**ALTERNATIVAS ECOLÓGICAS VIABLES PARA EL DIAGNÓSTICO Y REHABILITACIÓN DE SUELOS SALINOS EN SANCTI SPÍRITUS**.

ALTERNATIVE ECOLOGICAL VIABLE FOR THE DIAGNOSIS AND REHABILITATION OF SALINE FLOORS IN SANCTI SPÍRITUS.

**Miguel Salvat Quesada. (http//orci.org/0000-0002-7874-2958)**

**Marcos T García González.** **(https://orcid.org/0000-0002-1115-9311)**

**Leosdel Marín Ramos.**

1Universidad de Sancti Spiritus “Jose Martí” (CUBA), Salvat@uniss.edu.cu

*2Universidad de Sancti Spiritus “Jose Martí” (CUBA).* *marcostg@uniss.edu.cu*

*3Universidad de Sancti Spiritus “Jose Martí” (CUBA).*

Resumen

**La salinidad de los suelos donde se desarrollan las plantas, causa a estas el estrés salino, que produce reducción en su crecimiento y desarrollo, el trabajo de investigación sistematiza una serie de herramienta que permite llegar al objetivo de: proponer un modelo metodológico que posibilite el diagnóstico y recuperación sustentable de los suelos salinos en el sur del Jíbaro en la provincia de Sancti Spíritu. En la metodología se emplean variables físico químicas para el diagnósticos del suelo y a partir de ahí se seleccionan para la aplicación diferentes alternativas sustentables de prácticas de mejoramiento, entre las que se destacan: los métodos hidrotécnicos (lavado de suelos), los físicos (intensidad de labranza, nivelación, inversión de perfiles), los químicos (intercambio de sodio por calcio mediante el uso de sales cálcicas o de ácidos) y los biológicos (abonos orgánicos, establecimiento de cultivos tolerantes). Esto contribuirá a proponer un modelo que hasta donde se conoce, no hay estudios en Cuba sobre el papel de estas técnicas en el mejoramiento de la respuesta de las plantas a condiciones de estrés salino.**

**Palabras clave:** Suelo salino, Diagnóstico de suelo, mejoramiento de suelos.

**Summary**

The salinity of the floors where the plants are developed, it causes to these the saline estrés that produces reduction in their growth and development, the investigation it systematizes a tool series that allows to arrive to the objective: propose a methodological model that facilitates the diagnosis and sustainable recovery of the saline floors in the south of the Jíbaro in the county of Sancti Spíritu. In the methodology are used chemical physical variables for the diagnostic of the floor and starting from there they are selected for the sustainable alternative different application of practical of improvement, among those that stand out: the methods hydrotecnic (laundry of floors), the physiques (farm intensity, leveling, investment of profiles), the chemists (exchange of sodium for calcium by means of the use of calcic salts or of acids) and the biological ones (organic payments, establishment of tolerant cultivations). This will contribute to propose a model that up to where one knows, there are not studies in Cuba on the paper of these techniques in the improvement of the answer of the plants to conditions of saline stress.

Key words: I am accustomed to saline, Diagnostic of floor, improvement of floors

# SECccióN [Arial, 12-ptos, negrita, mayúsculas sostenidas, alineado a la izq.]

Las ponencias deberán tener una extensión máxima de 20 cuartillas y de 15 como mínimo, incluyendo gráficas, tablas, esquemas, etc. El tamaño de todas las páginas debe ser Carta (21,59 x 27,94cm). Todos los márgenes deben ser de 2,5cm. Todos los textos deben escribirse en una única columna, utilizando la fuente Arial a 12 puntos e interlineados a espacio y medio. [Arial, 12 ptos, normal, justificado, interlineado a espacio y medio]

El texto incluido en secciones o sub-secciones debe comenzar una línea después del título de la sección o sub-sección. No utilice tabulaciones y limite el uso de retornos entre los párrafos. Por favor, no enumere manualmente las secciones y sub-secciones; para esto utilice los estilos de esta plantilla.

Defina las abreviaturas y acrónimos la primera vez que las utilice en el texto, aun cuando hayan sido definidas en el resumen. No utilice abreviaturas en títulos o encabezados a no ser que sean inevitables.

Las tablas, figuras y gráficos deben incluirse centrados en el texto, numerados y acompañados por una leyenda. Los títulos de las figuras deben emplazarse debajo de estas; los títulos y encabezados de las tablas deben aparecer encima de estas. Inserte las tablas y figuras después de ser referidas en el texto; para esto use abreviaturas como en la forma “Fig. 1”, “Fig. 2”, … aun cuando estén iniciando oraciones.

Por favor, no modifique el paginado predefinido en esta plantilla. Evite utilizar encabezados y notas al pie fuera de los márgenes predefinidos (2,5cm en todos los extremos de la hoja.)

Las citas, fuentes y referencias bibliográficas deberán ajustarse al formato APA (6ª edición, 2019). El 50% debe corresponder a los últimos 5 años.

Utilice cuantas secciones y sub-secciones requiera, se recomienda incluir introducción, desarrollo, conclusiones, así como las referencias bibliográficas al final de la ponencia.

Los autores: nombres y dos apellidos (comenzando por el autor principal), títulos científicos y académicos que poseen, categoría docente, centro de procedencia, país, así como el e-mail y el código ORCID. (No deben exceder de 3 autores).

La salinidad en los suelos cubanos en mayor parte es secundaria (antropogénica); entre las causas que la producen se encuentran: la deforestación de las tierras altas, el uso de agua salinizada de acuíferos con intrusión marina, la elevación del manto freático salinizado, así como el uso de agua de riego de mala calidad (González-Núñez et al., 2004). Se ha podido constatar en la práctica, que estas tres últimas afectan los suelos del Sur del Jibaro de Sancti Spíritus, junto con el aumento del nivel del mar debido al cambio climático.

Los métodos de mejoramiento son caros después que hay deterioro del suelo, en las condiciones actuales de Cuba se hace imperioso proponer modelos que abaraten este complejo y urgente incursión práctica que mejore los rendimientos de los cultivos en lo fundamental el arroz.

Por tal razón el trabajo se traza como objetivo: proponer un modelo metodológico que posibilite el diagnóstico y recuperación sustentable de los suelos salinos en el sur del Jíbaro en la provincia de Sancti Spíritu.

**La salinidad de los suelos en las plantas**

La salinidad de los suelos donde crecen y se desarrollan las plantas, causa lo que se conoce por estrés salino, que produce reducción en el crecimiento y en el desarrollo de esta, existen fundamentalmente tres tipos de estrés y como consecuencia de la combinación de estos estreses, según Ramírez, R.; et al (2008)existe un cuarto estrés que se manifiesta en plantas expuestas a condiciones de salinidad. Estos son:

1. Inducción de estrés hídrico, efecto es similar a una falta de agua en el suelo, ya que se afecta el potencial hídrico (ψ) de las plantas, por la presencia en exceso de solutos en la solución del suelo (sales) que produce una disminución del potencial osmótico (ψπ) y, consecuentemente, del ψ. Por tanto, el balance hídrico de la planta en general se encuentra afectado, ya que para mantener un gradiente entre el suelo y las hojas, que permita continuar con la absorción de agua necesaria para la planta, se debe generar un potencial hídrico mucho más negativo que el de la solución del suelo.
2. Toxicidad ion específica, debido la alta concentración de sodio y cloruro, esto ocurre debido a la captación y acumulación en las plantas de ciertos iones que se hacen tóxicos disueltos en el agua de riego. Como es el caso específico de la salinidad por sodio (Na+), cloruro (Cl-) y sulfato (SO42-). Aunque el sodio resulta ser un micronutriente esencial (que puede competir con el K+) para un limitado número de plantas C4, no siendo así para la mayoría de las plantas C3, ellos se acumulan en las hojas, y causan lesión probablemente por la carga de sales que exceden la capacidad de la célula de compartimentarlas en vacuolas. Asociando a efecto de inhibición de la actividad enzimática, alteraciones en la funcionalidad de la membrana, inhibición de la fotosíntesis, repercusión en los mecanismos de transporte y selectividad, y derivación de parte de la energía metabólica a distintos el procesos diferentes al crecimiento. (4)
3. Desbalance nutricional, debido a los altos niveles de sodio y cloruro que reducen la captación de K+ , NO- , PO43-,etc, que resultar en considerable déficit y desbalance nutricional, con acumulación excesiva de iones Na+ y Cl- que reduce la afinidad de otros nutrientes minerales tales como K+, Ca2+, y Mn2+
4. Incremento de la producción de especies reactivas de oxigeno (ROS *reactive oxygen species*) que dañan las macromoléculas, los factores anteriores provocan un desequilibrio metabólico que ocasionan un esteres oxidativo, se ha planteado por diversos autores la presencia de ROS en condiciones salinas, tales como H2O2 (peróxido de hidrogeno), O2- (superoxido) y .OH (radicales hidroxilo), lo que puede causar en las plantas reacciones fitotoxicas como la peroxidación de lípidos, degradación de proteínas y mutaciones en el ADN.

Otros autores han planteado que los daños en la membrana inducidos por estrés salinos están asociados a una alta producción de ROS, lo que se ha podido comprobar con la producción de malondialdehido (MDA) como indicador de peroxidación de lípidos al someter las plántulas de tomate a condiciones de estrés salino.

La mejora genética se convierte en una herramienta que, sin lugar a dudas, favorecer la utilización de variedades de cultivo en áreas subutilizadas, que pueden rendir productividad en aquellas zonas donde la salinidad sea un factor limitante de la producción agrícola. Pero las vías que se trabaja para la obtención de materiales que se ofrezcan en esta dirección son costosas aunque efectivas y de largo tiempo de obtención de resultados, además en Cuba los avances en la liberación de variedades adaptadas o de buen comportamiento productivo en condiciones de campo con problemas de salinidad no han sido fructíferos, dejando claro hacia dónde debe de encaminarse las estrategias de búsquedas científicas para la mejora de esta situación.

**Metodología**

Métodos de Diagnóstico de suelo

Físico- químico

En función de esta variable se establecen los indicadores que permite en correspondencia a los varios sistemas de clasificación de los suelos; el sistema más empleado es el propuesto por el Laboratorio de Salinidad de Estados Unidos (Richards, 1954). Este sistema se basa en indicadores de fácil obtención como son: la conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE), el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y el pH, a partir de lo cual se divide a los suelos afectados por sales en tres grupos ([tabla 1](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942015000400001#t1))



DIAGNÓSTICO Y MONITOREO DE DEGRADACIÓN DE SUELOS POR SALINIZACIÓN

Tabla 2. Criterios para calificar grado de salinidad

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **VARIABLES** | **RANGOS PARA CALIFICACIÓN** | **CALIFICACIÓN** |
| PSI o RAS o CE o (pH y SO4) | RAS ≥ 13 o PSI ≥ 15 | **Muy severo** |
| CE ≥ 16 dS/m |  |  |
| CE ≥ 4 y, pH < 4 y, [SO4] ≥ 0,05% |  |  |
| CE o PMgI o CaCO3eq o CaSO4.2H2O | CE ≥ 8 dS/m < 16 dS/m | **Severo** |
| PMgI ≥ 40 |  |  |
| [CaCO3eq] ≥10% |  |  |
| [CaSO4 . 2H2O] ≥ 15% |  |  |
| CE o PMgI o CaCO3eq o CaSO4.2H2O | CE ≥ 4 dS/m < 8 dS/m | **Moderado** |
| PMgI ≥ 30 < 40 |  |  |
| [CaCO3eq] <10% |  |  |
| [CaSO4 . 2H2O] < 15% |  |  |
| CE | CE ≥ 2 dS/m < 4 dS/m | **Ligero** |
| CE | CE < 2 | **Muy ligero** |

***Fuente****: Protocolo Salinización CAR-IDEAM-UDCA*

Así, para la zonificación preliminar a nivel regional, se establecen cinco grados de
salinidad en términos de severidad, teniendo en cuenta los contenidos o
concentraciones en los suelos: muy ligero, ligero, moderado, severo y muy severo.
A continuación, se describe cada uno de ellos.

Tabla 3:Criterios para calificar clase de salinidad

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Variables**  | **CRITERIO**  | **CLASE** |
| CE (Conductividad eléctrica) (dS/m)  | CE ≥ 2 dS/m  | Salino |
| PSI (Porcentaje de sodiointercambiable) | PSI ≥ 7,5 o RAS ≥ 13  | Sódico |
| PMgI (Porcentaje de magnesiointercambiable) | PMgI ≥ 30  | Magnésico |
| CaCO3eq (Porcentaje de carbonato de calcio equivalente) | CaCO3eq ≥ 2%  | Calcáreo |
| Yeso (CaSO4\*2H2O) Porcentaje de yeso  | Yeso (CaSO4\*2H2O) >5% | Gypsicos |
| Sulfatado ácido |  |  |
| CE (Conductividad eléctrica), pH ySulfatos [SO4] | pH < 6 (HorizonteOrgánico) y SO4 > 0,05o S > 2% |  |
| pH \* si no cumplen ningún criterioanterior | pH ≥ 7.4  | Alcalinos |

**Fuente:** Protocolo Salinización CAR-IDEAM-UDCA 20

**Manejo de los suelos salinos**

Una vez evaluados los suelos, se pueden aplicará diferentes alternativas para su manejo, entre las que se destacan: los métodos hidrotécnicos (lavado de suelos), los físicos (intensidad de labranza, nivelación, inversión de perfiles), los químicos (intercambio de sodio por calcio mediante el uso de sales cálcicas o de ácidos) y los biológicos (abonos orgánicos, establecimiento de cultivos tolerantes). Aunque las clasificaciones de los métodos varían, así como las prácticas de mejoramiento que ellos agrupan, varios autores coinciden en que los mejores resultados se obtienen con la aplicación combinada de estos (González et al., 2014).

El método más utilizado para la recuperación de los suelos salinos es el lavado o lixiviación de las sales solubles con agua de baja salinidad. Este método consiste básicamente en aplicar una lámina grande de agua para disolver las sales y removerlas de la zona radical del cultivo; aunque para lavar un suelo salino es indispensable que este sea permeable y que existan adecuadas condiciones de drenaje (Serrato et al., 2002).

La recuperación de los suelos sódicos se ha realizado principalmente cambiando el sodio en el complejo coloidal por otro catión; para ello se aplica ácido sulfúrico (H2SO4) y yeso agrícola (CaSO4 2 H2O); también se ha hecho de forma mecánica, al mezclar la capa superficial con el empleo de un arado, y mediante el uso de plantas halotolerantes. Sin embargo, no es fácil ni económico eliminar o disminuir las concentraciones de sodio en el suelo. Los métodos químicos resultan costosos para las grandes extensiones, tanto por la cantidad de material que se utiliza como por su aplicación, ya que en algunos casos se requiere de equipos especializados (Ruiz et al., 2007).

Numerosos autores han evaluado una serie de tecnologías no convencionales para la recuperación de suelos; para ello aplicaron tres tratamientos alternativos: biofertilizantes, biopolímeros y electromagnetismo, comparados con enmienda química convencional (yeso-azufre) y un testigo absoluto (solo drenaje). Según la respuesta agronómica de un cultivo de maíz (*Zea mays* L.), los tratamientos basados en el uso de microorganismos (biofertilizantes y electromagnetismo) fueron los más efectivos. El uso de biorremediación con bacterias halófitas capaces de capturar sodio, así como los aislamientos nativos y las cepas comerciales de rizobios, también son alternativas que se han estudiado.

Otra alternativa para el mejoramiento y el aprovechamiento de los suelos salinos es el cultivo de pastos forrajeros con propiedades excretoras de sal, debido a que reducen la salinidad, y además se puede aprovechar su cobertura vegetal. En tal sentido, Ruiz et al. (2007) obtuvieron resultados positivos con tres especies de zacate: Sorghum sudanense (Piper) Stapf, Lolium perenne L. y Cynodon dactylon (L.) Pers. En Argentina, al igual que en muchos países, existen plantaciones de arbustos tolerantes a la salinidad como Jatropha curcas L., que producen aceites de uso industrial y constituyen otro ejemplo de la incorporación productiva de las plantas en tierras afectadas por la salinidad (Taleisnik y López, 2011). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la incorporación de plantas tolerantes a la salinidad en suelos afectados puede incrementar la acumulación de sales en los estratos superiores. Esto ocurre si las plantas usan el agua freática salina para cubrir sus requerimientos hídricos, como se ha informado en plantaciones de Eucalyptus, Acacia y Prosopis (Taleisnik y López, 2011).

Entre las principales tecnologías aplicadas en Cuba para combatir la salinidad se encuentran: el lavado de los suelos, mediante el establecimiento de adecuados sistemas de irrigación-drenaje; la aplicación de materia orgánica y enmiendas químicas; el uso de cultivos tolerantes a la salinidad; y el cultivo intensivo de arroz, de manera que año tras año, en los suelos dedicados a dicho cultivo disminuye la concentración de sales, y después estos pueden emplearse para otros cultivos o en sistemas de rotación (González-Núñez et al., 2004).

También se ha trabajado en programas de mejoramiento genético y existen en Cuba dos variedades de arroz tolerantes a la salinidad (IACUBA-25 e INCA LP-7), liberadas a la producción. Sin embargo, la liberación de variedades con buen comportamiento productivo en condiciones de campo con problemas de salinidad no ha sido fructífera. Teniendo en cuenta que la selección de plantas tolerantes a la salinidad es un proceso largo, en Cuba se trabaja en la búsqueda de indicadores eficientes para la selección temprana de genotipos con mejor comportamiento agronómico. Otras vías fisiológicas alternativas y promisorias han sido poco exploradas, tales como los tratamientos de HD de las semillas, aspecto que se discute a continuación.

Teniendo en cuenta las diferentes consideraciones sistematizadas se conforma un modelo que orienta los pasos a partir de los diferentes métodos estudiados y aplicados por la ciencia para las rehabilitación de los suelos diagnosticados como salinos para el Sur del Jíbaro en la provincia de Sancti Spíritus, estas extensiones de suelos se dedican en su mayoría al cultivo del arroz en terrazas.

Tratamientos de hidratación-deshidratación (HD) de las semillas

Los tratamientos pregerminativos de HD de las semillas han resultado eficientes para acelerar y uniformar la germinación, revigorizar semillas envejecidas, e incrementar el rendimiento de los cultivos en condiciones ecológicas óptimas y adversas. Dichas técnicas son conocidas fundamentalmente como acondicionamiento de semillas o "seed priming", revigorización de semillas o "seed reinvigoration" y robustecimiento de semillas o "seed hardening" (Khan, 1992; Taylor et al., 1998; Welbaum et al., 1998a; McDonald, 2000; Sánchez et al., 2001a); aunque el término más empleado en la literatura científica es acondicionamiento o "seed priming", independientemente de los objetivos que se persigan.

La característica común es que todas estas técnicas implican absorción controlada de agua. Esta se puede definir como la toma de agua que inicia los eventos tempranos de la germinación, pero no lo suficiente como para permitir la emergencia de la radícula, seguida de una deshidratación. Las semillas pueden ser hidratadas en soluciones osmóticas, en agua o en partículas sólidas. La toma de agua es controlada en función del equilibrio de potenciales químicos, limitación de la cantidad de agua añadida, o en función del tiempo de inmersión en agua.

En adición, los tratamientos de HD se han aplicado en combinación con choques térmicos (Sánchez et al., 2001b, 2006) y ácidos (Sánchez et al., 2007), y se lograron incrementos significativos en la germinación y el vigor de las plántulas en condiciones de estrés calórico y acidez del medio, respectivamente.

En Cuba se ha estudiado el efecto de los tratamientos de HD de las semillas en un gran número de especies de interés agrícola, en sistemas silvopastoriles y en árboles tropicales pioneros. Con dichos tratamientos se logró mejorar la germinación y el establecimiento de las plántulas en diferentes condiciones de estrés abiótico.

**Resultados y discusión del modelo**

MODELO DE DIAGNÓSTICO Y RECUPERACIÓN DE SUELOS SALINOS PARA EL SUR DEL JÍBARO, CUBA

MANERJO Y RECUPERACIÓN

DIAGNÓSTICO

ANALISIS FÍSICO-QUÍMICO

-pH

-conductividad eléctrica (CE)

OBSERVACIONAL:

-taxonomía y zonificación de los suelos

-estado del cultivo

-Presencia de eflorescencias salinas blanca

-arvenses tolerantes

-Toma de muestras

ALTERNATIVAS DE MANERJO:

**1.** MÉTODO FÍSICOS:

-intensidad de labranza,

-nivelación y

- inversión de perfiles.

ESTABLECER MODELO DE Tratamientos de hidratación-deshidratación (HD) de las semillas para la especie

MÉTODO BIOLÓGICO:

- abonos orgánicos,

- uso de microorganismos - y establecimiento de cultivos tolerantes.

2. PRÁCTICA DE LAVADO DE SUELO MANERJO:

EVALUACÍONY DETERMINACIÓN DEL GRADO DE RECUPERACIÓN:

* grados de salinidad
* comparar valores medidos
* aparición de malezas tolerantes.

EVALUACÍON:

* grados de salinidad
* origen de la salinidad
* grado y clase de Salinidad

Hasta donde se conoce, no hay estudios en Cuba sobre el papel de estas técnicas en el mejoramiento de la respuesta de las plantas a condiciones de estrés salino. Esto podría ser una línea importante de investigación, no solo por su interés teórico, sino por la significación práctica que podría tener su aplicación en los sistemas agrícolas y de repoblación forestal en condiciones ecológicas adversas o cambiantes, tal como se propone en los posibles escenarios ambientales inducidos por el cambio climático.

Se establecen las pautas para el monitoreo y diagnóstico físico químico de los suelos para determinar el grado de salinización que posibilita además determinar criterios para calificar tipo de salinidad.

Se propone un modelo que integra los distintos métodos de recuperación de suelos salino.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Barrios, E; et al. (2006) Indicators of soil quality: a South—South development of a methodological guide for linking local and technological knowledge. Geoderma 135: 248-259**

**Barrios, Edmundo. (2007) Soil biota, ecosystem services and land productivity. Ecological Economics 64: 269-285**

**Gonzalez, L. M. (2000) Análisis de la tolerancia a la salinidad en variedades de Vigna unguiculata (L.) sobre la base de caracteres agronómicos, la acumulación de iones y el contenido de proteínas. Cultivos Tropicales, vol. 21, no. 1, p. 47-52.**

**González, J., Languasco, P. & Prado, F. (2014) Efecto de las vinazas sobre la germinación de soja, trigo y quinoa en condiciones controladas. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica. 49 (4): 473-481.**

**González-Núñez, L. M.; Tóth, T. & García-Bermejo, D. (2004) Integrated management for the sustainable use of salt-affected soils in Cuba. Universidad y Ciencia. 20 (40):85-102.**

**Guerrero, J. (2013) Recuperación de suelos degradados por erosión, contaminación, salinización y acidez. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad e Agronomía. Lima, PE. 138-154 p.**

**Korndörfer, G., Nolla, A., Waldo, A. & Lara, C. (2004). Impacto ambiental del uso de la vinaza en la agricultura y su influencia en las características químicas y físicas del suelo en: Encuentro sobre vinazas, potasio y elementos menores para una agricultura sostenible.Palmira, Colombia. Corpoica. Pp.: 233.**

**Ramírez, R.; et al (2008) Respuesta antioxidante enzimática en frutos de chile ancho (Capsicum annuum L.) bajo condiciones de estrés salino. Interciencia, vol. 33, no. 5, p. 377-383.**

**Ruiz, E.; et al (2007) Aprovechamiento y mejora de un suelo salino mediante el cultivo de pastos forrajeros. *Téc. Pec. Méx*. 45 (1):19-24.**

**Serrato, R.; Ortíz, A.; Dimas, J. & Berúmen, S. (2002) Aplicación de lavado y estiércol para recuperar suelos salinos en La Comarca Lagunera, México. *Terra*. 20 (3):329-336,**