

fol
02952

II CURSO SOBRE MANEJO DE SOLO E ÁGUA EM
PROPRIEDADES AGRÍCOLAS DO TRÓPICO SEMI-ÁRIDO
PERÍODO: 30 DE AGOSTO A 29 DE SETEMBRO DE 1983

SALINIDADE E SODICIDADE DOS SOLOS AGRÍCOLAS

GILBERTO G. CORDEIRO



1983
PETROLINA, PE

Salinidade e sodicidade dos
1982 FL-05018



2584-1

Í N D I C E

1. Introdução.....	1
2. Origem dos problemas de sais em áreas irrigadas.....	2
3. Tipos de sais e suas formas no solo.....	3
4. Processo de formação de solos salinos e sódicos.....	4
4.1. Fatores que favorecem o processo de formação de solos sa linos e sódicos.....	6
5. Caracterização e classificação dos solos com problemas de salinidade e sodicidade.....	7
5.1. Determinações das condições em que se apresenta o pro- blema.....	8
5.1.1. Levantamento e formação de um plano de salinidade e so dicidade aparente.....	8
5.1.2. Levantamento e formação de um plano de salinidade e so dicidade analisada.....	9
5.1.2.1. Amostragem do solo.....	9
5.1.2.2. Profundidade de amostragem.....	9
5.1.2.3. Principais determinações químicas e físicas que se devem realizar.....	10
5.1.2.4. Elaboração do plano de salinidade e sodicidade.....	10
5.1.2.5. Utilização de cores na elaboração dos planos de sa- linidade e sodicidade.....	10
6. Efeitos de altos conteúdos de sais no solo e na planta....	12
6.1. No solo.....	12
6.2. Na planta.....	12
6.2.1. Efeitos diretos fora da planta.....	13
6.2.2. Efeitos dos sais dentro das plantas.....	14
7. Classificação dos cultivos segundo sua tolerância aos sais e à presença de ions tóxicos.....	14
8. Prevenção dos problemas de sais em terrenos irrigados.....	15
9. Recuperação de solos salinos e sódicos.....	16
9.1. Práticas de manejo.....	17
9.2. Métodos de recuperação.....	18
9.2.1. Métodos físicos.....	18
9.2.2. Métodos biológicos.....	18
9.2.3. Métodos elétricos.....	19
9.2.4. Métodos químicos.....	19
10. Seleção do tipo de corretivo.....	19
10.1. Velocidade de reação dos diferentes corretivos.....	20

10.2 Reações químicas de alguns corretivos no solo.....	20
10.3 Cálculo da quantidade de corretivo:.....	21
10.4 Forma de aplicação do corretivo.....	22
10.5 Cálculo do volume de água necessário para dissolver o cor <u>re</u> retivo.....	23
11. Cálculo da lâmina de lavagem.....	24
12. Qualidade da água de irrigação.....	26
12.1 Roteiro para interpretação da qualidade de água para ir- rigação.....	29
13. Bibliografia.....	33
14 . Apêndice.....	35

SALINIDADE E SODICIDADE DOS SOLOS AGRÍCOLAS

1. INTRODUÇÃO

O estudo da salinidade e sodicidade é muito importante pelo fato dos sais afetarem os solos, as águas e como consequência o rendimento das plantas cultivadas.

Em 1970, a Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem, com sede na Índia, estimou a área total irrigada no mundo, em 203 milhões de hectares, dos quais 50,7 milhões (25% do total) apresentam problemas de salinidade e sodicidade. Se considerarmos que existem áreas não irrigadas também afetadas, e portanto não utilizadas plenamente em seu potencial agrícola, é fácil compreender a fundamental importância da solução desse problema para o aumento da produção mundial de alimentos.

No Brasil, o Programa de Irrigação, de responsabilidade do Ministério do Interior, conta atualmente com 63 projetos sendo três no Sul do país e 60 no Nordeste. Os projetos localizados nesta última região se distribuem entre o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) que conta com 40 projetos e a Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF) com 20 projetos, não citando os projetos de irrigação particulares.

O problema da salinização e sodificação dos solos no Nordeste se apresenta de forma grave. Em janeiro de 1977, o Departamento de Agricultura e Abastecimento (DAA) da SUDENE apresentou relatório sobre salinização, sodificação e problemas de drenagem em áreas irrigadas da região Nordeste concluindo que, cerca de 25% do total implantado está afetado, percentagem esta considerada bastante otimista considerando que dados mais recentes de Cordeiro (1977), estudando o Projeto de Irrigação de São Gonçalo, mostram que 24% da área em operação apresenta problemas de sais, não considerando as áreas do projeto já abandonadas e as destinadas a pecuária e que apresentam altos teores de sais.

Em forma natural todos os solos agrícolas contêm sais, condição que também guardam as águas. Os sais são utilizados pelas plantas como alimento. Entretanto a presença deles pode prejudi-

2

car as plantas e animais quando o conteúdo ou a forma em que se encontram excedam a certos limites, estes prejuízos podem ser manifestados tanto pela inibição do crescimento produzido pelos sais, o qual se manifesta por uma marcada desuniformidade nos cultivos como pela variação no crescimento geral que resulta em uma baixa produção por unidade de área.

A fim de evitar tais problemas pela presença de altos conteúdos de sais ou ter que recuperar os solos afetados, devemos aplicar práticas adequadas de bom manejo de solo e da água.

Com base no acima exposto, pode-se avaliar a dimensão e as implicações que apresenta o problema dos solos afetados por sais para o futuro do programa de irrigação do Nordeste, caso não se adote sérias medidas de prevenção e combate aos problemas de salinidade e sodicidade.

2. ORIGEM DOS PROBLEMAS DE SAIS EM ÁREAS IRRIGADAS

A maior parte dos solos salinos e sódicos ocorre principalmente em regiões áridas e semi-áridas onde os processos de salinização e sodificação são frequentemente acelerados por irrigação pouco eficiente e insuficiente drenagem.

Os sais solúveis do solo consistem em grande parte e em proporções variadas, dos cátions sódio, cálcio e magnésio e dos ânions cloreto e sulfato, sendo que, em quantidades menores, se encontram os ânions bicarbonato, carbonato e nitrato. As fontes originais, das quais provêm estes sais, são os minerais primários que se encontram no solo e nas rochas expostas da crosta terrestre.

Israelsen e Hansen (1975) afirmam que durante os processos de intemperização, que implica em hidrólise, hidratação, solução, oxidação, carbonatação e às vezes precipitação, os constituintes são liberados gradualmente e se tornam mais solúveis.

Em solos irrigados, as causas diretas que influenciam o aparecimento de problemas de salinidade e sodicidade podem resumir-se assim:

- irrigação com volumes excessivos de água que elevam o nível de água freática, permitindo a concentração superficial de sais por evaporação;

- infiltração de canais de distribuição que provocam a elevação do nível freático em terrenos adjacentes;
- uso de água de irrigação com alta concentração salina;
- quando se permite a acumulação de água de irrigação em partes baixas pouco permeáveis do terreno, resultando em formação de depósitos de sal nestas áreas;
- flutuação do lençol freático devido a drenagem interna deficiente.

Entretanto, devemos salientar que, mesmo nas regiões áridas, o problema de salinidade e sodicidade comumente não existe em condições naturais. O problema surge e naturalmente é de maior importância econômica e social quando, em consequência da irrigação, um solo não salino se torna salino. Isto se deve em grande parte ao volume e ao teor de sais de água, usada na irrigação e a falta ou deficiência de drenagem do solo.

Do ponto de vista da produtividade a salinização ou sodificação são problemas indesejáveis, já que afetam os rendimentos dos cultivos, porém não devemos esquecer que todos os solos contêm sais, os quais só se tornam problema quando alcançam concentrações que sejam intoleráveis pelas plantas. Para evitar estes problemas, torna-se necessário entender as leis que regem a dinâmica dos sais no solo e nas plantas, porém isto não é simples já que requer um conhecimento concatenado, ainda que em forma superficial, de diferentes campos da ciência, tais como a física, a química, a biologia, a engenharia e a agronomia que por si só envolvem praticamente todas as áreas do conhecimento humano.

3. TIPOS DE SAIS E SUAS FORMAS NO SOLO

Os sais no solo se manifestam de duas formas principais:

Associados - formando compostos por combinação dos ions, sendo mais comuns os seguintes: NaCl , CaCl_2 , Na_2SO_4 , e outros.

Dissociados - Como ions, que podem ser positivos (cations) e negativos (anions) os quais podem se apresentar em três diferentes disposições:

a) Ions solúveis - Na solução aquosa do solo.

b) Ions hidratados adsorvidos a pressão nas argilas e materiais orgânicos muito finos.

c) Ions intercambiáveis - retidos por cargas elétricas nas argilas e material orgânico muito fino.

Os ions mais comuns são:

Anions		Cations	
Cl^-	- Cloreto	Ca^{++}	- Cálcio
SO_4^{--}	- Sulfato	Mg^{++}	- Magnésio
CO_3^{--}	- Carbonato	Na^+	- Sódio
HCO_3^-	- Bicarbonato	K^+	- Potássio
NO_3^{--}	- Nitrato	Fe^{+++}	- Ferro
SiO_2^{--}	- Silicato	B^{+++}	- Boro

Os cations mais abundantes são: Na^+ , Ca^{++} e Mg^{++} , encontrando-se em menor quantidade K^+ .

Os anions mais abundantes são os cloretos (Cl^-) e sulfatos (SO_4^{--}) existindo em menor quantidade os carbonatos (CO_3^{--}) e bicarbonatos (HCO_3^-).

Os carbonatos e bicarbonatos se formam por solução do CO_2 do ar na água, o qual é de origem biológica ou atmosférica. Ambos ions estão interrelacionados e são uma função do pH do solo, com maiores quantidades de ions carbonato só podendo se apresentar para valores de pH de 9.5 ou mais alto.

4. PROCESSO DE FORMAÇÃO DE SOLOS SALINOS SÓDICOS

Os solos com essas características têm duas origens fundamentais:

1. Natural: Que pelo modo de formação podem ser:

a) In-situ - Aqueles formados por decomposição das rochas no mesmo lugar onde se encontram cuja ocorrência é pouco frequente.

b) Bacias fechadas - Para estes locais correm as águas de chuva e riachos que carregam grandes quantidades de sais. Ao evaporar a água, e

conteúdo de sais aumenta cada vez mais, dando origem a solos salinos e sódicos. Um exemplo deste tipo de terreno são regiões do ex-lago de Texcoco no México, Great Salt Lake, em Utah (USA) e Salton Sea, na Califórnia (USA).

c) Marinho - Do qual existem quatro modalidades:

- c.1. Geológico - Se apresenta quando o material original é constituído por depósitos marinhos.
- c.2. Costeiro - Ocorre onde as águas do mar invadem as zonas baixas.
- c.3. Por fenômenos meteorológicos - Transporte de água do mar através de ventos.
- c.4. Por intrusão - Avanço da água do mar através das camadas do sub-solo.

2. Induzida: É o caso da origem dos problemas de sais em áreas irrigadas, que surge geralmente devido ao inadequado manejo do solo e da água nos terrenos agrícolas sob irrigação.

Kovda (1964) afirma que as áreas irrigadas situadas em regiões desérticas e semi-desérticas em lugares de pouca drenagem, terras baixas de zonas lacustes e costeiras, cedo ou tarde sofrem um aumento de águas freáticas e seus solos ficam expostos a salinidade e sodicidade.

Os solos dos perímetros irrigados do Nordeste são em sua quase totalidade, do tipo aluvional, caracterizado por extremas variabilidades horizontal e vertical. Em geral, são de textura média a pesada, profundos, de boa fertilidade, porém pobremente drenados. Além disso, muitos desses solos apresentavam, originalmente, altos teores de sais, condição que foi agravada com o advento da irrigação. Caso não sejam adotadas medidas preventivas eficientes, o percentual, presentemente estimado, de solos afetados será, por certo, rapidamente aumentado. A baixa permeabilidade da maioria dos solos torna difícil a recuperação destas áreas, pois não permite que os lixiviados atinjam os drenos superficiais, (Pizarro & Damasceno, 1976).

Além dos problemas relativos ao excesso de sais solúveis, al-

gumas áreas apresentam teores de sódio trocável bastante elevados (superiores a 15%), acarretando degradação da estrutura dos solos e redução drástica de sua permeabilidade.

A água atualmente utilizada nos perímetros irrigados do Nordeste é proveniente, em sua quase totalidade, de reservatórios superficiais e armazenada durante a estação chuvosa. É considerada de boa qualidade e não deveria apresentar maiores problemas para a irrigação sob condição adequada de manejo. Todavia, em decorrência do inadequado balanço de sais, comumente verificado, observa-se uma gradativa salinização e sodificação do perfil irrigado e progressivo aumento das áreas problemáticas.

Os solos com altas concentrações de sais tanto natural como induzida, se encontram principalmente nas zonas de clima árido e semi-árido, onde as baixas precipitações não chegam a efetuar a lixiviação dos sais. Em regiões de clima úmido os sais solúveis originais ou formados pelo intemperismo dos minerais, geralmente são levados pela água para camadas inferiores do solo, alcançando a água subterrânea para ser finalmente transportado para os oceanos. Somente se apresentam solos salinos em regiões úmidas quando são de origem marinha.

4.1. Fatores que favorecem o processo de formação de solos salinos e sódicos.

O desenvolvimento do processo de salinização e sodificação dos solos é favorecido pelos seguintes fatores:

- a) Qualidade da água - O uso de águas salinas acelera o processo.
- b) Profundidade do lençol freático - Quando o lençol freático se encontra a pequenas profundidades, o processo de salinização e sodificação é favorecido pela ascensão capilar dos sais. Este processo é mais rápido em zonas de clima árido onde a evaporação é intensa e as precipitações são baixas.
- c) Drenagem deficiente ou inexistente (associada à ineficiência da irrigação), possibilitando a formação do lençol freático superficial.
- d) Clima - A alta evaporação e reduzida precipitação característica de regiões áridas e semi-áridas impedem a lavagem

dos sais do perfil do solo.

- e) Topografia - Topografias acidentadas e as variações geológicas e edafológicas facilitam a formação de aquíferos confinados e represamentos superficiais que com a influência da evaporação incrementam o processo.

5. CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS COM PROBLEMAS DE SALINIDADE E SODICIDADE.

Uma vez que os sais se tenham acumulado no solo, apresentam grande variabilidade tanto no tempo como no espaço, tornando-se muito difícil a caracterização dos problemas. As variações no tempo são consequência principalmente dos diferentes processos que estão ocorrendo, como a evapotranspiração, salinização, sodificação, lavagem do solo, consumo e/ou acumulação de nutrientes. Ao passo que as variações no espaço, principalmente na superfície são devido a heterogeneidade dos solos, do microrelevo, da aplicação e consumo de água e nutrientes. Sem dúvida, com todos estes fatores que influem no conteúdo total de sais de uma determinada área, estamos obrigados a seguir certas metodologias que assegurem uma boa caracterização.

Para poder caracterizar um solo com problemas de sais e estar em capacidade de tomar decisões acertadas, é indispensável a realização de amostragem de solo com uma metodologia específica de acordo com o tipo de estudo que se pretende efetuar, com base no qual se deve definir a frequência de amostragem, a extensão da área de estudo, o método de amostragem, o tamanho da amostra e o processamento posterior da mesma, que por sua vez estão ligados aos recursos disponíveis, capacidade de trabalho do laboratório de análises e a precisão desejada.

Richards (1954) divide os solos em salinos, salinos-sódicos e sódicos de acordo às características de condutividade elétrica, pH e percentagem de sódio trocável.

- Solos salinos: solos cuja condutividade elétrica do extrato de saturação é maior do que 4 millimhos/cm a 25°C, e a percentagem de sódio trocável é menor do que 15. Geralmente o pH é menor de 8,5. Estes solos correspondem aos tipos descritos por Hilgard e citados por Richards (1955) como solos "Alcali Branco" e aos "Solonchaks" dos autores russos. Es-

tes solos podem, mediante o estabelecimento de uma boa drenagem, voltar novamente a ser solos normais.

- Solos salinos-sódicos: solos cuja condutividade elétrica do extrato de saturação é maior do que 4 millimhos/cm a 25°C, e percentagem de sódio trocável é maior do que 15. Este tipo de solo se forma como resultado dos processos combinados de salinização e sodificação.
- Solos sódicos: aqueles cuja percentagem de sódio trocável é maior do que 15 e a condutividade elétrica do extrato de saturação é menor do que 4 millimhos/cm a 25°C, o pH geralmente varia entre 8,5 e 10. Estes solos correspondem aos chamados "Alcali Negro" por Hilgard e "Solonetz" pelos russos.

Quadro 1. Síntese da classificação segundo Richards (1954).

Solos	C.E. (mmhos/cm)	PST	pH
Normais	< 4 millimhos	< 15	< 8,5
Salinos	> 4 millimhos	< 15	< 8,5
Salinos-sódicos	> 4 millimhos	> 15	< 8,5
Sódicos	< 4 millimhos	> 15	< 8,5

5.1. Determinação das condições em que se apresenta o problema.

As condições de salinidade e sodicidade da área que se deseja estudar pode ser determinada seguindo a seguinte metodologia:

5.1.1. Levantamento e formação de um plano de salinidade e sodicidade aparente.

Este levantamento se realiza mediante a observação dos sintomas apresentados pelas plantas ou pelo cultivo de um modo geral e pelo aspecto que apresentam os solos em sua superfície. Estes sintomas refletem até certo ponto a gravidade do problema em seus distintos graus de afetação e consequentes danos que estão sofrendo os cultivos.

Para auxiliar a realização deste estudo podemos também recorrer ao uso de fotografias aéreas.

Com a informação deste levantamento costuma-se separar os solos segundo a afetação em 5 classes:

1. Sem afetação aparente - sem problema de salinidade ou sodi-
cidade.
2. Ligeiramente afetado - com menos de 20% da área afetada.
3. Solos medianamente afetados - apresentando de 20% a 40% das
áreas com problema.
4. Solos fortemente afetados - apresentando de 40% a 60% das
áreas com problema.
5. Solos muito fortemente afetados - áreas com mais de 60% de
problema.

5.1.2. Levantamento e formação de um plano de salinidade e so- dicidade analisada.

Para realizar este estudo que se constitui na base de informa-
ção para se proceder a forma de recuperação dos solos, necessita-
mos realizar o seguinte:

5.1.2.1. Amostragem do solo

Esta operação é muito importante para o estudo de solos com
problemas de sais. A grande variação e heterogeneidade que carac-
teriza os solos afetados por sais, tem dificultado a padroniza-
ção de uma metodologia ideal de amostragem.

Atualmente, entretanto, tem se usado uma metodologia de amos-
tragem sistemática, que consiste em colocar pontos de amostragem
na intersecção de uma quadrícula cuja equidistância varia com a
área e a finalidade do estudo.

Devido às variações dos sais no solo, as amostragens e as aná-
lises devem ser realizadas no menor tempo possível para que os
resultados sejam de aplicabilidade.

5.1.2.2. Profundidade de amostragem

A amostragem deverá ser feita pelo menos até 90 cm de profun-
didade nas seguintes espessuras:

0	-	30 cm
30	-	60 cm
60	-	90 cm

devendo-se tomar pelo menos 2 kg de solo, colocar em sacos plásticos e etiquetar para posterior identificação em laboratório.

5.1.2.3. Principais determinações químicas e físicas que se devem realizar.

a. Químicas:

- Reação do solo (pH)
- Condutividade elétrica do extrato de saturação (Ce).
- Cátions trocáveis (Ca, Mg, Na e K)
- Porcentagem de sódio trocável
- Cátions e anions solúveis

b. Físicas:

- Textura
- Infiltração
- Densidade aparente e real
- Porosidade
- Constantes de umidade
- Condutividade hidráulica

5.1.2.4. Elaboração do plano de salinidade e sodicidade

Os planos de salinidade e sodicidade têm a vantagem de mostrar graficamente a distribuição de áreas segundo os diferentes graus de afetação.

Com base nos dados químicos para as três profundidades, traça-se mapas de isolinhas químicas para definir as áreas com diferentes graus de problemas, segundo classificação de Richards (1954), seguindo metodologia de Peña (1968-1969). Como exemplo inclui-se a Figura 1 que mostra os problemas de sais do setor 37 do projeto de irrigação de São Gonçalo.

5.1.2.5. Utilização de cores na elaboração dos planos de salinidade e sodicidade.

É de grande utilidade o emprego de cores para identificação dos diferentes tipos de problemas, tanto para o plano de salinidade e sodicidade aparente, como para o plano de salinidade e sodicidade analisada.

Uma vez formados os planos de salinidade e sodicidade aparente e analisada, observa-se através do plano de salinidade e so-

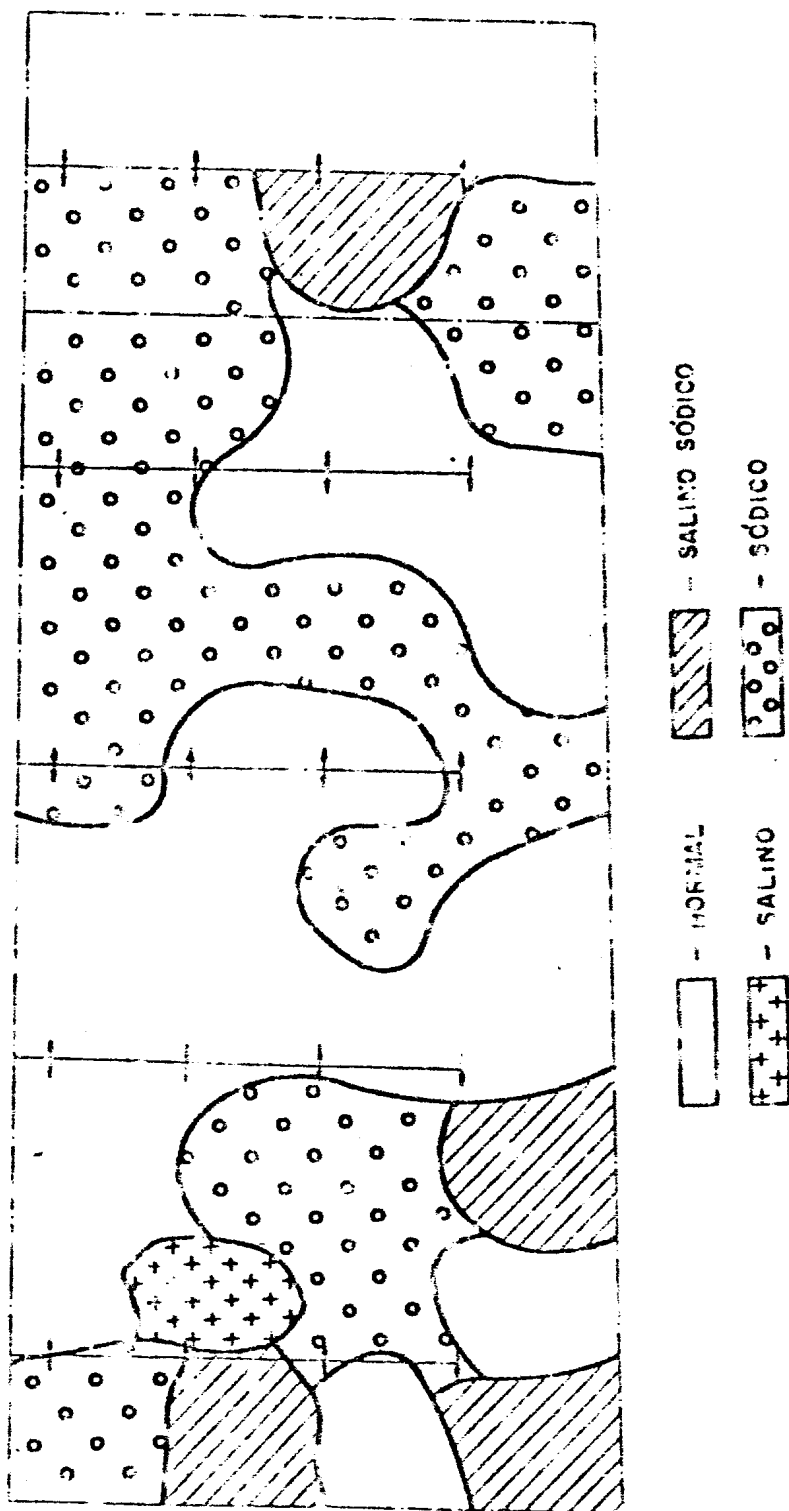


Fig. 1. Problemas de solo no Setor 37 do Projeto de Irrigação de São Gonçalo (extraído de Cordeiro e Millar, 1978).

cidade aparente, o grau de afetação dos cultivos, assim como por comparação com os formados posteriormente se quantifica o avanço ou diminuição do problema ao passo que através do plano de salinidade e sodicidade analisada, observa-se em forma quantitativa a afetação dos solos, sua distribuição e o tipo de sal. Este tipo de plano serve para se ter uma idéia precisa do tipo de afetação e da intensidade do problema, tanto pelo conteúdo de sal como por sua distribuição no perfil do solo.

6. EFEITOS DE ALTOS CONTEÚDOS DE SAIS NO SOLO E NA PLANTA

6.1. No solo - Produzem variações no estado físico e químico do solo da seguinte forma:

- a. Diminuição da disponibilidade de água no solo, através da elevação da tensão osmótica na solução do solo.
- b. Na presença do sódio, os solos se desfloculam modificando o estado de agregação das partículas dando origem a mudança na estrutura reduzindo a aeração, a infiltração e a condutividade hidráulica a limites desfavoráveis para as plantas.
- c. Produzem variações desfavoráveis no pH do solo, o que reduz a solubilidade dos nutrientes ou consequente baixa na disponibilidade para as plantas.

6.2. Na planta

Quando as plantas se desenvolvem sob condições de salinidade e sodicidade um dos sintomas mais característicos é a inibição do crescimento produzido pelos sais, o qual se manifesta por uma marcada desuniformidade, apresentando manchas desnudas, plantas definhadas e uma grande variação no crescimento geral o que resulta em uma baixa produção por unidade de área.

A acumulação excessiva de sais solúveis na zona radicular dos cultivos, é um fator limitante da produção na agricultura sob irrigação. A salinidade e sodicidade dos solos produz condições extremamente desfavoráveis para o desenvolvimento das plantas.

Sob condições de salinidade, um dos principais problemas é o de se obter uma porcentagem de germinação adequada. Este aspecto

deve ser considerado, já que se a porcentagem da germinação for baixa o cultivo pode fracassar. A tolerância dos cultivos a concentrações de sais durante a germinação é geralmente menor que em outros estágios de crescimento.

Para explicar os diferentes aspectos negativos dos sais solúveis do solo sobre os cultivos, se tem proposto diferentes teorias das quais as que mais se destacam são as seguintes:

- a. Teoria da disponibilidade de água;
- b. Teoria da inibição osmótica ou ajuste osmótico;
- c. Teoria da toxicidade específica.

a. Disponibilidade de água - De acordo com esta teoria os sais do solo diminuem a energia livre de água (tem mais soluto) o que por sua vez reduz a disponibilidade de água para as plantas, afetando o crescimento. Os sais aumentam a pressão osmótica da solução do solo fazendo com que a disponibilidade de água para as plantas diminua, provocando deficiência de água, o que afeta seu crescimento.

b. Inibição osmótica ou ajuste osmótico - Esta teoria estabelece que o crescimento das plantas sob condições de salinidade se vê seriamente afetado devido a que a planta precisa realizar um ajuste osmótico para manter gradiente favorável em suas células para que lhe permita extrair água do solo. Ao fazer este ajuste, a planta gasta energia, a qual em condições normais usariam no crescimento. Por esta razão, em condições salinas as plantas não crescem. O ajuste osmótico consiste em aumentar a concentração do suco celular a um grau tal que seja maior que a concentração da solução do solo.

c. Toxicidade específica - Esta teoria considera que os efeitos tóxicos dos sais sobre as plantas, se realiza via metabolismo, por trocas causadas na atividade metabólica que produzem a acumulação de substâncias intermediárias, que não se encontram em plantas que crescem em condições normais. O efeito, neste caso, é específico, tendo origem químico-biológica, mais do que física.

6.2.1. Efeitos diretos fora da planta

- a. Aumentam a F.O. dos solos, o que reduz a umidade aproveitável;

- b. Reduzem a velocidade de absorção de água e de nutrientes. Consequência do item anterior;
- c. Criam antagonismos e toxicidade;
- d. Retardam ou modificam a germinação;
- e. Variam o pH dos solos reduzindo a solubilidade de outros nutrientes, diminuindo consequentemente sua disponibilidade;
- f. Pode elevar a solubilidade de alguns elementos a níveis tóxicos para as plantas.

6.2.2. Efeitos dos sais dentro das plantas

Os diferentes efeitos dos sais dentro das plantas podem inibir, retardar ou impedir seu desenvolvimento ocasionando um detrimento em sua qualidade e produtividade, podendo classificar-se em:

Efeitos tóxicos, antagonicos, iônicos, osmóticos e fisiológicos.

Efeitos tóxicos: São todos aqueles que se originam da acumulação de uma quantidade de um certo sal dentro da planta acima dos limites permissíveis. O caráter e grau de toxicidade dependerá das características fisiológicas e biológicas da planta e do tipo e quantidade de sal no substrato.

Efeitos antagonicos. São todos aqueles que criam uma competição e seletividade para certas reações ou funções dentro da planta.

Efeitos iônicos: São todos aqueles que se originam devido às características eletroquímicas dos ions.

Efeitos osmóticos: São todos aqueles que intervêm nas mudanças osmóticas que ocorrem dentro da planta.

Efeitos fisiológicos: São aqueles que originam qualquer mudança fisiológica dentro da planta.

7. CLASSIFICAÇÃO DOS CULTIVOS SEGUNDO SUA TOLERÂNCIA AOS SAIS E A PRESENÇA DE IONS TÓXICOS.

Geralmente as plantas têm comportamentos diferentes diante dos problemas de salinidade e sodicidade e este comportamento depende do tipo de afetação (excesso de sais solúveis, conteúdo de

sódio e presença de ions tóxicos) e do grau de afetação. De acordo com este critério se tem feito amplos estudos que permitem classificar os cultivos segundo estes comportamentos.

Nos apêndices 1, 2 e 3, mostra-se a classificação de cultivos de acordo com sua tolerância aos sais e ions tóxicos mais importantes.

8. PREVENÇÃO DOS PROBLEMAS DE SAIS EM TERRENOS IRRIGADOS.

Segundo Palácios (1969) e Armendariz (1975) as medidas de prevenção dos problemas de sais podem dividir-se em dois grupos:

- Medidas de prevenção a nível de grandes áreas, podendo incluir todo perímetro de irrigação.
- Medidas de manejo de solo e água a nível de parcela.

Na prevenção dos problemas de sais, tanto a nível de distrito como a nível de parcela, podem ser distinguidas as seguintes etapas:

- a. Determinação ou diagnóstico do problema;
- b. Análises das causas e hierarquização das mesmas, por ordem de importância;
- c. Aplicação de medidas corretivas segundo a ordem estabelecida.

Para evitar o aparecimento do problema, a gerência ou a administração do perímetro irrigado deve concentrar sua ação no conhecimento detalhado das duas fontes potenciais do problema, que são o solo e a água de irrigação.

Se os solos são livres de sal e a água de irrigação é de boa qualidade, a atuação neste caso deve se concentrar em:

- Obter que o sistema de distribuição funcione com o mínimo de perdas por infiltração. Sendo necessário, deve-se impermeabilizar toda a rede, até o ponto de entrega da água aos cultivos, melhorando a irrigação, fator muito importante na prevenção da salinidade;

- Dispor de um sistema de drenagem superficial e subterrâneo com capacidade para retirar em pouco tempo o total de água em excesso que estará integrada pelas perdas no sistema de distribuição, escoamento superficial e alimentação de áreas adjacentes

mais altas;

- Manter um sistema regular de medidas de água em distintos pontos do sistema de distribuição e no sistema de drenagem. A análise anual destes dados permite conhecer o balanço de água e sua possível acumulação no perfil do solo;

- Manter uma rede de poços de observação do nível freático com medições regulares de sua profundidade, para indicar a situação real;

- Se existem problemas de solos, como infiltração muito baixa, deve-se tratar de usar práticas de manejo capazes de amenizar o problema;

- Se existe problema com a qualidade da água de irrigação, como alto conteúdo de sais, as soluções compreendem os seguintes pontos:

- a. Dispor de um sistema de drenagem interno eficiente;

- b. Usar de cada irrigação um volume de água adicional para lavar os sais concentrados em torno do sistema radicular das plantas em irrigações anteriores e se existem ambos problemas, deve-se adotar medidas combinadas de manejo capazes de reduzir seus efeitos.

3. RECUPERAÇÃO DE SOLOS SALINOS E SÓDICOS

Palácios (1969), definiu duas fases na recuperação de solos:

- a. Recuperação inicial dos solos, principalmente mediante lavagens, completadas com aplicações de melhoradores químicos e construção de drenagem cuja finalidade é expor os solos a condições de serem cultivados economicamente;

- b. Manutenção de um balanço favorável de sais mediante a adoção de medidas específicas de prevenção de salinidade. O aspecto importante destas medidas é assegurar a saída das águas de lavagens e posterior sobre-irrigação, para fora dos limites do perímetro, através de drenagem.

No processo de recuperação do solo podem distinguir-se, por sua vez, as seguintes fases:

- Limitação das áreas afetadas e determinação do tipo e grau de afetação salina (solos salinos,, salino-sódicos ou sódicos e

valores específicos da condutividade elétrica, tipo de ânions e cátions, etc);

- Determinação das fontes de sal (água freática e água de irrigação) e das condições de drenagem, (profundidade do lençol freático e suas variações com o tempo);

- Estudo da conveniência e possibilidade econômica da recuperação das áreas com diferentes tipos e grau de afetação salina. Do resultado desse estudo, deve-se definir a ordem de recuperação das diferentes áreas afetadas;

- Estudo teórico das necessidades de melhoradores e de lâminas de lavagens para finalmente formular recomendações sobre a metodologia da recuperação dos solos;

- Avaliação dos resultados que se tenha obtido para fazer as correções correspondentes e recomendações sobre a recuperação dos solos.

No caso da recuperação de solos salinos se requer somente a e liminação de sais solúveis do perfil num grau suficiente e uma a deguada profundidade para permitir o desenvolvimento das c ulturas. A única forma prática de se eliminar os sais solúveis é por l avagem, transportando os sais solúveis a horizontes abaixo da z ona radicular pela aplicação de suficientes quantidades de água.

9.1. Práticas de manejo

Algumas das práticas de manejo mais comuns para solos afetados por sais, são as seguintes:

- Utilização de plantas tolerantes;
- Aplicação de irrigações frequentes de maneira a manter a pressão osmótica do solo tão baixa quanto possível. Isso não deve no entanto ser excessivo, pois os cultivos também podem sofrer pela excessiva quantidade de água, falta de aeração e perda de nutrientes por lixiviação;
- Tratar de conseguir uma distribuição uniforme de água nivelando adequadamente os campos e usando os métodos de irrigação mais eficientes;
- Quando se usa irrigação por sulcos, semear as sementes longe da zona de maior acumulação de sais que é a parte mais alta do camalhão. Assim sendo deve-se semear dos lados dos sulcos.

Thorne e Peterson (1964) considerando a menor tolerância das plantas ao sal durante o período de germinação, recomendam que se faça a sementeira durante estações úmidas ou irrigar com frequência, até que o cultivo esteja estabelecido. Recomendam, ainda, a seleção de cultivos tolerantes, métodos de irrigação adequados.

9.2. Métodos de recuperação

Existem diferentes métodos de recuperação de solos com problemas de sais, sendo mais comuns os seguintes: Métodos físicos, biológicos, elétricos, químicos e hidrotécnicos.

Todos esses métodos têm como objetivos principais, melhorar a permeabilidade dos solos e permitir a troca de sódio por cálcio no complexo de troca.

A seleção do método a ser utilizado requer o conhecimento das características estruturais dos solos, do tipo e classe de sais, das condições físicas e químicas do perfil, assim como da capacidade natural de drenagem.

9.2.1. Métodos físicos

Estes métodos consistem em dar um tratamento mecânico ao solo, como subsolagem, aração profunda, aplicação de areia e até inversão do perfil, tudo isto com a finalidade de romper capas endurecidas para melhorar a permeabilidade do solo.

9.2.2. Métodos biológicos

Estes métodos consistem no uso de melhoradores orgânicos e plantas tolerantes aos sais para propiciar uma melhora da permeabilidade do solo.

Como se sabe, uma das funções dos microorganismos do solo, é a decomposição da matéria orgânica, em cujo processo libera uma série de compostos orgânicos que agregam o solo aumentando sua permeabilidade. Por outro lado, durante o processo de decomposição da matéria orgânica, os microorganismos do solo liberam CO_2 o qual, ao se combinar com água, forma ácido carbonico, que pode solubilizar sais de cálcio precipitados no solo. Outrossim, quando é possível o estabelecimento de plantas tolerantes cujas raízes deixam pequenos condutos pelos quais a água circula melhor no solo.

9.2.3. Métodos elétricos

Estes métodos têm mostrado a nível experimental que é possível recuperar solos salinizados usando energia elétrica, porém aos custos atuais torna-se proibitivo a recuperação de solos agrícolas por este método.

9.2.4. Métodos químicos

Este método é usado particularmente na recuperação de solos sódicos e ocasionalmente em solos salino-sódicos e consiste em incorporar substâncias ao solo com a finalidade de solubilizar o cálcio existente no solo ou agregar diretamente em forma solúvel com o objetivo de substituir o sódio por cálcio no complexo de troca.

Existem várias substâncias que se usam como corretivos de solos sódicos e salino-sódicos. A seleção de uma dessas substâncias dependerá de: características do solo; velocidade de recuperação desejada e limitações econômicas.

Os principais corretivos usados para recuperação dos solos são os seguintes:

- Sais de cálcio (cloreto de cálcio e sulfato de cálcio);
- Ácido sulfúrico;
- Formadores de ácido: enxofre, sulfato de ferro, e sulfato de alumínio.

10. SELEÇÃO DO TIPO DE CORRETIVO

As características dos solos sódicos e salino-sódicos mais importantes para seleção do corretivo são: o conteúdo de carbonatos de cálcio e o pH. Com base nestas características se podem estabelecer três grupos de solos:

1. Solos que contêm carbonato de cálcio;
2. Solos que não contêm carbonato de cálcio e cujo pH é maior que 7,5;
3. Solos que não contêm carbonatos de cálcio e cujo pH é menor que 7,5.

Qualquer sal solúvel de cálcio, ácidos e substâncias formadoras de ácidos podem ser utilizados nos solos do grupo 1.

Nos solos do grupo 2 não é recomendável usar ácidos ou substâncias formadoras de ácidos.

Nos solos do grupo 3 se pode usar qualquer sal solúvel de cálcio.

10.1 Velocidade de reação dos diferentes corretivos

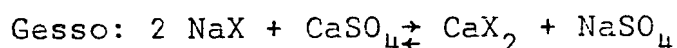
Os ácidos reagem imediatamente ao entrar em contato com o solo. A velocidade de reação dos sais solúveis de cálcio depende da solubilidade dos mesmos sendo muito mais solúvel CaCl_2 do que gesso.

A solubilidade do gesso é bastante alterada, dependendo do grau de finura das partículas. Como as reações no solo são reações de superfície, quanto mais pulverizado estiver o melhorador mais rapidamente ocorrem as reações. O conteúdo de umidade do solo, a forma de aplicação e a pureza do produto também tem influência na velocidade de reação.

As substâncias formadoras de ácido têm reação lenta, particularmente o enxôfre, já que primeiro tem que formar ácido sulfúrico através de uma oxidação microbiológica do enxôfre elementar.

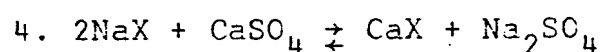
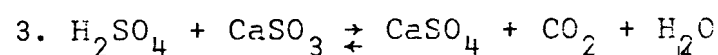
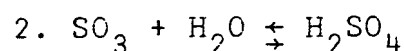
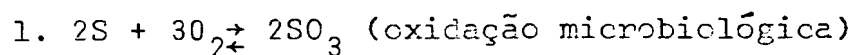
10.2. Reações químicas de alguns corretivos no solo.

1. Solos que contêm carbonato de cálcio



X representa o complexo de troca.

Enxôfre:



10.3 Cálculo da quantidade de corretivo

As quantidades de corretivo a serem aplicados se calculam com base na capacidade de troca de cations do solo, da percentagem de sódio trocável (PST) que se deseja substituir, da profundidade e superfície do solo a recuperar, com o objetivo de substituir uma quantidade de sódio que seja suficiente para baixar a PST a tal limite que assegure o solo adquirir boas condições estruturais.

A necessidade de corretivo pode ser calculada com a seguinte fórmula:

$$N.C. = \left(\frac{PST_i - PST_f}{100} \right) CTC$$

donde:

N.C. = Necessidades de corretivo por cada 100 gramas de solo.

PST_i = Porcentagem de sódio trocável inicial.

PST_f = Porcentagem de sódio trocável final que se deseja deixar no solo.

CTC = é a capacidade de troca de cations, em miliequivalentes por 100 g de solo.

Exemplo:

Desejamos recuperar um solo que tem as seguintes características:

Porcentagem de sódio trocável inicial (PST_i) = 40

Porcentagem de sódio trocável final (desejada) (PST_f) = 10

Capacidade de troca de cations..... 25 me, 100 g de solo

$$N.C. = \left(\frac{40-10}{100} \right) 25 = 7.5 \text{ me/100g}$$

Se desejamos expressar esta quantidade por hectare, torna-se necessário conhecer a densidade aparente do solo e a profundidade a ser recuperada.

Considerando que o solo do exemplo anterior tenha uma densidade aparente de 1.300 kg/m³ e que se deseja recuperar uma profundidade de 30 cm.

O volume total do solo será:

$$10.000 \text{ m}^2/\text{ha} \times 0,3 \text{ m} = 3.000 \text{ m}^3/\text{ha}$$

O peso total do solo será:

$$3.000 \text{ m}^3/\text{ha} \times 1.300 \text{ kg/m}^3 = 3.900.000 \text{ kg/ha}$$

Se em 100 g de solo temos que substituir 7.5 me em 1 kg temos que substituir 75 me e em 1 ha a 30 cm de profundidade temos que substituir $3.9 \times 10^6 \times 75 = 292.5 \times 10^6$ me/ha.

Esta é a quantidade de corretivo requerida em miliequivalente e que pode ser suprida com qualquer corretivo que seja selecionado com base no tipo de solo e custo do corretivo.

No Quadro 3 mostra-se a quantidade de miliequivalentes por tonelada de diferentes melhoradores, considerando que os mesmos têm 100% de pureza.

Quadro 3. Miliequivalentes por tonelada de diferentes melhoradores químicos considerando uma pureza de 100%.

Corretivo	Milliequivalentes por ton.
Enxofre	62.5×10^6
Gesso	11.6×10^6
Cloreto de cálcio	18.0×10^6
Ácido sulfúrico	20.4×10^6
Sulfato de ferro	7.2×10^6
Sulfato de alumínio	9.0×10^6

Como se observa no Quadro 1, a mesma quantidade em peso de diferentes melhoradores, produziu diferentes quantidades de miliequivalentes.

Para satisfazer as necessidades de corretivo do solo do exemplo anterior, é necessário a aplicação de $292.5/62.5 = 4.68$ toneladas de enxofre ou com $292.5/11.6 = 25.1$ toneladas de gesso por hectare.

10.4 Forma de aplicação do corretivo

Uma vez determinada a quantidade necessária e o tipo do corretivo, torna-se necessário seguir uma metodologia de aplicação, dependendo do estado do corretivo. Como se sabe os corretivos podem ser líquidos como o ácido sulfúrico e sólidos como o gesso, enxofre, sulfatos de ferro e sulfato de alumínio.

Os melhoradores sólidos se devem aplicar diretamente no solo, ao passo que o ácido sulfúrico se aplica através da água de irrigação.

10.5 Cálculo do volume de água necessário para dissolver o corretivo.

Antes da aplicação do corretivo no solo devemos saber se podemos contar com volumes necessários para dissolvê-lo. Este aspecto é importante ser considerado porque muitas vezes se aplica o corretivo ao solo e não se conta com água necessária para dissolvê-lo fazendo com que os resultados obtidos não sejam os esperados.

Para evitar este problema, torna-se necessário calcular o volume de água necessário para dissolver o corretivo. Se houver limitação de água, só se deve aplicar a quantidade de corretivo correspondente ao que se pode dissolver com o volume de água disponível.

Exemplo:

No problema anterior, para reduzir o PST de 40 para 10 em 1 ha a 30 cm de profundidade são necessários 292.5×10^6 miliequivalentes. Supondo-se que o corretivo que se deseja utilizar seja o gesso comercial com 70% de pureza e uma solubilidade de 30 me/l a 20°C.

O volume de água necessário para dissolver o gesso, pode ser calculado usando-se a seguinte equação:

$$VAN = \frac{NCH}{SC \times Pu}$$

donde:

VAN = Volume de água necessária

NCH = Necessidade de corretivo por hectare, em me/ha.

SC = Solubilidade do corretivo, em me/l

Pu = Pureza do corretivo

$$VAN = \frac{292.5 \times 10^6}{30 \times 0.7} = 13.93 \times 10^6 \text{ l/ha}$$

Se dividirmos $13.93 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ha}$ por 10.000 m^2 (que tem um hectare) e multiplicarmos por 100 (para transformar em cm) daria a lâmina necessária para dissolver o corretivo, que seria 139,3 cm.

11. CÁLCULO DA LÂMINA DE LAVAGEM

Para o caso dos solos salinos, a recuperação se realiza unicamente mediante a aplicação de água cujo volume se calcula com base na quantidade de sal que se deseja eliminar de uma profundidade determinada. Para que a lavagem seja efetiva, torna-se necessário que a água passe através do solo e que exista drenagem adequada para sua eliminação.

Existem várias fórmulas empíricas para determinar as lâminas de lavagem suficientes para diminuir a salinidade do solo até o nível desejado.

Segundo Palácios (1969) das fórmulas empíricas existentes a mais indicada é a fórmula proposta por Volobuyev, por apresentar resultados mais aproximados aos obtidos em campo e laboratório.

A fórmula de Volobuyev tem a seguinte expressão:

$$L = \alpha \log \frac{CE_i}{CE_f}$$

onde:

L = Lâmina de água em cm necessária para lavar um metro de profundidade de solo.

CE_i = Condutividade elétrica inicial do extrato de saturação do solo.

CE_f = Condutividade elétrica final desejada.

log = Logaritmo decimal.

α = Coeficiente cujo valor depende do conteúdo de cloretos e da textura do solo. Podem ser tirados do quadro 2.

Quadro 2. Conteúdo do cloreto em % e textura do solo utilizados na obtenção do coeficiente α proposto por Volobuyev.

Textura	Conteúdo de cloretos em %			
	60 - 40	40 - 20	20 - 10	< 10
Pesada	122	132	142	176
Média	92	102	112	148
Ligeira	62	72	82	118

CEr = condutividade elétrica da água de lavagem em mmhos/cm a 25°.

CEf = condutividade elétrica final desejada.

CEi = condutividade elétrica inicial.

ao usar esta fórmula deve-se ter o cuidado de que a condutividade elétrica final (CEf) não seja menor de que a condutividade elétrica da água de lavagem (CEr) já que o máximo que se pode lavar um solo, é um valor igual à condutividade elétrica da água que será utilizada para tal fim.

Esta fórmula, elaborada com um procedimento matemático, é similar à expressão de Volobuyev, porém tem a vantagem de que, ao coeficiente α estão integrados fatores como: a qualidade química da água, as condições de salinidade do solo, a tolerância do cultivo aos sais e a profundidade de lavagem.

Exemplo do uso da metodologia:

Um solo que apresenta as seguintes características:

Condutividade elétrica inicial do solo: 14 mmhos/cm.

Profundidade que se deseja recuperar: 30 cm.

Condutividade elétrica da água e irrigação: 1.6 mmhos/cm.

Condutividade elétrica desejada ou permissível: 6 mmhos/cm.

Substituindo-se os valores tem-se:

$$L = 9.0 (30)^{0.75} \left(\frac{70-1.6}{14-1.6} \right)^{0.3} \log \frac{14}{6}$$

$$L = 9 \times 12.82 \times 1.67 \times 0.37 = 71.0 \text{ cm}$$

A água é mais eficiente na eliminação dos sais quando se fraciona a lâmina por aplicar em forma intermitente, sem deixar que ocorra processo de redistribuição de sais, que quando se aplica toda de uma só vez.

12. QUALIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

A qualidade da água do ponto de vista agrícola, é um termo que se utiliza para indicar a conveniência e limitação de seu emprego para fins de irrigação.

Sem dúvida, a definição favorável ou contrária a utilização de uma água para fins de irrigação, requer não somente ter pre-

sente as condições de caráter químico que apresenta a água no momento em que é analisada como também as características físico-químicas dos solos em que vão ser aplicadas, assim como a susceptibilidade e resistência das culturas que vão ser irrigadas.

Segundo Peña (1972) a classificação e uso de água para fins de irrigação se julgam tendo em conta os seguintes aspectos:

- a) Características químicas - A qualidade da água depende dos constituintes químicos e de seu perigo potencial nos efeitos diretos e indiretos sobre os cultivos.
- b) Condições agronômicas - Uma vez obtidos no laboratório as características químicas da água para irrigação, a aplicação dela deve estar sujeita a susceptibilidade de danos que possa ocasionar os conteúdos de sais nos cultivos a serem irrigados, os quais se deve medir relacionando-se os valores de Condutividade Elétrica do extrato de saturação com os danos que ocasionam na redução dos rendimentos das colheitas. O conteúdo de sais em uma água de irrigação ao tomar parte da solução do solo, aumenta o valor de Condutividade Elétrica do extrato de saturação aproximadamente 5 vezes.
- c) Condições edafológicas - Quando as águas de irrigação apresentam conteúdos de sais que podem ser prejudiciais aos cultivos, seu dano pode ser de caráter crescente se os sais se concentram na espessura do solo onde se desenvolve o sistema radicular das plantas. Esta condição se pode controlar aplicando-se além da lâmina de água requerida pela irrigação, uma outra quantidade de água adicional ou lâmina de sobre irrigação que deverá ser em quantidade suficiente para arrastar para fora da camada radicular as possíveis concentrações salinas.

Toda água usada na irrigação contém sais dissolvidos. O efeito destes sais sobre as características químicas e físicas de solos irrigados é de grande importância para manutenção da sua capacidade produtiva.

Águas de rios, barragens e poços contêm de 150 a mais de 1.500 mg/l de sal (0,234 a 2,34 mmhos/cm) e valores de RAS até mais de 30, variando assim de C_1 a C_4 e de S_1 a S_4 , em todas as combinações possíveis (Figura 1) abrangendo desde águas que podem ser usadas para a maioria das culturas e solos a águas que não são a-

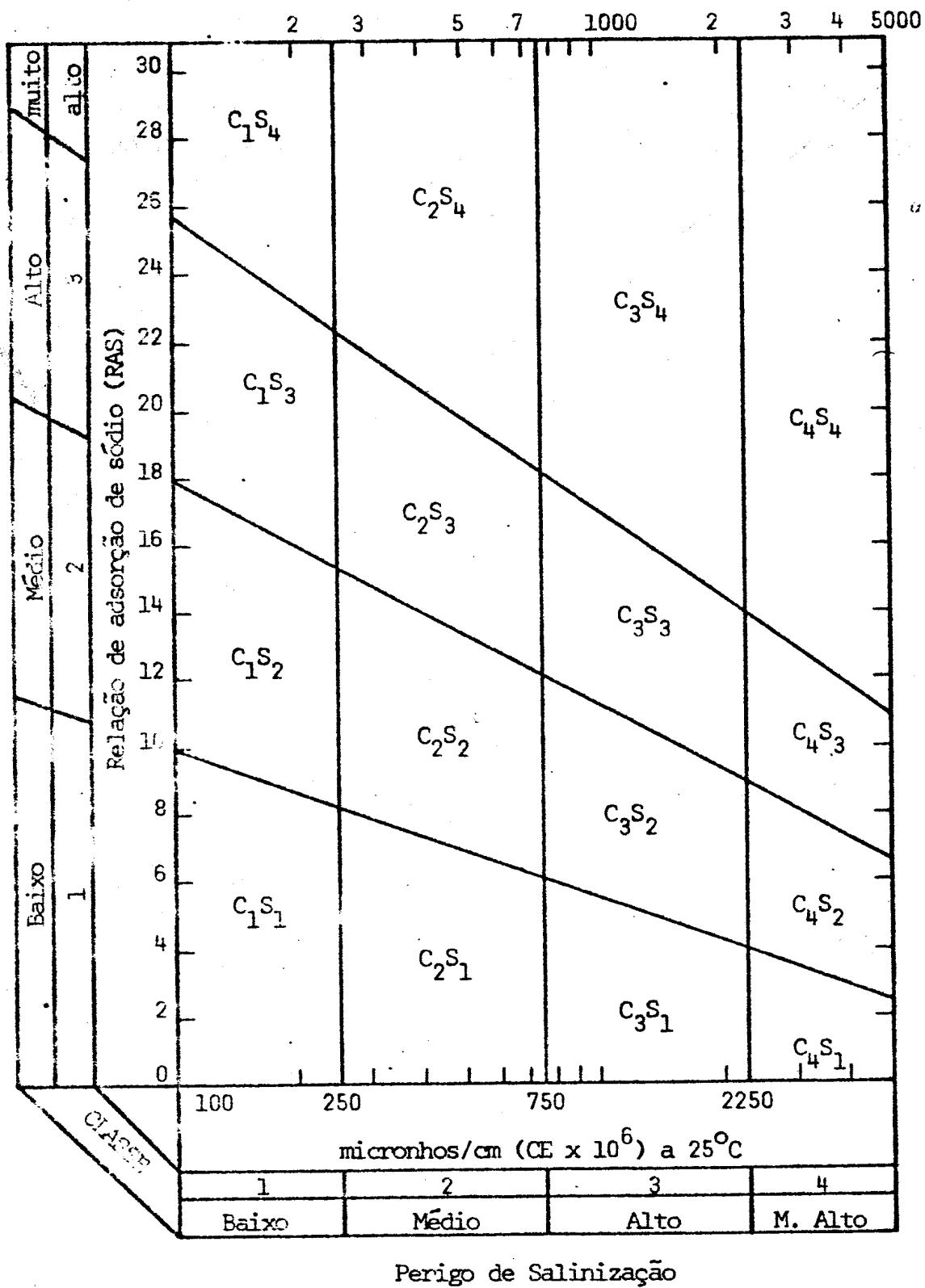


FIG. 2. Diagrama para a classificação de águas para irrigação (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954).

propriedades para irrigação, em condições normais (Richards, 1954).

Em geral as águas que contêm menos de 600 mg/l de sais totais, podem ser usados para irrigação de quase todos os cultivos. Águas com concentração salina entre 500 e 1.500 mg/l, têm sido usadas na irrigação de plantas sensíveis a sais em solos de boa drenagem interna ou providos de sistema de drenagem. As águas que contêm de 1.500 a 2.000 mg/l, podem ser usadas na irrigação de culturas moderadamente tolerantes se uma maior frequência de irrigação for adotada. Entretanto águas que contêm de 3.000 a 3.500 mg/l só poderão produzir rendimentos com culturas altamente tolerantes (1974).

Os ions predominantemente encontrados nas águas de irrigação são: Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , HCO_3^- , SO_4^{--} e Cl^- . A proporção relativa desses ions é muito importante, no que diz respeito ao uso da água para irrigação, pois dependendo da natureza do solo, como textura, estrutura e permeabilidade, determinada água poderá ser utilizada ou não (Liyerly e Longeneckes, 1962).

12.1. Roteiro para interpretação da qualidade de água para irrigação.

Segundo Richards (1954) ao se classificar água para irrigação, se supõe que elas vão ser usadas sob condições médias com respeito a textura do solo, velocidade de infiltração, drenagem, quantidade de água usada, clima e finalmente a tolerância dos cultivos aos sais. Desvios consideráveis do valor médio de qualquer uma destas variáveis, pode tornar inseguro o uso de uma água que sob condições médias seria de boa qualidade e ao inverso, pode induzir a se considerar uma água como boa quando sob condições médias seria de qualidade duvidosa. Estes aspectos devem ser considerados quando se trata de classificação de água para irrigação.

No Quadro 4, observa-se dados de algumas análises da água de irrigação do projeto de irrigação de São Gonçalo, realizados durante o ano de 1980. Da análise média se conclui que a água é de baixo conteúdo de sais, todavia os sais presentes consistem na maior parte de bicarbonato de cálcio e magnésio. Ao concentrar-se esta água no solo, como resultado do uso da água por evapotranspiração, pode haver tendência de precipitar-se carbonato de cálcio e magnésio, aumentando assim a relativa concentração de sódio (Cordeiro et al, 1982).

Quadro 4. Análise da água de irrigação utilizada no Projeto São Gongalo (extraído de Cordeiro et al, 1982).

Data 1980	Canal	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cátions					ânions			CE mmhos/cm	RAS	RAS ajustado
						Soma	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Soma	pH				
Janeiro	Norte	0,9	0,6	0,81	0,14	2,45	0	1,85	0	0,85	2,70	7,4	0,28			
	Sul	0,9	0,6	0,87	0,24	2,61	0	1,90	0	0,95	2,85	6,8	0,31			
Fevereiro	Norte	1,1	0,9	0,20	0,61	2,81	0	1,70	0,03	0,60	2,33	7,1	0,21			
	Sul	1,0	0,7	0,20	0,60	2,50	0	1,75	0,03	0,70	2,48	7,1	0,21			
Julho	Norte	1,0	0,4	0,59	0,15	2,14	0	1,75	0,07	0,50	2,32	7,2	0,24			
	Sul	1,0	0,6	0,58	0,15	2,33	0	1,80	0,08	0,50	2,38	7,1	0,23			
Agosto	Norte	2,0	0,7	1,02	0,48	4,80	0	2,95	0,03	2,00	4,98	6,7	0,53			
	Sul	2,4	1,2	1,10	0,55	5,25	0	2,80	0,03	2,15	4,98	6,3	0,61			
Média		1,36	0,71	0,67	0,37	3,11	0	2,06	0,03	1,03	3,13	7,0	0,33	0,66	0,99	
a) Conc. 5 vezes		(6,8)	(3,6)	3,4	1,9	(15,6)	0	(10,3)	0,15	5,2	(15,7)		(1,65)	(1,49)		
b) Conc. 5 X com precipitação																
(estimada)		4,3		3,4	1,9	9,6		4,2	0,15	5,2	9,55		0,8	2,3		
c) Conc. 10 vezes		(13,5)	(7,1)	6,7	3,7	(31,1)	0	(20,6)	0,3	10,3	(31,3)		(3,3)	(2,1)		
d) Conc. 10 X com precipitação																
(estimada)		4,5		6,7	3,7	14,9		4,4	0,3	10,3	15,0		1,3	4,5		

Classificando-se esta água segundo as normas estabelecidas no manual 60 do USDA (Richards, 1954) e através do uso do diagrama para classificação de água para irrigação mostrado na Figura 2 que está baseado na condutividade elétrica em micromhos por centímetros e na relação de adsorção de sódio (RAS) que é dado pela seguinte expressão:

$$RAS = \frac{Na^+}{\frac{\sqrt{Ca^{++} + Mg^{++}}}{2}}$$

e utilizando-se ainda o termo "Carbonato de Sódio Residual" (CSR) que é dado pela seguinte expressão:

$$CSR = (CO_3^{--} - HCO_3^-) - (Ca^{++} + Mg^{++})$$

temos: CE = 0,33 mmhos, RAS = 0,66 e CSR = 2,6 - (1,36 + 0,71) = 0 água de classe C₂ S₁ com ausência de carbonato de sódio residual, sendo considerada a boa qualidade para irrigação.

Classificando-se a água segundo as novas normas da FAO (Ayers e Westcot 1976) temos: CE=0,33mmhos e RAS ajust.=0,99 concluímos que é improvável esta água causar problemas de alta concentração de sais solúveis.

Classificando-se ainda a água segundo o sistema de Van Der Molen (1973) considerando a precipitação de carbonato de cálcio e magnésio ao concentrar-se a água dentro do solo pelo efeito do consumo de água pelas plantas, temos ao concentrar a água cinco vezes as concentrações indicadas na linha a do Quadro 4 e estimando a concentração de Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺ e HCO₃⁻ que fica em solução depois de precipitar-se parte do Ca⁺⁺ e Mg⁺⁺ como carbonatos através do uso de monograma dado por Van Der Molen, obtemos as concentrações tal como indicado na linha b. Nota-se que a CE diminui a 0,8 e o valor RAS aumenta a 2,3 ambos valores sem perigo nenhum para as condições do solo. Ainda que se produza uma concentração de dez vezes temos as concentrações antes e depois da precipitação de carbonatos de cálcio e magnésio tal como indicado nas linhas c e d do Quadro 4, concluindo-se que tanto a CE de 1,3 mmhos como o valor RAS de 4,5 não chegam entretanto a valores críticos, o que leva a conclusão de que a composição dos sais dissolvidos na água de irrigação não causam uma situação perigosa com respeito a sodificação do solo. ~~ouca de desenvolvimento de~~

tas concentrações de sais solúveis, sempre que haja uma pequena fração da água aplicada passando através do perfil do solo e drenando-se.

4.11

13. BIBLIOGRAFIA

- ARITA ARMENDARIZ, C. Problema actual de ensalitramiento en los distrito de riego. In: MÉXICO. Secretaria de Recursos Hidraulicos. Salinidade de los suelos y Calidad del Agua de Riego. México, 1976. p. 7-34 (Memorandum Técnico 351).
- AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W. Water quality for Agriculture. Rome, FAO. 1976. 97 p. (FAO Irrigation and Drainage paper 29).
- BOLETIN DEL COMITE DIRECTIVO AGRICOLA DEL DISTRITO DE RIEGO DEL RIO YAQUI. Boletin Técnico nº 5, Sonora, 10 (32) mayo-julio, 1972.
- CORDEIRO, G.C. Caracterização dos problemas de sais dos solos irrigados do projeto São Gonçalo. Campina Grande, UFPb. Centro de Ciências e Tecnologia, 1977. 108 p. (Tese M.S.).
- ISRAELSEN, O.W. & HANSEN, V.E. Principios y aplicaciones del riego. 2 ed. Barcelona, Revesté, 1975. 397 p.
- KOVDA, V.A. El sistema de drenaje en la lucha contra la salinidad de tierras irrigadas. In: ACADEMIA DE CIÊNCIAS DE LA URSS. Instituto de suelos v.v. Dukuchaev. La aplicacion del drenaje en la recuperacion de suelos salinos. Mexico, 1964, 244 p.
- LYERLY, P.J. e LONGENNECKER, D.E. Salinity control in irrigation Agriculture. College Station, Tex. Agric. Exp. Sta., Bul. 876. 19 p.
- MOLEN, W.H. Van Der. Salt balance and leaching requirement. In: Internacional Institute For Land Reclamation And Improvement, Wageningen, Netherlands. Drainage principles and applications; theories of field drainage and Watershed runoff. Wageningen, 1973. v. 2, cap. 9, p. 61-100. (ILRI Publication 16).
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, Washington, DC. Irrigation with saline water. In: _____. More Water for arid lands; promising technologies and research opportunities. Washington, 1974. Cap. 3, p. 38-44.
- 38-44.

PALACIOS, V.C. Apuntos sobre alguns problemas de drenaje y en-
salitramiento de terrenos agricolas. Chapingo, Mexico, Escue-
la Nacional de Agricultura, Colégio de Postgraduados 1969.
244 p.

PEÑA, I. de la. Calidad de las aguas de riego, Obregón, Son., Se-
cretaria de Recursos Hidraulicos, Distrito de Riego del Rio"
Yaqui, 1972. 33 p. (Boletim Técnico 5).

PIZARRO, F. Drenaje agricola y recuperación de suelos salinos.
Fortaleza, SUDENE/DNOCS, 1976. 466 p.

RICHARDS, L.A. ed. Diagnóstico e rehabilitación de suelos sali-
nos e sódicos. Washington, USDA, 1954, 172 p. (Manual de Agri-
cultura, 60).

THORNE, D.W. & PETERSON, H.B. Técnica del riego, fertilidad y
Explotacion de los suelos. 2 ed. México, Companhia ~~Editorial~~
Continental, 1964. 496 p.

14. APÊNDICE

TOLERANCIA DE LOS CULTIVOS
 CION DEL SUELO,EXPRESADA
 JES DE DISMINUCION DE PEMIENTO.

CULTIVOS COMUNES	% de disminución del rendimiento		
	10%	25%	50%
cebada	12 mmhos/cm	16 mmhos/cm	18 mmhos/cm
remolacha azucarara	10.0	11.0	16.0
algodonero	10.0	12.0	16.0
centeno	8.0	-.-	10.0
cártamo	7.0	11.0	14.0
trigo	7.0	10.0	14.0
sorgo	6.0	9.0	12.0
soya	5.0	7.0	9.0
arroz	5.0	6.0	8.0
maíz	5.0	6.0	7.0
avena	4.0	8.0	10.0
sesbania	4.0	6.0	9.0
naba	4.0	5.0	7.0
linaza	3.0	5.0	7.0
frijol	1.0	2.0	3.0
CULTIVOS HORTICULAS			
betabel	8.0	9.5	12.0
breton Bretón	8.0	9.0	11.0
espárragos	6.0	8.0	10.0
espinaca	5.5	7.0	8.0
jitomate	4.0	6.5	8.0

Anexo N° 1.
(Continuación).

CULTIVOS HORTICULAS	% de disminución de rendimientos			
	10%	25%	50%	
brócoli	4.0 mmhos/cm	6.0 mmhos/cm	3.0 mmhos/cm	
col	2.5	4.0	7.0	
coliflor	2.5	4.0	7.0	
maíz dulce	2.5	4.0	6.0	
lechuga	2.0	3.0	5.0	
papa	2.5	4.0	6.0	
camote	2.5	3.5	6.0	
pimiento	2.0	3.0	5.0	
cebolla	2.0	3.5	4.0	
zanahori	1.0	3.0	4.0	
chícharo	3.0	3.5	4.0	
calabaza	3.0	3.5	4.0	
melón	2.5	3.0	3.5	
pepino	2.5	3.0	4.0	
rábano	2.0	2.5	3.0	
apio	2.0	2.5	3.0	
ejote	1.0	1.5	3.0	
CULTIVOS FORRAJEROS				
pasto bernuda	13.0	16.0	18.0	
pasto salado	12.0	16.0	18.0	
cebada para forraje	8.0	11.0	13.5	
centeno perenne	8.0	10.0	13.0	
pasto harding	7.5	10.0	13.0	

Anexo Nº 1.
(Continuación).

CULTIVOS FORRAJEROS	% de disminución de rendimiento		
	10%	25%	50%
festuca alta	7.0 mmhos/cm	10.5 mmhos/cm	15.0 mmhos/cm
trifolium (pata de pájaro)	5.5	8.0	10.0
centeno silvestre (sin barba)	4.0	7.0	11.0
alfafa	3.0	5.0	8.0
pasto orchard	2.5	4.0	8.0
trébol alsike	2.0	2.5	4.0
trébol rojo	2.0	2.5	4.0
trébol blanco holandés	2.0	2.5	4.0
pimpinela	2.0		4.0
trébol ladino	2.0		3.5
FRUTALES			
palma datilera	8.0		
granada	6.0		
niguera	5.0		
olivo	4.0		
vid	4.0		
naranja	3.0		
toronjo	2.5		
limonero	2.5		
manzana	2.5		
peral	2.5		

Anexo N° 1.
(Continuación).

FRUTALES	% de disminución de rendimiento		
	10%	25%	50%
ciruelo	2.5 mmhos/cm		
ciruelo de damasco	2.5		
duraznero	2.5		
albaricoque	3.5		
almendro	2.5		
zarzamora	2.0		
feambuesco	1.5		
aguacate	2.0		
fresa	1.5		

Anexo N° 2.

TOLERANCIA DE CIERTOS CULTIVOS AL PORCENTAJE DE SODIO INTERCAMBIABLE (PSI) (extraído de Peña).

Variación del PSI que afecta el desarrollo.	P.S.I.	Cultivo	Respuesta en el crecimiento bajo condiciones de campo
Extremadamente sensible	2-10	Frutales deciduos Nueces Cítricos Aguacate	Sintomas de toxicidad de Sodio a bajo PSI.
Sensibles	10-20	Frijoles	Desarrollo limitado a bajo PSI. independientemente de una estructura del suelo favorable.
Moderadamente sensibles	20-40	Trébol Avena Festuca alta Arroz Pasto Dallis	Desarrollo limitado debido a factores de la nutrición y estructura desfavorable.
Tolerantes	40-60	Trigo Algodón Alfafa Cebada Tomate (jitomate) Remolacha	Desarrollo limitado generalmente debido a estructura desfavorable.
Muy tolerantes	60	Agropiro de penacho Agropiro trueno Agropiro alto Pasto Rhodes	Desarrollo limitado, generalmente debido a estructura desfavorable.

Anexo N° 3.

TOLERANCIA RELATIVA A LOS CULTIVOS A LA SALINIDAD DEL EXTRACTO DE SATURACION DEL SUELO. (extraído de Peña).

F R U T A L E S

Muy tolerantes	Medianamente tolerantes	Poco tolerantes
Palma datilera	grandda higuera olivo vid melón	peral manzano naranja toronja ciruelos* almendro duranzo fresa limonero aguacate

H O R T A L I Z A S

$CE_e \times 10^3 = 12$	$CE_e \times 10^3 = 10$	$CE_e \times 10^3 = 4$
betabel	jitomate	rábano
bretón e col rosada	brócoli	apio
espárragos	col	ejotes
espinacas	chile dulce	
	coliflor	
	lechuga	
	maíz dulce	
	papas	
	zanahorias	
	cebolla	
	chícharos	
	calabaza	

Anexo N° 3.
(Continuación).

H O R T A L I Z A S

pepinos

$$CE_e \times 10^3 =$$

$$CE_e \times 10^3 = 4$$

$$CE_e \times 10^3 = 4$$

1 El número que sigue a la $CE_e \times 10^3$ es el valor de la conduc
tividad eléctrica del axtracto de saturación en millimhos por cen
trímetro a 25°C asociado a una disminución en los rendimientos
de 50 por ciento.

-----_.-----..-----

CE _{ee} ^{xx}		
zacatón		
zacate salado	trebol amarillo	holandes
zacate alcalino de		
coquito	zacate inglés	alopecuro
zacate bermuda	bromo de montana	trebol alsilce
zacate chodes	trébol fresa	trébo1 rejoy
centeno silvestre		
deI canadá		
grama de trigo		
occidental	trébol Hubam	
cebada (para heno)	alfafa ~california	
	común	
trifoliun. (parade	festuca alta	
pájaro	centeno (para heno)	
	trigo (para heno)	
	avena (para heno)	
	zacate "Orchard"	
	grama azul	
	festuca	
	reedcanary	
	trêbol grande	
	bromo suave	
	veza lechosa cicer	
	trébol agrio	
	veza lechosa (hor.)	
CE _{ee} ^{xx} 10 ^{~j} = 22	CE _{ee} ^{xx} 10 ³³ = 44	CE _{ee} ^{xx} 10 ³³ = 22

CULTIVOS COMUNES		
Muy tolerantes	Medienamente tolerantes	Poco tolerantes
$CE_e \times 10^3 = 16$	$CE_e \times 10^3 = 10$	$CE_e \times 10^3 = 4$
Cebada(grano)	Centeno (grano)	Alubias
Remolacha azucarera	Trigo (grano)	
Colza	Avena (grano)	
Algodón	Arroz	
	Sorgo (grano)	
	Maíz	
	Lineza	
	Girasol	
	Higuerilla	
$CE_e \times 10^3 = 10$	$CE_e \times 10^3 = 6$	

Las especies de arriba están consideradas como más tolerantes y las de abajo, como más sensibles).

Tolerantes	Semi-tolerantes	Sensibles
Athel (tamarix aphylla)	Girasol (nativo)	Nuez encarcelada
Espárragos	Papa	Nogal negro
Palma (Phoenix canariensis)	Algodón Acaia	Nogal Persa
Palma datilera (P. dactylifera)	Algodón Pina	(inglés).
Remolacha azucarera	Gitomate	Chufa o catufa
Alfafa	Chícaro dulce	Olmo americano
Cladiola	Rábano	Ciruelo
Habas	Chícaro	Manzano
	Olivo	Peral
	Cebada	Uva (Málaga y Sultanina)
Cebolla	Trigo	Higo kadota
Nabo	Maíz	
Col	Sorgo	Níspero

(Contin.)

Lechuga
Zanahoria

Avena
Zinia
Calabacitas
Pimiento "Bell"

Camote
Frijol Lima

Cereza
Chabacano
Durazno
Zarazmora sin
Espinas
Naranjo
Aguacate
Toronja
Limonero
