboración de unos criterios de evaluación ajustados a estas condiciones se considera necesario realizar el seguimiento de los regadíos ya existentes y establecer áreas experimentales en las zonas a transformar.

Palabras clave: evaluación de suelos, suelos afectados por salinidad, micromorfología, España.

Land evaluation for irrigation: Criteria and problems of irrigated lands in Huesca

Summary

Irrigated lands in the province of Huesca (Spain) include several tens of thousand Ha of salt-affected soils. The use of USBR and FAO systems is discussed in relation to land evaluation for irrigation.

Physico-chemical and micromorphological data relating to salinity and degradation of the agricultural properties of these soils are presented. In order to work out evaluation criteria for local conditions, it is necessary to monitor currently irrigated areas and to set up experimental plots in new areas to be transferred to irrigation.

Key words: land evaluation, salt-affected soils, micromorphology, Spain.

* Departamento de Ciencia del Suelo. ETSI Agrónomos. Lérida.

** Oficina de Suelos (Convenio DGA-CEI). Huesca.

INTRODUCCION

Extensas zonas de Aragón han sido transformadas en regadío y bastantes más van a serlo en la década de los años 80 y 90. Este hecho hace especialmente útil una revisión de los principios y conceptos en que se ha basado tradicionalmente la evaluación de suelos con fines de riego.

Se hace necesario analizar la problemática presentada en los regadíos de la provincia de Huesca aportando datos y enfoques que permitan mejorar el uso de los suelos bajo riego. La obra ya realizada permite disponer de una experiencia especialmente valiosa y amplia, y los planes de regadío que se pretende acometer obligan a revisar la metodología clásica de evaluación de suelos para el riego.

La evaluación de suelos para su uso en regadío tiene el punto de partida en el sistema desarrollado por el U.S. Bureau of Reclamation (1953), que a lo largo de los años ha ido sufriendo modificaciones, si bien no ha alterado el enfoque inicial. A pesar de que se han propuesto otros sistemas de evaluación, entre ellos el Esquema para Evaluación del Territorio elaborado por FAO (1976), ninguno de ellos tiene como finalidad específica el tema de la transformación en regadío, por lo que el sistema USBR se sigue utilizando. La dificultad de todos estos sistemas reside en determinar cuáles son los factores de control y los valores críticos de cada uno de ellos en relación con el riego.

La transformación en regadío no siempre ha resultado tan beneficiosa como era de desear para la producción agrícola, ya que determinadas zonas han sufrido procesos de salinización y requieren una tecnología más especializada para su manejo. En la provincia de Huesca los regadíos antiguos (BOLEA, 1978) se sitúan mayoritariamente en zonas aluviales donde sólo muy localmente cabe reseñar problemas de salinidad. Es en los nuevos regadíos, realizados a partir de principios de siglo, donde hay extensiones considerables afectadas por salinidad. La incidencia del problema se ha conseguido reducir a niveles aceptables en algunas de estas zonas, dentro del proceso de «maduración» del regadío. En otras la tendencia ha sido contraria y la salinidad es el condicionante clave de la producción.

Para todo el Valle del Ebro hay estimaciones (ALBERTO & *al.*, 1983) de 320.000 Ha afectadas por salinidad. En el caso del Sistema Flumen-Monegros, datos de IRYDA, así como de los Mapas de Clases Agrológicas (DGPA, 1978) permiten evaluar en 38.000 Ha la superficie afectada por salinidad. Para el mismo sistema regado, el Inventario de Secanos y Regadíos (DGPA, 1978) estima entre 5.000 y 7.000 Ha abandonadas y unas 3.000 ocupadas por arroz. En las partes iniciales del mucho más moderno Sistema Cinca hay también amplias extensiones abandonadas o con arroz. No se dispone de datos actualizados para indicar la tendencia en los últimos años.

Los regadíos de la provincia de Huesca utilizan aguas procedentes del Pirineo, concretamente del río Gállego (Sistema Flumen-Monegros), Cinca (Sistema Cinca y enlace con Flumen-Monegros) y Esera (Canal de Aragón y

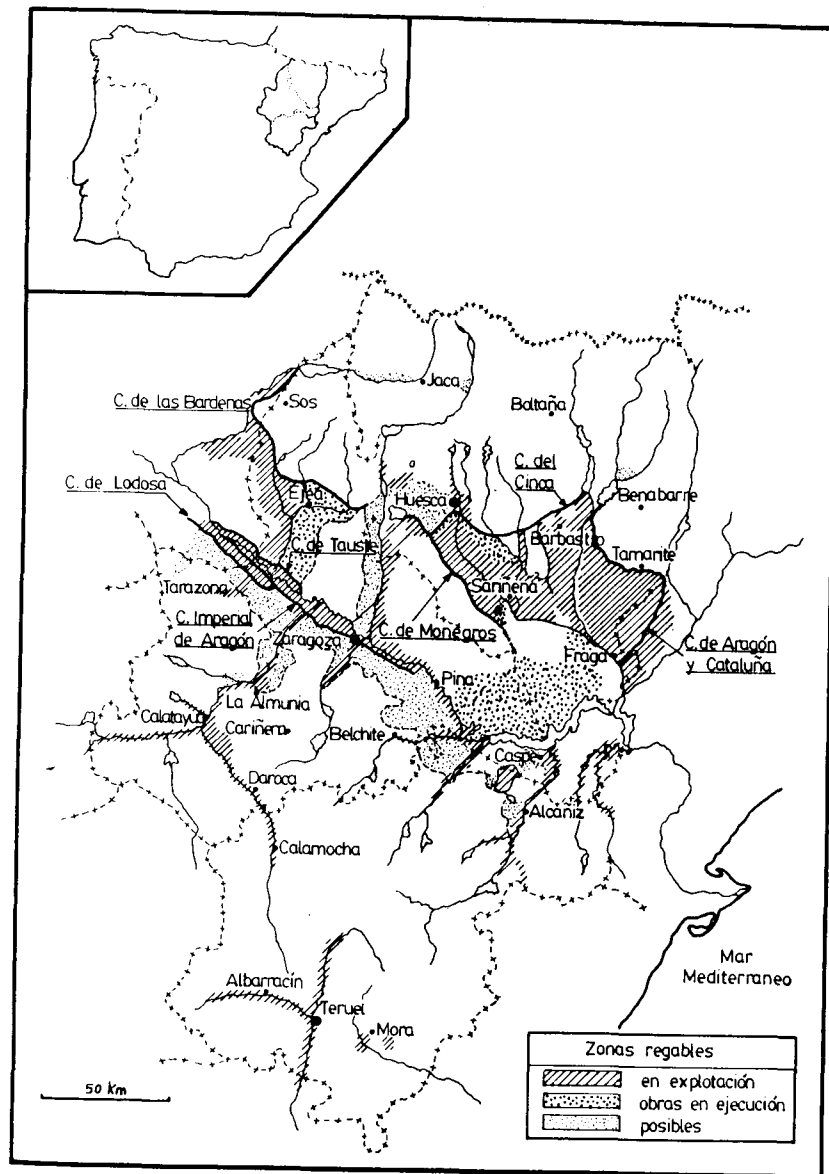


Fig. 1. — Localización de los regadíos de Aragón. Los sistemas de regadío de la provincia de Huesca utilizan agua del Pirineo.

Cataluña) (Fig. 1). Las aguas de estas procedencias son de buena calidad química (ARAGÜÉS, 1986) por sus bajos contenidos salinos. Este tipo de aguas favorecen, en principio, el lavado de sales que pasan a las aguas de drenaje, como lo indica la evolución de la calidad del agua de los ríos de la cuenca (ARAGÜÉS & ALBERTO, 1983). Sin embargo este tipo de aguas pueden generar inconvenientes al provocar la dispersión de las arcillas con consecuencias desfavorables para la agricultura.

Las características de algunos de estos suelos bajo riego en la provincia de Huesca han sido descritas por CERVERA (1966), ALBERTO & *al.* (1979) y HERRERO (1982), entre otros.

SISTEMAS DE EVALUACION PARA RIEGO

Sistema del U.S.B.R.

Desde los años 50 los proyectos de transformación en regadío utilizan como guía el sistema de clasificación de suelos del Bureau of Reclamation de los Estados Unidos (U.S.B.R.), lo que ha permitido disponer de una referencia para el intercambio de información y experiencia. La normalización que supuso el sistema ha sido de gran utilidad para los proyectos de riego que, necesariamente, deben fundamentarse en un adecuado conocimiento del suelo para llegar a una agricultura de regadío productiva y permanente.

El sistema toma en consideración especificaciones referentes al suelo, geomorfología y drenaje (Cuadro 1), indicando cuáles son los valores críticos relacionados con el sistema de riego a emplear. Los Cuadros 2 y 3, elaborados para realizar encuestas en campo, facilitan la presentación de la información recogida. El nivel de aptitud para el riego se expresa estableciendo seis clases: Clase 1 de aptitud alta; Clase 2, media; Clase 3, moderada; Clase 4, de utilización limitada; Clase 5, no regable provisionalmente hasta tanto no se realicen estudios de detalle; finalmente la Clase 6, no regable. Se establecen

Clase suelo	Deficiencia del suelo	Deficiencia de topografía	Deficiencia de drenaje	Nivelación
3	s	t	d	↓ U f inundación
L	3	3	C	Y
Uso del territorio	Productividad	Coste del desarrollo del territorio	Necesidades de agua de la finca	Conductividad hidráulica

Fig. 2. — Unidades de mapa en el sistema U.S.B.R.: Ejemplo de simbología.

subclases atendiendo a deficiencias del suelo (Cuadro 4). Para facilitar la lectura de los mapas elaborados, cada unidad se designa por medio de una fracción (Fig. 2). De acuerdo con el principio de predicción en el que se basa el sistema, las clases deben expresar las interacciones esperadas para cuando se establezca el nuevo régimen de humedad con el riego.

CUADRO 1

Características a considerar para clasificar un suelo según el sistema U.S.B.R.

SUELO	<ul style="list-style-type: none"> * Profundidad efectiva. * Textura epipedión (0-30 cm). * Textura subsuperficial. * Profundidad de un contacto pseudolítico. * Capacidad de retención de humedad hasta una profundidad de 90 cm. * Permeabilidad de la capa menos permeable. * Pedregosidad ($\varnothing > 7,5$ cm). * Pedregosidad ($2,5 < \varnothing < 7,5$ cm) %. * Afloramientos rocosos. * Contenido de yeso. * Sodicidad (ESP). * Salinidad en equilibrio con el agua de riego. Extracto de pasta saturada. * Superficie afectada por salinidad (%).
GEOMORFOLOGIA	<ul style="list-style-type: none"> * Pendiente. * Forma. * Dinámica de la forma (estado de erosión).
DRENAJE	<ul style="list-style-type: none"> * Externo (escorrentía superficial). * Interno (permeabilidad y nivel capa freática).

CUADRO 2

Modelo de encuesta para recoger en campo la información imprescindible para clasificar el suelo según el sistema U.S.B.R.

FACTORES LIMITANTES DEL DESARROLLO DE LAS RAICES

Profundidad estudiada: _____ cm Profundidad efectiva: _____ cm

<i>Factores limitantes:</i>	Profundidad a Espesor que aparece	
capa de grava	_____ cm	petrocálcico _____ cm
capa de arena	_____ cm	horizonte gley _____ cm
contacto lítico	_____ cm	horizonte moteado _____ cm
contacto paralítico	_____ cm	horizonte argílico _____ cm

<i>TEXTURA</i>	Horizonte	Profundidad cm	Textura en prueba de campo
1	_____	_____	_____
2	_____	_____	_____
3	_____	_____	_____

<i>SALINIDAD Y REACCION</i>	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	pH	CaCO ₃
1	_____	_____	_____	_____
2	_____	_____	_____	_____
3	_____	_____	_____	_____

PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL

Clase: _____ Denominación: _____ Superficie cubierta _____
Espaciamiento m _____ Tamaño modal Ø cm _____

AFLORAMIENTOS ROCOSOS Clase: _____

EROSION Dinámica de la forma: _____ Observaciones: _____
Intensidad: _____

TOPOGRAFIA

Forma: _____ Pendiente general _____ %
Morfología local _____ Orientación de la vertiente: _____

PATRON DE RIEGO

Longitud de los surcos de riego _____
Sistema de riego _____ Tamaño de la parcela _____ × _____ m
Forma de la parcela _____

DRENAJE

Nivel freático _____ cm Fecha _____
Régimen hídrico: Duración:
Sumersión _____ Temporal _____
Saturación _____ Semipermanente _____
Sequía _____ Permanente _____
Clase de drenaje: _____ Clase de permeabilidad: _____
Agua freática: Cl⁻ SO₄²⁻

PRODUCTIVIDAD ACTUAL

NECESIDADES DE AGUA

EVALUACION

Clase: _____

UNIDAD DE MAPA _____

CUADRO 3

Presentación de la información para clasificar un suelo según el sistema U.S.B.R.

SONDEO				
CARACTERISTICAS				
TEXTURA (ensayo previo) Epipedión () Subsuperficial () Pedión: horizontes				
CAPACIDAD RETENCION DE HUMEDAD. f(textura)				
PROFUNDIDAD (cm) estudiada efectiva				
FACTOR CONDICIONANTE naturaleza profundidad				
Reacción (HCl) Salinidad Sodicidad				
Pedregosidad Afloramientos rocosos				
TOPOGRAFIA forma morfología local pendiente general local orientación				
EROSION Dinámica de la forma Intensidad				
SISTEMA DE RIEGO				
DRENAJE superficial interno				
NIVEL CAPA FREATICA				
Uso del suelo				
CLASE USBR				

CUADRO 4

Símbolos utilizados en la evaluación de suelos según su aptitud para el riego.

Factores considerados	Símbolos a utilizar
1. Clase de suelo	1, 2, 3, 4, 5, 6
2. Subclases de suelo según deficiencias:	
— de suelo	s
— de topografía	t
— de drenaje	d
— de suelo y topografía	st
— de suelo y drenaje	sd
— de topografía y drenaje	td
— de suelo, topografía y drenaje	std
3. Uso actual del territorio:	
— cultivado sin riego	L
— pasto permanente sin riego	P
— matorral o bosque	G
— cultivado con riego	C
4. Productividad (alta a baja) (factor variable)	1, 2, 3, 4, 5, 6
5. Coste del desarrollo del territorio (factor variable)	1, 2, 3, 4, 5, 6
6. Necesidades de agua de la finca:	
bajas	A
medias	B
altas	C
7. Permeabilidad (volumen hasta 1,5 ó 3 m):	
buena	x
moderada	y
baja	z
8. Evaluaciones especiales:	
— pendiente	g
— ondulación del terreno	h
— inundación	f
— profundidad de la arena, grava o guijarros	k

Esquema F.A.O.

FAO publicó en 1976 un Framework o Esquema para Evaluación del Territorio con el fin de normalizar la metodología existente. Es un trabajo que establece los conceptos y los principios de la evaluación (Cuadro 5), si bien no fija qué características hay que considerar ni cuáles son los valores críticos para usos concretos (PURNELL, 1979). Por consiguiente deja para estudios de detalle el concretar estos aspectos que son precisamente los más delicados; el esquema no es específico para evaluar la transformación del uso del suelo de secano en regadío. En el Framework se destaca que la evaluación debe entenderse como un proceso cíclico o iterativo entre prospector, planificador y destinatario o usuario. Se recomienda el empleo del concepto «calidad del territorio» entendida como un atributo complejo que se utiliza para distinguir las clases de diferente valor en el territorio. El concepto de «rasgo de diagnóstico» resulta igualmente útil. El esquema destaca que toda clasificación debe establecer como mínimo dos clases: territorio adecuado y territorio no adecuado para el uso propuesto.

Estos enfoques se mantienen en lo fundamental hasta la actualidad, con precisiones y ampliaciones para las transformaciones en regadío (FAO, 1985).

CUADRO 5

Conceptos básicos en el esquema F.A.O. para evaluación del territorio.

1. Hay que evaluar el territorio, no el suelo.
2. La idoneidad del territorio debe referirse a usos específicos.
3. La evaluación debe basarse en los beneficios obtenidos en relación a los inputs requeridos en diferentes tipos de territorios.
4. La evaluación debe referirse a las condiciones locales físicas y socioeconómicas.
5. La evaluación requiere comparaciones entre diferentes clases de uso.
6. La idoneidad se refiere a un uso partiendo de unas determinadas bases.
7. Se requiere un enfoque multidisciplinar.

PROBLEMATICA DE LOS REGADIOS DE HUESCA

Para discutir la eficacia o la validez de los sistemas de evaluación resulta imprescindible analizar los resultados de la transformación tras un período de riego suficientemente largo.

Tecnología del riego

La única modalidad de riego posible en el momento de las transformaciones hasta los años 60 era el riego a pie. Ello exigió nivelaciones que provocaron alteraciones en la red de drenaje natural, y casi siempre con destrucción del perfil del suelo y puesta en superficie de lutitas miocenas, generalmente salíferas y con granulometrías desfavorables.

Con una tecnología de riego similar, las plataformas residuales cuaternarias o sasos no han tenido problemas de salinidad, salvo los muy erosionados. Los motivos son su posición elevada, granulometría favorable y buen drenaje, así como una forma plana que evitó nivelaciones importantes.

Pese a la inexistencia de datos detallados de climatología agrícola, puede afirmarse que los fuertes recorridos del viento en esta región favorecen el poder evaporante de la atmósfera y con ello los flujos ascendentes de agua en el suelo. De este modo áreas cuya granulometría no es excesivamente desfavorable pueden también verse salinizadas si no se maneja cuidadosamente el riego. En este sentido cabe reseñar que los registros de regímenes de humedad y de niveles de salinidad del suelo son prácticamente desconocidos por la agricultura de la zona, pese a su interés para controlar y adecuar el riego.

En los fondos pronto apareció la necesidad de abrir azarbes o de ahondar los desagües existentes, cuestión a veces difícil por falta de cota. La tecnología aplicada ha sido, pues, el riego, y al presentarse problemas se han ido instalando sistemas de drenaje, por zanjas o enterrado. En el momento actual se está implantando el riego por aspersión.

Salinización y sodificación

La mayoría de las zonas regadas que actualmente están afectadas por salinidad tenían, en secano, la aridez climática y no la salinidad como principal condicionante de la producción. Los inputs o entradas de sal en el sistema suelo se deben a un ciclo antropógeno de los establecidos por KOVDA (1969). Dado que el agua de riego utilizada es de bajos contenidos salinos y que, en general, estos regadíos no superan los 50 años, los inputs de sal deben explicarse por otras causas.

Procesos

Se ha hecho una prospección de las características litológicas y geomorfológicas para poner en claro el origen de las sales. Se han analizado los contenidos salinos de algunos de los materiales.

El Valle del Ebro fue una depresión que durante el Oligoceno y Mioceno se rellenó en un medio sedimentario continental de tipo lacustre, con fuerte

salinidad. Como resultado, en varios miles de metros de profundidad alternan estratos horizontales de lutitas y areniscas carbonáticas más o menos salíferas, y se intercalan localmente yeso y otras evaporitas.

La morfología actual se debe al encajamiento de la red fluvial, abundando las plataformas cubiertas por depósitos cuaternarios de gravas, a veces cementadas por carbonatos.

Antes de las transformaciones, los suelos de las vertientes eran de poco espesor y frecuentemente desaparecieron al realizar las nivelaciones. Como consecuencia las lutitas y areniscas quedaron al descubierto, incrementando su papel como redistribuidoras de las sales que contienen al ser alcanzadas por el frente de humectación debido al riego.

Las lutitas analizadas en diferentes emplazamientos del Valle del Ebro (Cuadro 6) se caracterizan por un predominio de la fracción limo fino. Los contenidos salinos pueden ser elevados, se han detectado hasta 46,8 meq/l de Na y 74,2 meq/l de Mg en extractos de pasta saturada. Las conductividades eléctricas de las muestras estudiadas llegan hasta unos 10 dS/m a 25 °C *. El Cuadro 6 pone de manifiesto la fuerte variabilidad espacial de las características de estas lutitas.

La generalización del regadío y la frecuente aplicación de agua en exceso junto con la horizontalidad de los estratos y las bajas permeabilidades explican la alteración del modelo hidrológico inicial, con ascenso de capas freáticas salinas en los fondos e incluso a media ladera por seepage o filtraciones laterales. Las sales de los materiales geológicos pasan al suelo y se produce un proceso de salinización inducido por el riego.

En los casos más graves el seepage y la dispersión de las arcillas provocan el desmoronamiento de bancales y azarbes, pudiendo llegar a incidir en obras civiles.

Los suelos formados a partir de lutitas con predominio de limo, limolitas, tienen una baja capacidad de intercambio catiónico, lo que dificulta la formación de estructura. La porosidad es desfavorable, las permeabilidades son muy bajas, todo ello dificulta el manejo del riego. La presencia de sodio en las sedes activas de intercambio favorece la dispersión, es decir, la destrucción de la estructura. La sodificación y la débil estructuración comprometen no sólo la estabilidad de las paredes de los azarbes, sino incluso el funcionamiento de los tubos enterrados de drenaje, como se verá al hablar de la traslocación de sólidos en el pedión.

En estas circunstancias el uso abundante, sobre todo en algunos cultivos y como medida de lavado, de aguas de riego de buena calidad química puede conducir a la sodificación, situación que para elevados valores del SAR y en la actual situación de la técnica es de muy difícil recuperación. La incorporación de yeso u otros productos como prevención de la sodificación no es una práctica muy común en la agricultura de la zona.

* IdS/m = 1 mmho/cm.

CUADRO 6
Características de lutitas de la provincia de Huesca.

Procedencia de las muestras	Granulometría %						EC dS/m a 25°	Extracto de pasta saturada meq/l						Hs %	SAR
	Arena gruesa 200 a 500 µ	Arena fina 500-50 µ	Limo grueso 50-20 µ	Limo fino 20-2 µ	Arcilla < 2 µ	Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺	Na ⁺	Cl ⁻	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼		
Laluzza	0.02	0.93	3.94	50.22	45.28	6.0	8.1	97.8	40.0	ip	4.2	55.0	65.4	37	
Monzón ^{Lex}	0.24	3.88	12.30	52.24	31.34	1.4	0.2	27.0	25.0	ip	1.7	2.0	42.0	30	
Albero Bajo 139/85	0.36	20.83	31.67	33.39	13.75	6.0	13.0	31.3	33.1	ip	9.8	10.0	60.0	10	
Albero Bajo 286	0.00	2.63	11.76	54.29	31.32	2.0	20.0	156.0	158.4	ip	2.7	38.0	59.6	47	
Grañén (Po)	0.19	12.11	10.97	37.33	39.40	1.0	1.0	3.2	2.0	ip	4.2	nd	47.2	2	
Huesca 8/1	0.06	3.69	9.68	38.94	47.63	37.0	50.0	565.2	545.0	ip	2.2	54.1	86		
Sarriñena 42	0.07	1.64	19.32	47.63	34.71	10.0	20.5	114.8	60.0	ip	3.2	42.1	29		
Sarriñena 43	0.23	5.72	12.72	42.02	41.91										

Niveles y tipo de salinización

Los niveles y tipos de salinización se han estudiado en parcelas de los principales sistemas regados de Huesca.

Los puntos de muestreo se han seleccionado teniendo en cuenta la distribución de comunidades vegetales halófilas, lo que permite alcanzar un mayor grado de resolución de niveles y tipos de salinidad (PORTA, 1975, 1980). Se han realizado muestreos a lo largo del ciclo anual. La metodología analítica es la propuesta por el Salinity Laboratory de los Estados Unidos (RICHARDS, 1954, 1969).

Las áreas estudiadas corresponden en secano a Anzano y en regadío a Almuniente y Lalueza (Sistema Flumen-Monegros) y a La Litera (Canal de Aragón y Cataluña).

Los valores máximos de salinidad hallados en suelos de Lalueza, medidos en extracto de pasta saturada son de 80 dS/m a 25 °C para el primer cm superficial del suelo en noviembre. Eliminando esta capa superior, el valor máximo hallado fue de 50 dS/m a 25 °C, en muestras de 0 a 10 cm antes de iniciar el periodo de riego. Se trata de parcelas cultivadas, seleccionadas por presentar problemas de salinidad y ser un ejemplo de emplazamiento en el que los agricultores intentan el arroz como cultivo posible. En Almuniente se midieron 99.8 dS/m a 25 °C en los 7 cm superficiales del suelo en el mes de julio. Se trataba de una parcela abandonada, ocupada en ese momento por un *Suaedetum brevifoliae*, y en la que en 1984 se ha intentado el cultivo de arroz.

La relación de adsorción de sodio, SAR, es frecuentemente superior a 13. Al proceso de salinización hay que añadir el de sodificación, cuando el pH se mantiene inferior a 8,5, o el de alcalinización si el pH supera dicho valor.

En la parcela experimental de Lalueza se presentan procesos de salinización con sodificación, así como de salinización con alcalinización. Los datos disponibles no permiten afirmar que haya sodificación o alcalinización sin que al mismo tiempo haya salinización.

En el área estudiada de Almuniente las conductividades eléctricas son superiores a 4dS/m a 25 °C, el ESP superior a 15 con pH superiores a 8,5.

Los suelos afectados por salinidad en Huesca son predominantemente salino-sódicos y salino-alcalinos.

La relación Ca^{++}/Mg^{++} es poco indicativa ya que en algunos casos predomina el calcio y en otros el magnesio. El sodio es siempre el catión preponderante.

La salinización es clorurada, aunque a veces dominan los sulfatos. Sólo localmente se han encontrado carbonatos solubles.

Como es clásico, la salinización no afecta uniformemente a grandes áreas, sino que por el contrario, dentro de una misma parcela, hay una gran irregularidad espacial y temporal (Fig. 3). Este hecho debe ser tenido muy en cuenta tanto en los muestreos como en el diseño de parcelas experimentales.

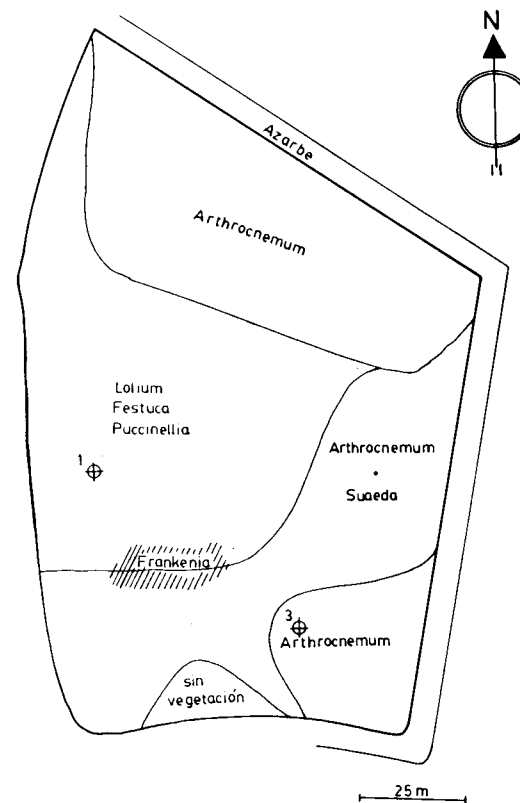


Fig. 3. — Croquis de distribución de la vegetación en la parcela experimental de Lalueza, en octubre de 1981.

Esta irregular distribución de la salinidad se puede explicar por fenómenos de seepage, movimientos diferenciales de agua, utilización del riego, etc. En la parcela experimental de Lalueza que sirve de referencia para el presente trabajo, este modelo de distribución en manchas ha quedado muy patente tras un seguimiento de tres años. La vegetación inicial uniforme, una pradera polifita, ha ido evolucionando en función de los procesos de salinización que han ocurrido en la parcela (Fig. 3). En los puntos 1 y 2 la salinidad alcanzada ha sido relativamente pequeña, haciendo posible la implantación de *Festuca* y *Puccinellia* (Fig. 4). El punto 3 corresponde a un área con seepage y capa freática alta durante la mayor parte del año, por lo que predomina el flujo ascendente de agua del suelo, con depósito de sales en la parte superior del perfil. La única vegetación posible se presenta en rodales y está formada casi exclusivamente por *Arthrocnemum glaucum* (Cuadro 7).

Perfil salino en dos puntos de una parcela de regadío en Lalueza (Huesca). Punto 1: Pradera de *Festuca* y *Puccinellia*. Punto 3: *Arthrocnemum glaucum*.

Profund. (cm)	Hs %	CEe dS/m	Ca ²⁺ meq/l	Mg ²⁺ meq/l	Na ⁺ meq/l	Cl ⁻ meq/l	SO ₄ ²⁻ meq/l	HCO ₃ ⁻ meq/l	Ca ²⁺ /Mg ²⁺	Cl/SO ₄ ²⁻	SAR	ESP
Punto 1												
0-15	33	3.8	11	7	27	34	8	5	1.6	4.2	10	12
15-25	37	4	11	7	34	36	9	5	1.6	4.0	11	13
25-35	40	4	8	6	34	37	8	5	1.3	4.6	13	15
35-45	40	4.8	8	6	44	47	9	5	1.3	5.2	17	19
45-70	40	7.2	9	10	70	64	17	4	0.9	3.8	23	25
70-90	40	9.8	14	16	83	68	38	4	0.9	1.8	21	23
Punto 3												
0-15	28	40	45	76	424	379	146	7	0.6	2.6	54	44
15-22	30	20.8	17	65	226	203	90	5	0.3	2.3	36	33
22-30	26	22.4	16	67	230	216	88	4	0.3	2.5	36	34
30-55	20	23.1	17	58	235	225	86	4	0.3	2.6	38	35
55-68	23	24.6	19	62	250	237	91	5	0.3	2.6	39	36
68-80	22	23.0	18	56	244	225	91	5	0.3	2.5	40	37
80-108	22	23.1	18	61	318	271	42	5	0.3	6.5	38	35



Fig. 4. — Las diferentes comunidades vegetales halófilas denotan las diferencias de humedad y/o salinidad dentro de una misma parcela. El *Arthrocnemum glaucum* invade los rodales con condiciones de salinidad y agua freática más extremas. Lalueza, noviembre 1983.

Comportamiento de los suelos frente al agua

Características físicas

La granulometría de estos suelos viene condicionada por la de los materiales sedimentarios parentales (Cuadro 6). Los problemas de salinización se asocian con un predominio de la fracción limo (Fig. 5).

Los suelos franco-limosos tienen de por sí un manejo difícil, ya que tienden a apelmazarse. La casi carencia de carga eléctrica de la fracción limo dificulta la estructuración, a ello se une el efecto dispersante del sodio en las sedes de intercambio. La presencia de capa freática salina y de una solución del suelo también salina favorece una configuración de la doble capa que permite una cierta floculación-estructuración por las fuerzas de Van der Waals.

Un período de desecación hace aparecer una estructura por retracción, con formación de grietas (Cuadro 8), que en el caso de la parcela de Lalueza se traduce en una estructura de tipo prismático en el horizonte B.

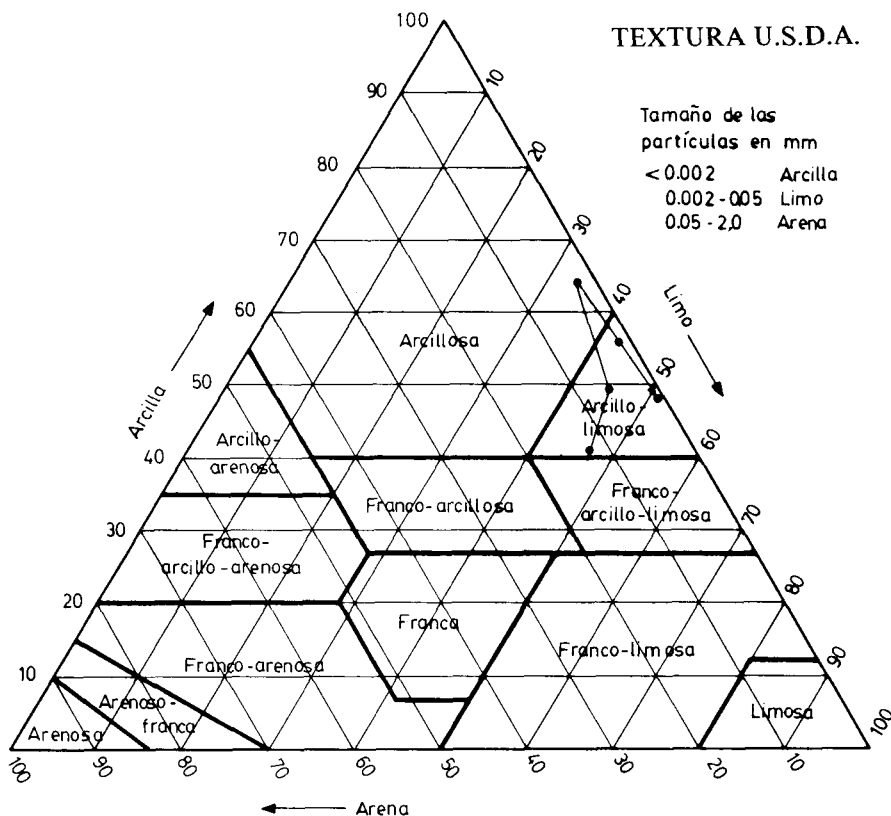


Fig. 5. — La abundancia de limo dificulta la estructuración del suelo: Datos de los distintos horizontes en la parcela experimental de Lalueza.

Los análisis de arcillas realizados hacen descartar la presencia de minerales hinchables de tipo esmectítico, ya que no existe ningún efecto alrededor de los 14 Å. Con tratamiento de etilén-glicol no aparece ningún efecto a 17-18 Å. Las arcillas identificadas son caolinita, mica degradada y vermiculita como predominantes.

El agrietamiento del terreno en la parcela experimental por desecación no es atribuible a arcillas de tipo esmectítico. Cuando están húmedos estos suelos tienden a presentar una estructura maciza.

Las densidades aparentes son elevadas. En la parcela experimental de Lalueza alcanzan valores que indican gran compactación de los epipedones

CUADRO 8

Agrietamiento del suelo después de un período de desecación: Parcela experimental en Lalueza.

Observaciones realizadas: 30
Anchura de las grietas en superficie: — máxima: 25 mm — mínima medida: 1 mm — media: 9,6 mm
Separación entre grietas en superficie: — máxima: 41 cm — mínima: 10 cm — media: 22,8 cm

(Cuadro 9). En el caso de la pradera a base de *Festuca* y *Puccinellia* la densidad aparente es más baja que con cultivo de arroz o con vegetación halófila de condiciones hipersalinas, el *Arthrocnemum glaucum*. Los valores se corresponden con las observaciones de la estructura de estos suelos. En el primer caso hay agregados de tipo granular compuesto, si bien poco desarrollados; en los dos últimos emplazamientos la estructura es maciza o bien laminar, donde hay compactación por paso de maquinaria.

Estos suelos tienen además una fuerte tendencia a formación de costra superficial.

Las medidas de conductividad hidráulica dan valores muy bajos. Se ha utilizado el método Porchet por no ser accesible la capa freática. Los valores indicados en la Figura 6 corresponden a la parcela experimental de Lalueza.

CUADRO 9

Densidades aparentes de epipedones diferentes atamientos: Parcela experimental en Lalueza.

Tratamiento	Densidades aparentes Kg/m ³
Pradera	1.500
Arroz	1.700
Arthrocnemum	1.700

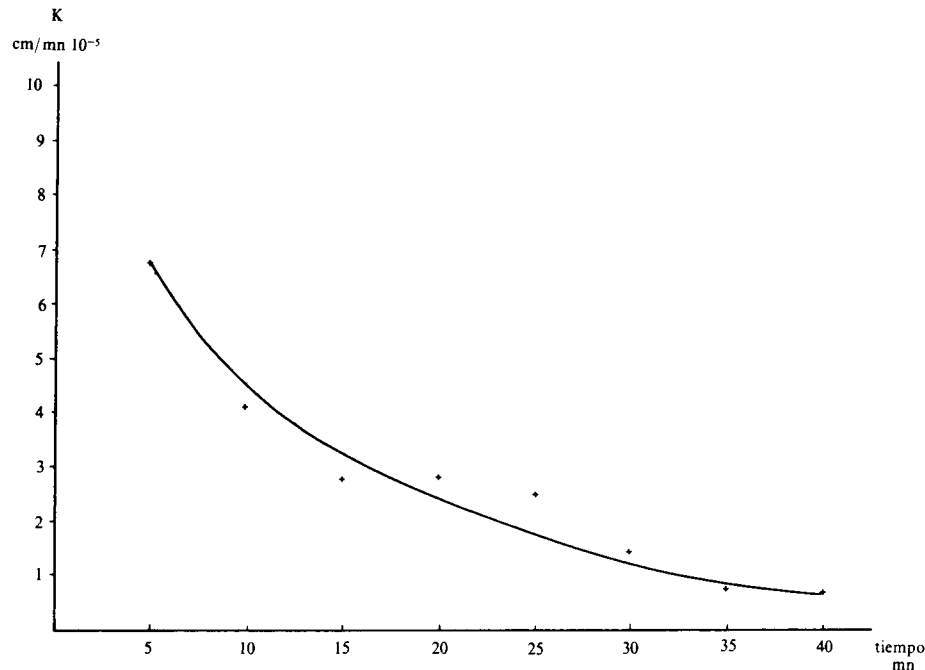


Fig. 6. — Curva de infiltración en la parcela experimental de Lalueza, a 50 cm de profundidad.

Translocación de sólidos

En prospección de campo, en diversos emplazamientos, el examen macroscópico con ayuda de la lupa permite describir en muchos casos la presencia de cutanes. Esto ha llevado a sugerir la existencia de endopediones nátricos, considerando que los cutanes podrían corresponder a argilanes. La falta de una información precisa y la importancia de las translocaciones de sólidos en estos suelos han hecho necesario emprender estudios micromorfológicos encaminados a superar el nivel de caja negra en que se encontraba este tema.

Las translocaciones de sólidos quedan muy de manifiesto cuando se desenterran tubos de drenaje que resultan inoperantes. El diagnóstico más frecuente es taponamiento por finos. El proceso de translocación, aparte de su interés teórico, incide en la productividad actual y en las posibilidades de recuperación de estos suelos. La colmatación de drenes en plazos relativamente cortos, incluso en menos de diez años, inutiliza inversiones cuantiosas.

Microscopía de las translocaciones

Los estudios micromorfológicos se refieren a la parcela experimental de Lalueza. Se fabricaron cortes delgados de las distintas formaciones superficiales de la pradera y de los horizontes del suelo, así como de las formaciones superficiales y de la lutita alterada existentes en posiciones circundantes.

Las descripciones se hacen según la terminología propuesta por BULLOCK & *al.* (1985). Sin entrar en un estudio micromorfológico detallado, que se hará en un próximo trabajo, se ofrecen a continuación algunos aspectos interesantes o que teniendo en cuenta la experiencia de campo parecen de aplicación a otros suelos afectados por la salinidad en Aragón.

a. Microestructura

Los primeros milímetros de suelo poseen siempre menos huecos que los horizontales subyacentes. La comparación de cortes delgados de las distintas formaciones de superficie indica que la cantidad total de huecos es mucho mayor en la zona de pradera, aunque la estructura es débil y predominan los canales. En las áreas desnudas el material es más denso y sólo hay fisuras horizontales muy finas. En los cortes correspondientes a la rodada de maquinaria la microestructura es maciza.

En el horizonte Ap la estructura es compleja: de bloques y granular, con alguna zona masiva. Según las zonas la porosidad va del 15 al 30 %, predominando las fisuras parcialmente rellenas de agregados granulares.

El horizonte B, entre los 35 y 70 cm de profundidad, tiene estructura prismática gruesa y una porosidad estimada en el 10 %. Las escasas fisuras son verticales. Hay canales, canales deformados y cámaras. En su parte inferior este horizonte tiene estructura cavitaria y porosidad estimada del 15 %. Las cavidades, coalescentes, dan un desarrollo incompleto de agregados que tienen pequeños canales y alguna vesícula.

b. Masa basal

Se distinguen dos tipos: limoarcillosa y arenosa.

La primera es comparable a la de la limolita aflorante junto a la parcela. Está mejor clasificada y predominan los carbonatos frente a las micas. En la parte superior del horizonte B y en el Ap hay residuos vegetales; los de menor tamaño son difíciles de distinguir de las partículas ferruginosas.

Esta masa basal se presenta en el horizonte B y en zonas poco estructuradas del Ap. En el Ap más estructurado se mezcla con la masa basal arenosa. En ésta predominan el cuarzo y los carbonatos, y su clasificación granulométrica es pobre.

c. *Edaforrasgos texturales*

Abundan en todos los horizontes y aparecen también en la limolita en alteración. La costra superficial, estudiada en varias posiciones, se considera como un rasgo textural.

En ninguno de los cortes delgados estudiados aparecen revestimientos birrefringentes de arcilla o argilanes (BREWER, 1977) característicos de los horizontes argílicos o de los nátricos. La mayoría de los huecos no llevan revestimientos y los edaforrasgos texturales, poco contrastados, raramente se relacionan con los huecos.

c.1. *Costras*

Son muy diferentes las de los microfans a las de los rodales desnudos de la parcela.

En los microfans se puede distinguir (Fig. 7), de arriba a abajo:

— Una costra de 3 a 4 mm de grosor formada por capas limosas alternantes con otras arcillolimosas más finas. El material es similar a la limolita. Hay unas pocas cavidades horizontales y alguna vesícula.

— Una costra de 5 a 6 mm de grosor con alternancia irregular de capas franco-arenosas de grosor milimétrico y capas arcillolimosas de 0,1 a 0,2 mm. Hay numerosas cavidades horizontales y vesículas.

La costra descrita puede ser policíclica o descansar directamente sobre la limolita u otros materiales.

En los rodales desnudos de la parcela, la costra casi no presenta laminación, aunque a aproximadamente 1 mm se conserva con cierta frecuencia una capa de algas cuyo contraste, escaso, se debe casi exclusivamente a que mantienen el color verde. La mayor parte de esta costra consta casi exclusivamente de nódulos de arcilla impura. El material es semejante al horizonte B más superficial. Hay algunos cristales intercalares (BREWER, 1977) de yeso y otros más pequeños no identificados. Todos se disponen al azar.

Esta costra presenta una red de fisuras horizontales y alguna vertical. El material subyacente tiene masa basal semejante a la del horizonte B superior y muchos huecos de empaquetamiento.

c.2. *Revestimientos*

Son poco frecuentes. Los hay en algunos huecos de empaquetamiento del horizonte B superior e intermedio, pero no en fisuras ni en canales. También se han visto en la limolita erosionada y en la terminación de algunas grietas de los microfans. Están constituidos por materiales limosos o arcillolimosos con clasificación media.

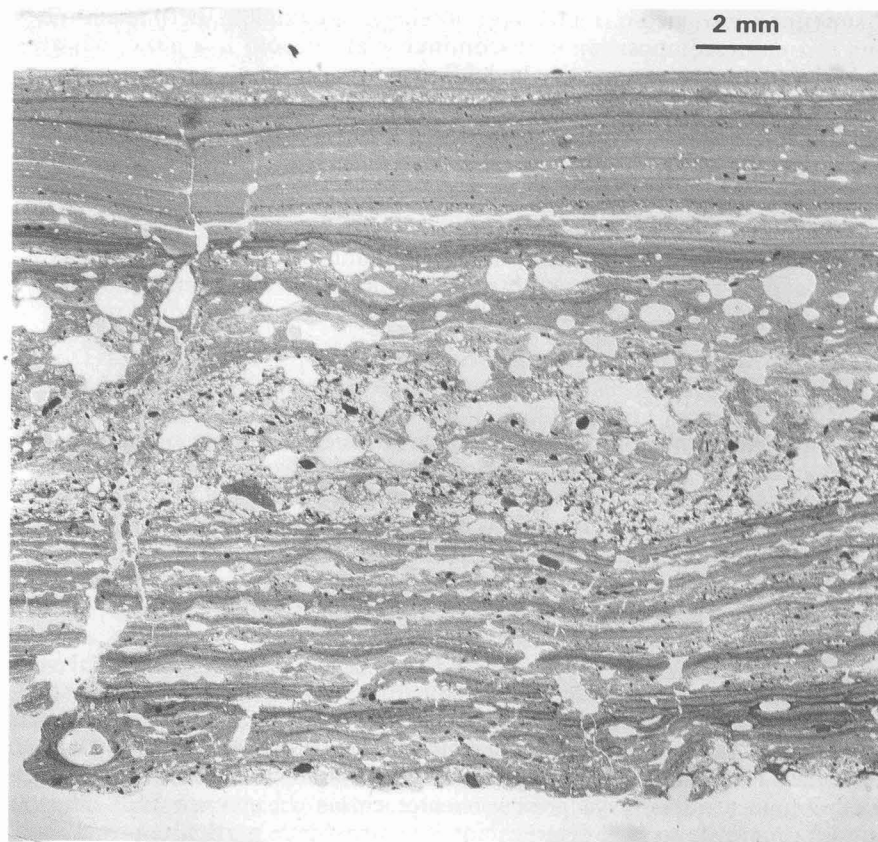


Fig. 7. — Sección vertical de la costra laminar en un microfan (Lalueza, Huesca). La masa basal es limo-arcillosa. Los 3 ó 4 mm. superiores son muy compactos. Los escasos huecos entre las laminaciones no se intercomunican. La grieta continua horizontal se debe al secado; a la izquierda se ve una fina grieta vertical que se rellenó inmediatamente. La superficie queda sellada, dificultando la infiltración e impidiendo la nascencia. En la parte inferior hay una capa vesicular y otra cavitaria. Los huecos tienen distribución horizontal y la comunicación vertical entre ellos es casi nula, incluso en la capa de granulometría más gruesa. (Fotograma P. Guilloré sobre material de los autores.)

c.3. *Rellenos*

Son también poco frecuentes. Los hay en algunos canales del horizonte B superior e intermedio. En algunos el relleno es completo, pero cuando hay una raíz en descomposición es discontinuo y afecta sólo a la parte más alterada. La textura es semejante a la del B superior.

c.4. *Intercalaciones*

Son muy frecuentes en todos los horizontes. Se han encontrado de dos tipos: arenosas y limoarcillosas.

Las intercalaciones limoarcillosas tienen composición semejante a la masa basal limoarcillosa, que es donde abundan. En láminas convolutas alternan capas limoarcillosas con otras de arcilla impura que pueden presentar ligera orientación. A veces las intercalaciones están deformadas o fragmentadas.

d. *Otros edaforrasgos*

En el horizonte B aparecen revestimientos ferruginosos o más frecuentemente nódulos irregulares de color marrón oscuro en todo el perfil. Su abundancia no llega al 5 %.

Se han observado muy escasos cristales lenticulares de yeso intercalares en la masa basal de la parte inferior del horizonte B.

Interpretación de los datos micromorfológicos

La micromorfología del perfil indica que el suelo de la parcela experimental procede directamente en su mayor parte de la limolita miocena que aflora en las vertientes. La impermeabilidad de estas limolitas explica la gran escorrentía superficial incluso cuando las precipitaciones no son excesivamente concentradas, y ya para vertientes cortas. El elevado ESP de estas limolitas permite su fácil disgregación y el arrastre de partículas por el agua. Los rellenos de grietas observados en la limolita indican que el material bien triado se mueve en suspensión.

Este tipo de movilización temprana produce la estructura en capas de los microfans. El tipo de huecos en ellos puede explicarse por calentamiento de burbujas de aire atrapado a causa de la insolación de estos materiales desnudos tras las tormentas (FIGUEIRA, 1984). La tendencia horizontal de los huecos y el inmediato relleno de las escasas grietas verticales (Fig. 7) de estas costras explica su impermeabilidad. Cuando en el arrastre llegan materiales de los retazos de terraza topográficamente dominantes, la cantidad de huecos es mucho mayor, pero se mantiene la tendencia horizontal con los consiguientes efectos desfavorables sobre la infiltración.

Los ciclos de humectación y secado provocan una microfracturación que permite el arrastre de fragmentos de la limolita. Tales fragmentos pueden ser el origen de la masa basal de la parte superficial del suelo; su fácil dispersión por el agua produce una capa poco permeable si no es estructurada por agentes biológicos.

El patrón de huecos en el horizonte B parece indicar un origen de este tipo. La granulometría con predominio de limo dificulta la estructuración y el contenido de sodio refuerza la tendencia a la dispersión. Los huecos deben ser inestables, tanto que, pese a la movilidad de los materiales arcillosos, escasean los revestimientos (argilanes y siltanes), mientras que abundan las intercalaciones, tal vez consecuencia de la pérdida de huecos.

DISCUSION

Tras la aplicación por equipos distintos de las normas USBR, por encargo de IRYDA, a tres tramos del Sistema Flumen-Monegros, con un total de 82.756 Ha, cerca de la mitad, 38.021 Ha, quedaron incluidas en Clase 5. Los estudios correspondientes se realizaron a mediados de la década de los 70, es decir, entre 20 y 30 años después de la puesta en riego. De estas 38.021 Ha, casi todas están afectadas por salinidad.

En la hipótesis de que se aplicaron correctamente las normas USBR para determinar áreas regables, el análisis realizado pone de relieve la insuficiencia de tales normas. Los procesos de salinización, sodificación/alcalinización, destrucción de la estructura, translocación de sólidos, colmatación de drenes, erosión de azarbes y taludes, etc., que no fueron inicialmente previstos, han conducido a la problemática actual.

Los estudios de suelos pueden presentar como deficiencia notoria una inadecuada escala de trabajo, es decir, una densidad de observaciones demasiado baja para un estudio detallado. Por lo que se refiere a la aplicación de las normas, debe destacarse que puede resultar incorrecta una evaluación basada en una prospección única que no recoge las variaciones temporales de las características del suelo, en especial a lo largo de un ciclo anual, de tanta importancia en el caso de la salinidad.

Las normas USBR se basan en un principio de predicción de las características de los suelos una vez puestos en riego, lo que exige una labor de experimentación y seguimiento con garantía de continuidad.

CONCLUSIONES

Las transformaciones en regadío, imprescindibles para aumentar la producción agraria, han producido en Huesca cambios en el medio que han desviado los resultados inicialmente previstos.

Cuando se desea valorar la evolución de la salinidad en los grandes sistemas de regadío oscenses, los datos utilizables resultan escasos. Por estimación de superficies abandonadas o insistencia en cultivos presuntamente mejorantes o de baja rentabilidad, pueden obtenerse evidencias de la persistencia de la salinidad o de la sodificación con sus secuelas. Análogamente pueden estimarse las extensiones con una agricultura actualmente próspera en las que se sabe que antaño hubo problemas de salinidad.

Dadas las dificultades de controlar los diversos parámetros y operar por simulación, por el momento los procesos que tienen lugar en un suelo al pasar a regadío han de ser seguidos mediante parcelas experimentales piloto. Estas habrían de ponerse en marcha al empezar a considerar la posibilidad de transformar en regadío una zona. De este modo un seguimiento mínimo de cinco años permitiría lanzarse a regar grandes áreas con una experiencia local imprescindible.

Una vez puesta en riego una zona, es necesario realizar un seguimiento para poder, de forma iterativa, ir ajustando los criterios utilizados en la evaluación inicial.

Los estudios micromorfológicos y físico-químicos son una herramienta para comprender ciertos aspectos del funcionamiento del suelo, concretamente lo referente a dispersión-floculación y translocación de sólidos en el perfil con su incidencia en el comportamiento físico del suelo, permeabilidad e infiltración, costras superficiales, colmatación de tubos de drenaje, etc.

El enfoque de Framework de FAO para evaluar la idoneidad de suelos para distintos usos conduce necesariamente a la experimentación local, que sin duda ha sido escasa en los regadíos de Huesca.

Las técnicas de simulación con ordenador, la teledetección y el tratamiento de imagen deben permitir en un futuro muy inmediato el seguimiento rápido en grandes áreas.

Agradecimientos

Al Gobierno francés por la beca para una estancia en el I.N.A. Paris-Grignon del 2.º de los autores, que ha hecho posible la parte micromorfológica de este trabajo. Al Prof. N. Fédoroff por sus orientaciones en micromorfología.

BIBLIOGRAFIA

- ALBERTO, F.; J. MACHÍN & R. ARAGÜÉS (1983). Razones y distribución espacial de la salinidad de los suelos y aguas superficiales de la Cuenca del Ebro. Seminario «El Sistema Integrado del Ebro». Barcelona, 23-25 de febrero. 10 p.
- ALBERTO, F.; J. MACHÍN, J. A. CUCHI & R. POZA (1979). Memoria y Guía de las excursiones científicas de la VIII Reunión Nacional de Suelos. Zaragoza. 109 p.
- ARAGÜÉS, R. (1986). Calidad del agua y efectos sobre el suelo. Diputación General de Aragón. Zaragoza.
- ARAGÜÉS, R. & F. ALBERTO (1983). La salinización. 5.ª Conferencia sobre hidrología general y aplicada, Smagua: 41-48.
- BOLEA FORADADA, J. A. (1978). Los Riegos de Aragón. Sindicato Central de Riegos del Alto Aragón. Zaragoza. 535 p.
- BREWER, R. (1976). Fabric and mineral analysis of soil. Krieger, New York. 428 p.
- BULLOCK, P. & al. (1985). Handbook for soil thin section description. Waine Res. Publ., Wolverhampton.
- CASTROVIEJO, S. & J. PORTA (1975). Apport à l'écologie de la végétation des zones salées de rives de la Giguëla. Coll. Phytosociologiques. Lille.
- CERVERA, R. (1966). Los suelos salinos de la Depresión del Ebro. Bol. A.N.I.A. 167 : 193-199.
- F.A.O. (1976). A framework for land evaluation. FAO Soils Bulletin n.º 32. 72 p.
- F.A.O. (1985). Guidelines: land evaluation for irrigated agriculture. FAO Soils Bulletin, n.º 55. 231 p.
- FIGUEIRA, H. L. (1984). Horizonte vesicular y génesis en un Aridisol del Norte de la Patagonia. Ciencia del Suelo, 2 : 121-129.
- HERRERO, J. (1982). Salinidad del suelo en salobres de Monegros y Somontano oscense como condicionante de la vegetación. Inst. Fernando el Católico. Zaragoza. 50 p.
- KOVDA, V. A. (Ed.) (1967). Irrigation and drainage of arid lands in relation to salinity and alkalinity. Draft edition. FAO. Paris.
- PORTA, J. (1975). Redistribuciones iónicas en suelos salinos: Influencia sobre la vegetación halófila y las posibilidades de recuperación de los suelos con horizonte gypico y otros suelos halomorfo de las márgenes del río Giguëla. Universidad Politécnica. Madrid. Tesis doctoral.

- PORTA, J.; S. CASTROVIEJO & M. LÓPEZ-ACEVEDO (1980). Diagnosis of salinization and alkalization levels in spanish salt-affected soils by means of halophytic community studies. Internat. Symp. Salt-Affected soils: 39-47. Karnal, India.
- PURNELL, M. F. (1979). The FAO aproach to land evaluation and its application to land classification for irrigation. World Soil Resources Reports, 50: 4-8.
- RICHARDS, L. A. (Ed.) (1954, 1969). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USSSL Agric. Handbook n.º 60. USDA. 160 p. Traducción española Limusa, México.
- U.S.B.R. (1953). Bureau of Reclamation Manual. Vol. V, Irrigated lands use, part. 2, land classification. Depart. of the Interior. Washington D. C. 132 p.