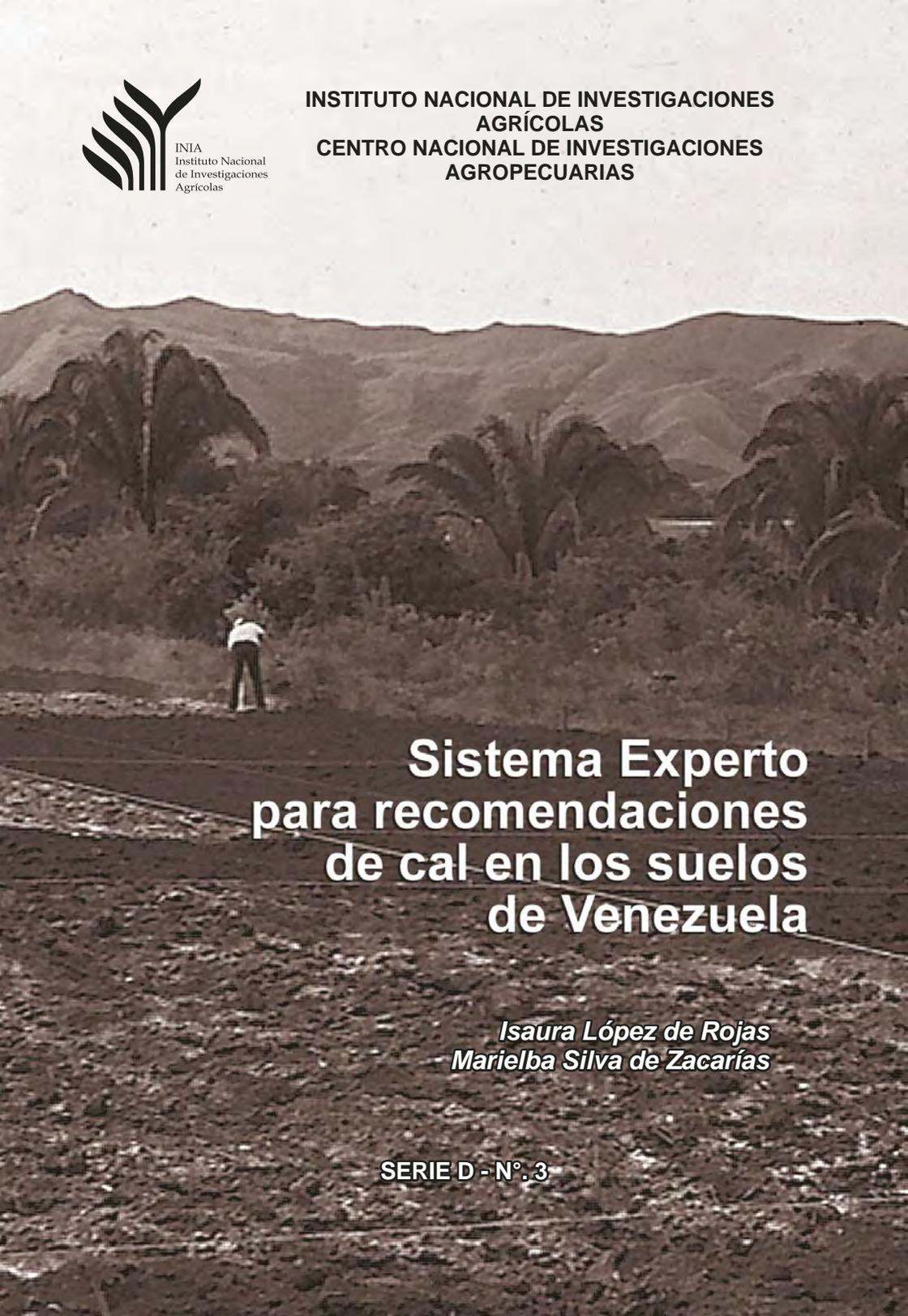




**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES  
AGRÍCOLAS  
CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES  
AGROPECUARIAS**



# **Sistema Experto para recomendaciones de cal en los suelos de Venezuela**

*Isaura López de Rojas  
Marielba Silva de Zacarías*

**SERIE D - N° 3**

**Serie D** - De acuerdo con el Reglamento de Publicaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, aprobadas por la Junta Administradora del FONAIAP en su sesión 576, celebrada el 14 de septiembre de 1999.

Serie D: corresponde a publicaciones sobre temas diversos, incluyendo temas teóricos sobre las ciencias agropecuarias y/o traducciones de otro idioma que por su contenido pueden considerarse como una obra de consulta permanente. Si se trata de un estudio recapitulativo puede conformar uno de los tipos de obra siguientes: Compilación, Recopilación o Revisión de literatura propia o dicha.

LÓPEZ DE ROJAS, I.; SILVA DE ZACARÍAS, M. 2002. Sistema experto para recomendaciones de cal en los suelos de Venezuela. Maracay, Ven., Instituto Nacional de Investigaciones Agrícola. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 47 p. (Serie D – No. 3).

Agris: F04 - P35

Descripción temática: Cultivos; Pastizales; Fertilización; Fertilidad del suelo; Enmiendas calizas.



**Instituto Nacional de Investigaciones  
Agrícolas  
Centro Nacional de Investigaciones  
Agropecuarias**

# **Sistema Experto para recomendaciones de cal en los suelos de Venezuela**

*Isaura López de Rojas\**  
*Marielba Silva de Zacarías\**

\* INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay. Venezuela.

© Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas - INIA, 2011

Edif. Gerencia General del INIA

Av. Universidad, vía El Limón, Maracay, Aragua. Venezuela.

Teléfonos: (58) 243 2833155 - 2833311 - 2834321 - 2833544

Apartado postal 2103

<http://www.inia.gov.ve>

Coordinación editorial: Elio A. Pérez S.

Diagramación: Sonia Piña

Impresión y encuadernación: Taller de Artes Gráficas del INIA.

Hecho el Depósito de Ley

Versión impresa

Depósito Legal: If 22320026303021

ISBN: 980-318-171-8

Versión digital

Depósito Legal: Ifi2232011630739

ISBN 978-980-318-247-2

Esta obra digital es propiedad del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, publicado para el beneficio y la formación plena de la sociedad. Por ello se permite el uso y la reproducción total o parcial del mismo, siempre que no se haga con fines de lucro, se cite al autor y la institución conforme a las normas vigentes.

# Contenido

Introducción	5
Antecedentes	9
Características de un Sistema Experto	10
Desarrollo de un Sistema Experto	13
1 Fase de identificación	14
1.1 Identificación de participantes	14
1.2 Identificación del problema	14
2. Fase de conceptualización	34
3. Fase de formalización y de implementación	37
Bibliografía consultada	45



## Introducción

Las investigaciones llevadas a cabo en el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), antes Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (Fonaiap), en el área de fertilidad de suelos, han obedecido a un programa desarrollado a través del tiempo, con la finalidad de concretar criterios que orienten hacia un uso eficiente de fertilizantes y enmiendas, con miras a elevar los niveles de productividad en el sector agropecuario. En dicho programa se han desarrollado diferentes etapas que van desde la toma de muestras hasta la correlación, calibración e interpretación de análisis, preparación de resúmenes, etc. (Carrero *et al.*, 1986; Chirinos *et al.*, 1977).

Dentro de la problemática del uso eficiente de los fertilizantes, la corrección de la acidez juega un papel muy importante por cuanto esta condición del suelo, además de incidir sobre la disponibilidad de los nutrientes, favorece el desarrollo de efectos tóxicos que afectan el crecimiento de los cultivos. Por ello, es importante definir los criterios que orienten hacia el uso racional de enmiendas con fines ya sea nutricional o correctivo.

El uso de la cal agrícola, para corregir la acidez de los suelos, es una práctica que se ha venido utilizando en el país por años. Las

bases de estas recomendaciones, generalmente, han sido la respuesta de los cultivos a las aplicaciones de cal en ensayos puntuales, las cuales se han ido generalizando. Sin embargo, la reconocida variabilidad de los suelos ácidos de Venezuela (López y Comerma, 1985) dificulta hacer este tipo de generalizaciones sin considerar las relaciones entre las propiedades determinantes de sus requerimientos reales de cal, así como las necesidades de calcio de los cultivos y su grado de tolerancia a la acidez.

Aproximadamente 70% de los suelos de Venezuela presentan diversos grados de acidez, lo que ha motivado la búsqueda de alternativas de manejo apropiadas que conduzcan a mejorar su productividad. Cuando se plantea el uso de una enmienda calcárea como alternativa para reducir los factores asociados a la acidez que son detrimentales para el desarrollo de los cultivos, se presentan una serie de interrogantes, como son: cuánto (dosis), qué (fuente), cómo (forma de aplicación) y cuándo aplicarla (época de aplicación), cada una de ellas conlleva a una serie de factores inherentes que dificulta la toma de decisiones.

Los trabajos de investigación realizados en el país han conducidos al conocimiento de los suelos ácidos, a través de su caracterización y establecimiento de relaciones entre las propiedades que son determinantes de sus necesidades de cal (López y Comerma, 1985). Los resultados de estos trabajos han servido también de base para la selección de procedimientos adecuados para determinar la dosis de cal a aplicar (López, 1982 y 1983; López y Sánchez, 1990), sin embargo, la formulación de una recomendación de cal lleva implícita una serie de elementos de información relativa al suelo (propiedades que determinan sus requerimientos de cal), al cultivo (grado de tolerancia a la acidez, requerimientos de calcio y magnesio como nutrientes), a la fuente de enmiendas (composición química, granulometría) y a factores climáticos que condicionan la disponibilidad para las plantas de esas enmiendas.

Toda esta información que es utilizada por el especialista para afinar las recomendaciones, en muchos casos modifica la dosis indicada en los instructivos tradicionales (tablas de doble entrada preparadas con esta finalidad). Estos elementos de decisión o criterios adicionales utilizados por los especialistas provienen fundamentalmente de experiencias en la formulación de recomendaciones, esto implica que dichos criterios varían de especialista a especialista, de región a región, etc, lo cual dificulta el diseño de un procedimiento genérico para la formulación de recomendaciones.

En el año 1985 se planeó el desarrollo de un programa de computación que permitirá manejar el cúmulo de información requerida para producir las recomendaciones de cal, para agilizar el proceso y uniformizar los criterios con este fin; es así como se inició el desarrollo de *un Sistema Experto, el cual es básicamente un programa de computación que se comporta como un especialista en la solución de problemas específicos en un área determinada*. Este sistema constituye una importante herramienta de transferencia de tecnología aplicable a la solución de problemas diversos en el campo de la agrotecnología y, en este caso específico, a la formulación de planes de aplicación y manejo de cal agrícola, en función de los requerimientos del cultivo y suelo determinado.

El Sistema Experto presentado en esta publicación constituye la primera aplicación de esta tecnología en el campo agrícola del país y es susceptible de extender su alcance para hacer recomendaciones de dosis de fertilizantes en función del diagnóstico de fertilidad de los suelos. Este sistema se implantó en el Laboratorio del Servicio Nacional de Análisis de Suelos del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP), a partir de 1992, como herramienta para realizar las recomendaciones de cal en forma automatizada. Posteriormente, fue distribuido a otros laboratorios del Servicio de Suelos del INIA, los cuales se encuentran localizados en Yaritagua, Calabozo, Mérida y Barinas.



## Antecedentes

Los factores relativos al suelo, al cultivo y a la fuente de enmienda y otros, los cuales condicionan la disponibilidad para las plantas de las enmiendas calcáreas, dificultan la formulación de recomendaciones de cal a través de un procedimiento genérico, mediante el uso de un engranaje de programación convencional. Por medio del intercambio de tecnología entre el INIA y otras instituciones internacionales dedicadas a la investigación agrícola, se conoció de la existencia de la tecnología de Sistemas Expertos, para la formulación de recomendaciones de fertilizantes y enmiendas. Se dispuso del Sistema ACID, desarrollado en el Centro de Investigaciones de Suelos de Indonesia y las universidades del estado de Carolina del Norte y Hawai.

Este sistema determina requerimientos de cal para suelos de los trópicos húmedos, así como los requerimientos de fósforo y potasio. En este caso se trató de adaptar este sistema a las condiciones de Venezuela, pero las diferencias de criterios utilizados con relación a la información local disponible para hacer dichas recomendaciones no permitió esta adopción. Sin embargo, el conocimiento de este sistema hizo posible tener una idea de la potencialidad de la tecnología de Sistemas Expertos.

## Características de un Sistema Experto

Aun cuando en la literatura revisada no se encontraron metodologías formales que indicaran paso a paso como desarrollar dicho sistema, debido probablemente a lo reciente de esta tecnología, se pudo definir la presencia de cinco fases en la evolución de un Sistema Experto (Figura 1) (Sell, 1985; Waterman *et al.*, 1983).

En la fase de *identificación* se define el problema y se establecen los aspectos más importantes del mismo, identificándose los participantes y los recursos de hardware, software, de tiempo y los objetivos que motivan el desarrollo del sistema.

En la fase de *conceptualización*, una vez definido el problema y la solución a la que se quiere llegar, se definen los conceptos y el grado de detalle requerido para presentar el conocimiento.

Para facilitar el proceso se pueden elaborar tablas de decisión, en las cuales se vuelca la información procedente de los datos aportados por el especialista, a través de la técnica de adquisición del conocimiento, empleada por el ingeniero de conocimiento.

En la fase de *formalización*, la información obtenida en la fase de conceptualización se expresa en un lenguaje formal, en el cual a partir de las tablas de decisión se establecen las reglas que se introducen a la computadora en la fase de *implementación*.

Un Sistema Experto consta de dos componentes básicos (Figura 2), una base de conocimientos y un mecanismo de inferencia. La base de conocimientos comprende el conjunto de información especializada del sistema, generalmente de carácter heurística, aunque puede incluir conocimientos de otro tipo: algorítmicos, modelos matemáticos. Para almacenar la información en esta base de conocimientos, esta debe ser representada en una for-

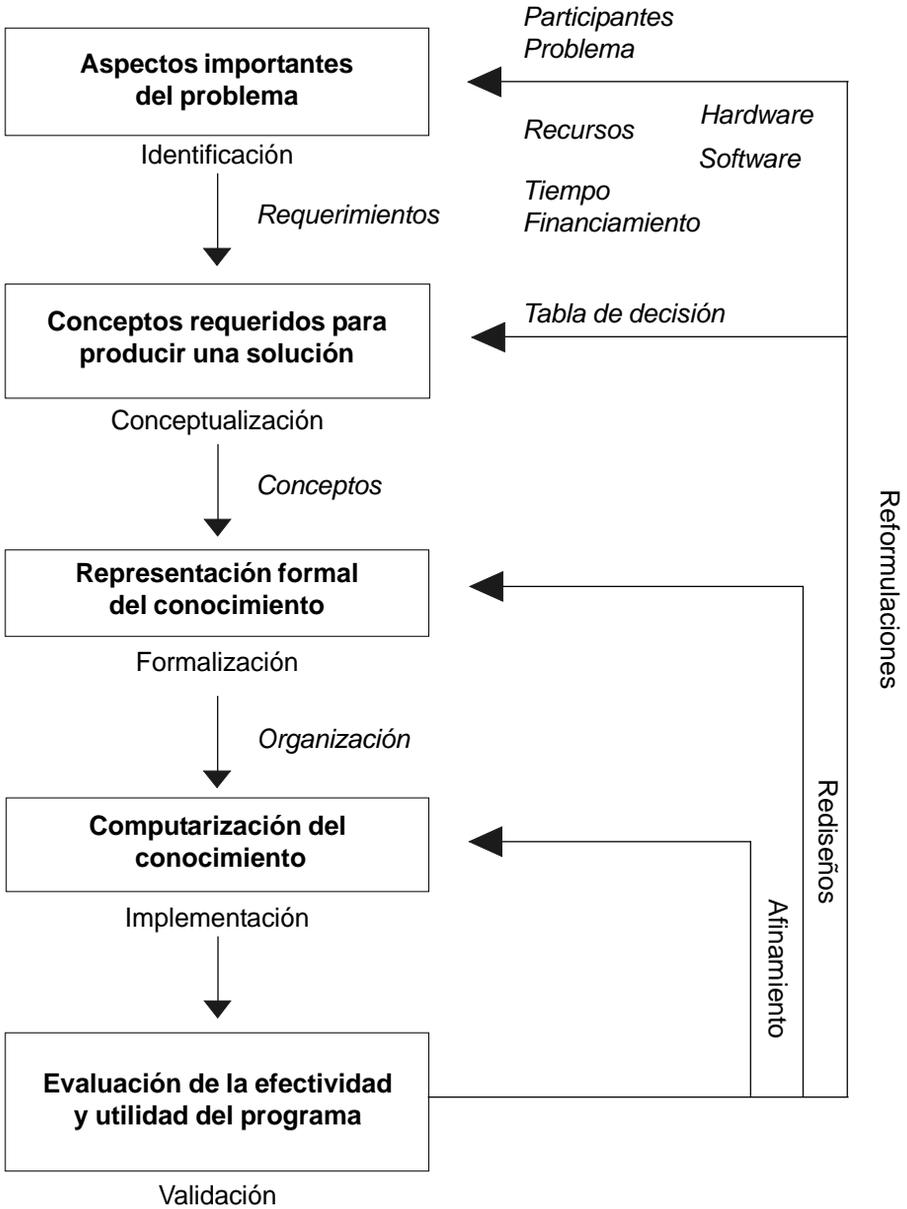


Figura 1. Fases en el desarrollo de un Sistema Experto.

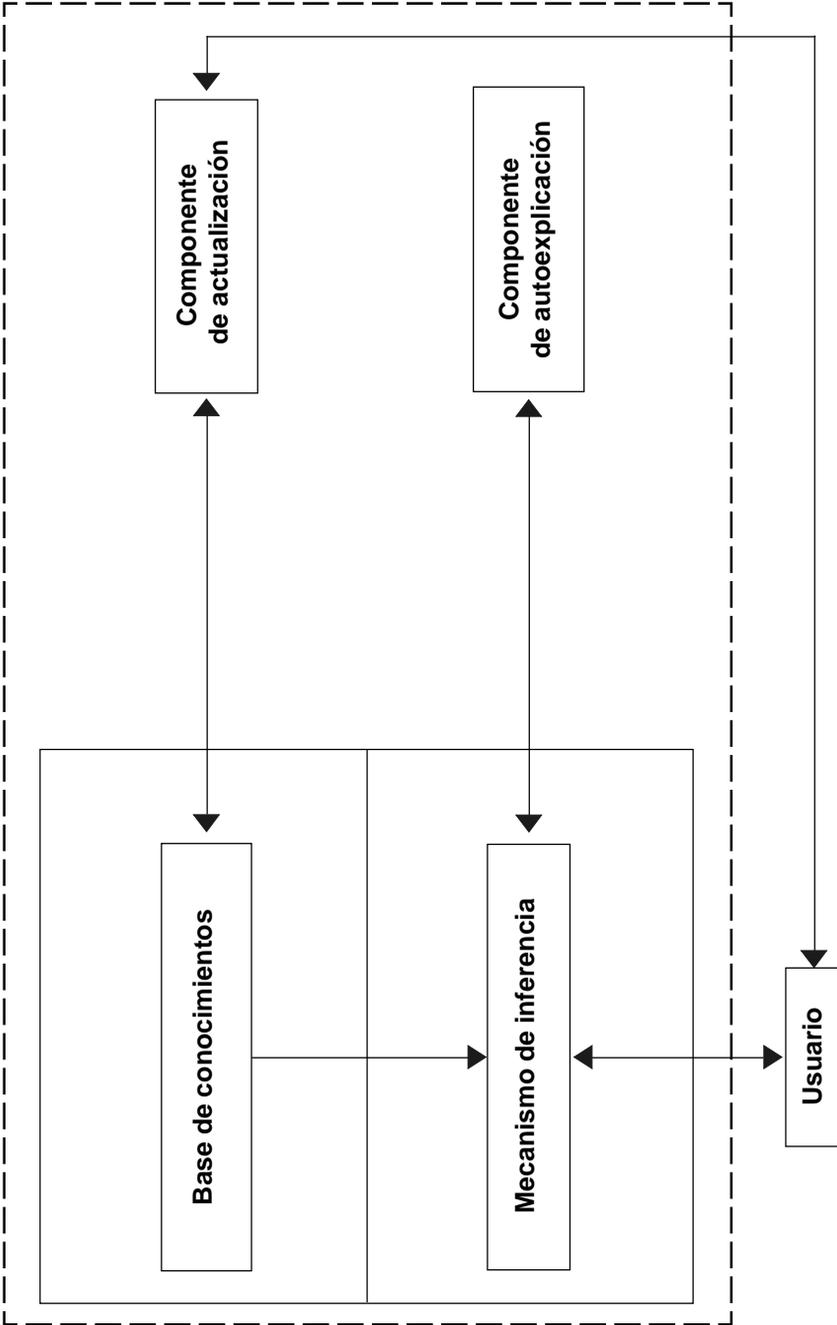


Figura 2. Estructura de un Sistema Experto.

ma susceptible de ser computarizada, las formas más usuales son las reglas, las cuales son una estructura de conocimientos que consta de dos partes: las condiciones y las conclusiones.

El mecanismo de inferencia es el programa que maneja efectivamente los contenidos de la base de conocimientos, el cual es un sistema basado en reglas; es deductivo, ya que aplica reglas generales a casos particulares.

## **Desarrollo del Sistema Experto**

Debido al desconocimiento de esta tecnología en el país, sobre todo su aplicación en el campo agropecuario, especialmente dentro del programa de suelos que se lleva a cabo en el CENIAP, se planeó el desarrollo del sistema en varias etapas:

- Familiarización con la técnica a través de revisión de la literatura disponible.
- Definición de los elementos de decisión o criterios utilizados para la formulación de recomendaciones.
- Desarrollo propiamente del sistema.

Para el desarrollo del sistema se adquirió el paquete EXSYS, el cual es un Sistema Experto basado en reglas, es decir, ya trae desarrollado el mecanismo de inferencia, por el cual se abocó al desarrollo de la base de conocimientos, cumpliéndose las diferentes fases indicadas en la Figura 1.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en cada fase del proceso:

## **1. Fase de identificación**

### **1.1. Identificación de participantes**

Se decidió desarrollar, en primera instancia, un Sistema Experto prototipo que sería mejorado de una manera evolutiva o incremental, siguiendo el esquema recomendado en la literatura revisada.

La participación de más de un experto o especialista en el desarrollo de un Sistema Experto aumenta la complejidad presente en dicho proceso, ya que se deben detectar las divergencias de criterios entre los mismos para evitar inconsistencias en el sistema. Por lo tanto, aunque en la versión final del sistema se espera reunir la experiencia de los especialistas en encalado del INIA a nivel nacional, en esta primera versión se contó con la participación de las investigadoras Isaura López de Rojas, especialista en encalado y Marielba Silva de Zacarías, como ingeniero de conocimiento, encargada de extraer, organizar y computarizar el conocimiento del experto.

### **1.2. Identificación del problema**

Las primeras discusiones e intercambios realizados entre el experto (especialista en fertilidad de suelos) e ingeniero de conocimiento, tuvieron como objetivo obtener una descripción inicial del problema, la cual fue afinada en etapas posteriores. A continuación se señalan las mismas:

#### **Alcance del sistema**

El alcance del sistema fue establecido en el mismo momento de planificar la presente actividad, a través de discusiones con personas conocedoras de la magnitud del problema de formulación de recomendaciones de fertilización y enmienda, se decidió dividir el

problema en dos subproblemas; formulación de recomendaciones de fertilización por un lado y recomendaciones de encalado por el otro, desarrollando en este caso el segundo aspecto.

Se espera que el sistema abarque el problema de recomendaciones de encalado en su totalidad, sin embargo, en la primera versión o prototipo del sistema se excluirán algunos factores o criterios de decisión que pueden ser incluidos en versiones posteriores, con el objetivo de manejar el problema en una forma evolutiva, ejemplo: información climática; recomendaciones de dosis de cal en función del grado de finura del material. Es importante señalar que, aunque en la fase de identificación se describen todos los factores determinados hasta el momento que debe incluir el sistema, las exclusiones que ocurran en etapas posteriores del desarrollo del sistema serán explícitamente mencionadas en este trabajo.

### **Características generales del problema**

La formulación de recomendaciones de encalado que lleva a cabo el Sistema Nacional de Análisis de Suelo (SNAS) determina en primer lugar, la dosis de cal requerida por un suelo con propiedades físico-químicas específicas.

La aplicación de cal en un suelo se hace con la finalidad de corregir la acidez y/o deficiencias nutricionales (Ca, Mg) del mismo, ya que ambas situaciones pueden ocasionar problemas de desarrollo o crecimiento a numerosos cultivos. Por otro lado, si la cantidad aplicada es excesiva, el suelo puede sufrir desbalances nutricionales que ocasionan, posteriormente, problemas de manejo del mismo.

Las recomendaciones sobre la dosis de cal del SNAS se basan en instructivos, que consisten en unas tablas de decisión desa-

rolladas a partir de la experiencia acumulada, en cuanto al uso de enmiendas calcáreas. Aplicando en forma exacta las dosis señaladas en estas tablas se pretende llevar el pH de los suelos hasta 5,5, a partir de este valor la mayoría de los cultivos crecen sin limitaciones por la acidez o deficiencias de nutrientes, sin caer por ello en sobreencalamientos y sus consecuencias.

En esta primera versión se asume que la cal aplicada cumple con los requisitos de finura establecidos por las normas Covenin (Ministerio de Fomento, 1997), donde se indica que 100% del material debe pasar por un tamiz de 20 mallas por pulgada cuadrada y al menos 50% por un tamiz de 100 mallas por pulgada cuadrada.

Aun cuando trabajos realizados en el país resaltan la importancia de la finura de la cal en su reacción (Bermejo, s/f; López, 1987), no se dispone de datos precisos sobre dosis en función del tamaño de partículas, además en el país no se realiza un control de calidad de las cales en este sentido. Tal como se puede ver en el Cuadro 1 las recomendaciones del instructivo se basan en tres parámetros: textura, nivel de calcio y pH del suelo.

Como en el país no se dispone de información relacionada con niveles críticos de saturación de aluminio para todos los cultivos considerados en el Sistema Experto, se tomó la información procedente de la literatura como referencia para interpretar los niveles de tolerancia de éstos (Cordero *et al.*, 1983; Pushparajah y Bachik, 1985; Rodríguez *et al.*, 1982; Sánchez, 1981; Solórzano s/f). Los instructivos de encalado incluyen los niveles de calcio disponible como criterio para recomendaciones de cal, ya que para los suelos de Venezuela se estableció la relación entre los contenidos de aluminio y calcio, así como la relación entre los valores de aluminio intercambiable y el porcentaje de saturación con aluminio de complejo de intercambio para suelos de diferentes texturas (López y Sánchez, 1990). Con la dosis recomenda-

da en los instructivos se pretende llevar el pH del suelo hasta 5,5, con esto se consigue que los niveles de saturación con aluminio disminuyan a valores no tóxicos para los cultivos.

En el caso de suelos de textura gruesa se ignora el nivel de calcio, ya que se generaliza presumiendo un nivel siempre bajo, sin embargo, el incremento en el costo de los materiales de enmienda ha llevado a tomar en cuenta parámetros adicionales, así como también ampliar el número de situaciones del instructivo, con la finalidad de ajustar la dosis señaladas en las situaciones donde

**Cuadro 1. Instructivo de requerimientos de encalado para suelos de texturas gruesas, medias y finas. Dosis expresadas en kg de CaCO<sub>3</sub>/ha (López y Sánchez, 1990).**

Texturas	pH						
	< 4,5	4,5 - 5,0			5,1 - 5,4		
Gruesa	1000	500			300		
		Calcio			Calcio		
		Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
Media	2500	1500	500	0	1000	300	0
Fina	4500	3000	1000	0	1250	830	0

Textura gruesa: Arenosa, Areno-francosa, Franco-arenosa.

Textura media: Franco, Franco-arcillo-arenosa, Franco-limosa, Franco-arcillosa, Arcillo-arenosa.

Textura fina: Arcillosa, Arcillo-limosa, Franco-arcillo-limosa.

pH: determinado en agua 1:2,5

\* Para transformar kg/ha de cal agrícola se considerará el contenido de carbonato (CaCO<sub>3</sub>) de la fuente de enmienda a utilizar.

esto es posible. Es así como en la práctica, para la formulación de recomendaciones se toman en cuenta parámetros como requerimientos específicos de cada cultivo y/o situaciones no contempladas en las tablas, lográndose en numerosos casos un ajuste de las dosis original en 1/2, 1/3, 1/4 y hasta 1/8 de las dosis señaladas en las tablas (Cuadro 2).

Los ajustes mencionados son efectuados por los especialistas del INIA en encalado y se derivan, además de resultados de investigaciones, de la práctica adquirida en la formulación de recomendaciones. Ellos saben por experiencia cuál es el ajuste que se puede aplicar a una dosis en una determinada situación, sin que se afecte el crecimiento del cultivo. Dado que el origen de los criterios para ajustar la dosis proviene fundamentalmente de la experiencia de los especialistas en encalado, dichos criterios varían de especialistas a especialistas. También dependen de las características particulares de los suelos de la región donde se ubica a cada especialista.

El segundo aspecto involucrado en las recomendaciones de encalado es el manejo de la práctica, el cual abarca en primer lugar, indicar el material calcáreo adecuado; en segundo lugar, el método de aplicación de dicho material y por último, el momento más adecuado para efectuar la enmienda. La selección de la fuente, la forma y época de aplicación de la misma se hace tomando en cuenta ciertos criterios de decisión establecidos por los especialistas. Estos criterios constituyen la base para formular recomendaciones sobre el manejo de la práctica de encalado. El problema real en la formulación de recomendaciones de encalado lo constituye la toma de decisiones, la cual presenta varias alternativas en cada paso del problema. La solución del mismo, podría representarse gráficamente mediante árboles de decisión o tablas de decisión multidimensionales.

**Cuadro 2. Instructivo para recomendación de cal en pastos cultivados.**

<b>Suelos de texturas gruesas</b>									
pH	< 4,5		4,5 - 5,0		5,0 - 5,5		--5,1 - 5,5--		
Calcio	Bajo		Medio		Bajo		Medio		
Tolerancia del cultivo	S	TA	TBoM	S	TA	S	TA	TBoM	S TA S TA
kg/ha	1000	500	250	250	125	125	500	250	250 125 330 165
CaCO <sub>3</sub> *	1000	500	250	250	125	125	500	250	250 125 330 165
Texturas gruesas: Arenas (a); Arenas francas (aF); Franco-arenosos (Fa).									
<b>Suelos de texturas medias</b>									
pH	< 4,5		4,5 - 5,0		5,0 - 5,5		--5,1 - 5,5--		
Calcio	Bajo		Medio		Bajo		Medio		
Tolerancia del cultivo	S	TA	TBoM	S	TA	S	TA	TBoM	S TA S TA
kg/ha	2500	1200	625	625	300	150	1500	750	375 500 250 1000 500
CaCO <sub>3</sub> *	2500	1200	625	625	300	150	1500	750	375 500 250 1000 500
Texturas medias: Francos (F); Franco-arcillo-arenosas (FAa); Franco-limosas (FL); Franco-arcillosa (FA); Arcillosa-arenosa (Aa).									

... continúa

..!... continuación Cuadro 2.

**Suelos de texturas finas**

pH	-----< 4,5-----		-----4,5 - 5,0-----		-----5,1 - 5,5-----	
Calcio	-----Bajo-----		-----Bajo-----		-----Medio-----	
Tolerancia del cultivo	S	TA	TBoM	S	TA	TBoM
kg/ha	4500	2250	1125	560	280	3000
CaCO <sub>3</sub> *	4500	2250	1125	560	280	3000
	1125	560	280	3000	1500	750
	1000	500	1250	625		

Texturas finas: Arcillosas (A); Arcillo-limosas (AL); Franco-arcillo-limosas (FAL).

S = Susceptible; TA = Tolerante pero exigente en calcio; TBoM = Tolerante y de baja a media exigencia en calcio.

\* Para transformar kg/ha de cal agrícola se considerará el contenido de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) de la fuente de enmienda a utilizar.

**Nota explicativa:**

pH < 4,5 no se presentan valores de calcio alto.

pH 4,5 - 5,0 no se recomienda aplicar cal cuando el calcio tiene valores medios y el cultivo es tolerante a la acidez, con requerimientos bajos a medios de calcio para el establecimiento, ya que con la disponibilidad media suple los requerimientos mínimos del cultivo.

pH 5,1 - 5,4 se recomienda cal sólo cuando el cultivo es susceptible o exigente en calcio y este nutriente es bajo.

Fuente: López *et al.* (1988).

## Identificación de subproblemas

De las características generales del problema se desprende que la formulación de recomendaciones de encalado puede ser dividido en dos subproblemas:

- Determinación de la dosis de cal.
- Manejo de la práctica.

A través de las discusiones posteriores se identificaron dos áreas involucradas en la determinación de la dosis:

- Interpretación de los resultados de los análisis de suelos.
- Determinación de la dosis propiamente dicha.

El manejo de la práctica involucra a su vez tres tareas; selección de la fuente, selección de la forma de aplicación y determinación de la época de aplicación. La Figura 3 muestra la estructura del problema de encalado y, a continuación, se describe cada una de las tareas señaladas.

### *Interpretación de resultados*

Consiste en señalar qué determinados valores analíticos son bajos, medios o altos, tomando como base los niveles críticos determinados en estudios previos. La interpretación de resultados es la base de la recomendación de una dosis de cal, ya que indica la probabilidad de respuesta del cultivo a dicha dosis. Los resultados de los análisis de suelo, por sí mismos, no tienen un valor definido para la recomendación sino han sido debidamente interpretados. La interpretación con fines de recomendación de

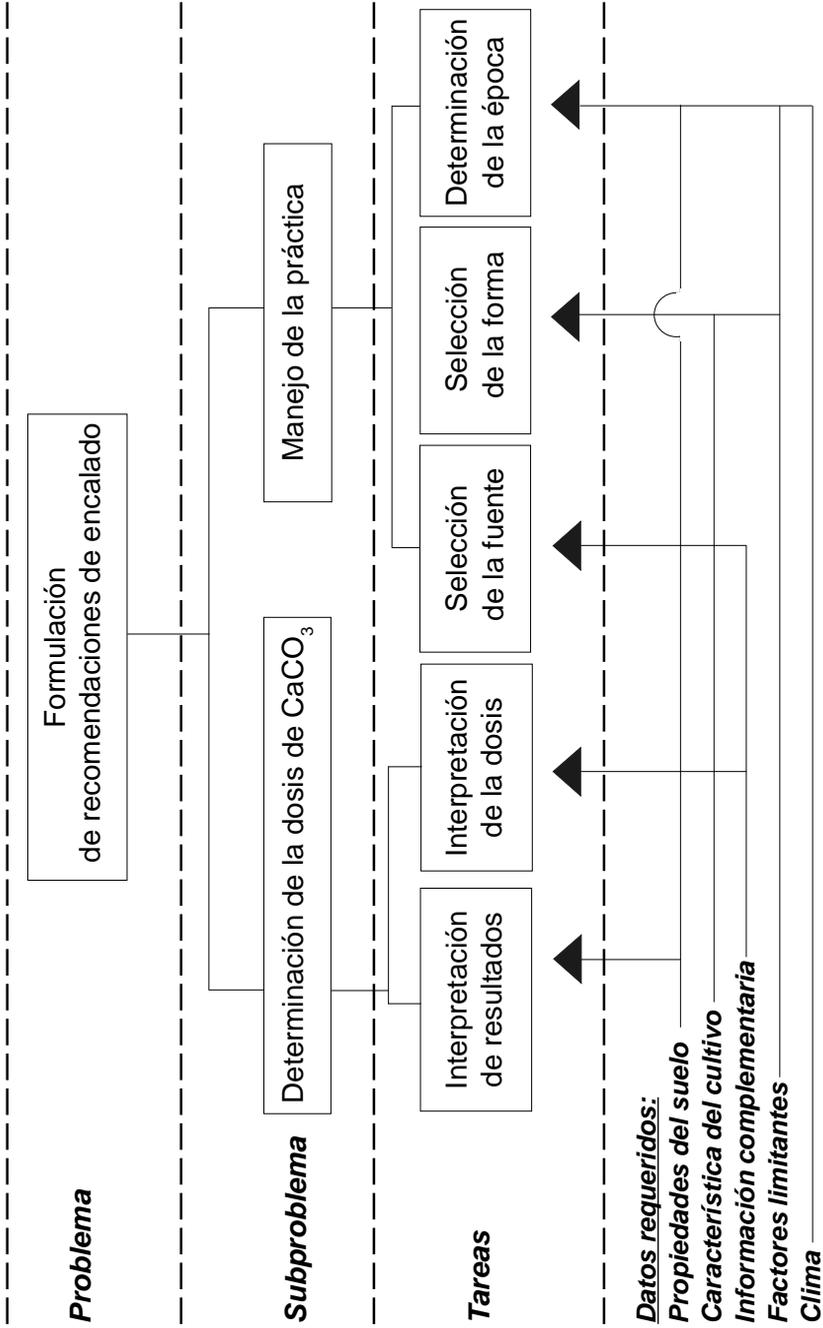


Figura 3. Estructura del problema.

cal es producto de una selección de métodos de determinación de requerimientos de cal y trabajos de caracterización de suelos ácidos, así como de la medición de la respuesta de los cultivos a la aplicación de dicha enmienda.

### *Determinación de la dosis*

Tal como se señaló anteriormente, la dosis de cal es la cantidad adecuada de  $\text{CaCO}_3$  que se requiere para corregir la acidez y deficiencia de nutriente de un suelo, específicamente, calcio y magnesio. La dosis depende, en primer lugar, de las propiedades físico-químicas del suelo y, en segundo lugar, de los requerimientos específicos de cada cultivo. Además, existe cierta información complementaria útil para explicar situaciones no esperadas en las propiedades del suelo. Para determinar la dosis de cal que se debe aplicar a un suelo con determinadas propiedades, se utiliza el instructivo de recomendaciones, también descrito en el Cuadro 1. Las dosis señaladas en dicho instructivo pueden ser ajustadas ante situaciones no contempladas por el mismo o cuando las características del cultivo así lo permitan.

### *Selección de la fuente*

La fuente se refiere al material calcáreo que se usa como enmienda de la acidez y de fuente de nutriente, calcio, magnesio. La cantidad de la fuente que se debe aplicar depende de la proporción de  $\text{CaCO}_3$  que posea la misma.

### *Selección de la forma de aplicación*

La forma de aplicación se refiere al método de uso en el campo para aplicar la fuente correspondiente y ésta dependerá de las características del cultivo y de los factores limitantes del suelo. Hasta el momento se utilizan cuatro métodos:

- **Al voleo:** se esparce la fuente sobre la superficie y se incorpora al suelo mediante pases de rastra.
- **En el hoyo:** se coloca al momento de la siembra una cantidad determinada de la fuente mezclada con la tierra extraída del hoyo.
- **Al voleo por árbol:** se esparce una cantidad determinada de la fuente dentro del área efectiva de cada árbol. El área efectiva de un árbol viene dada por el área (circular) de proyección de su copa y el radio de dicha área, depende de la edad del árbol.
- **En las calles:** se esparce la fuente entre las hileras del cultivo.

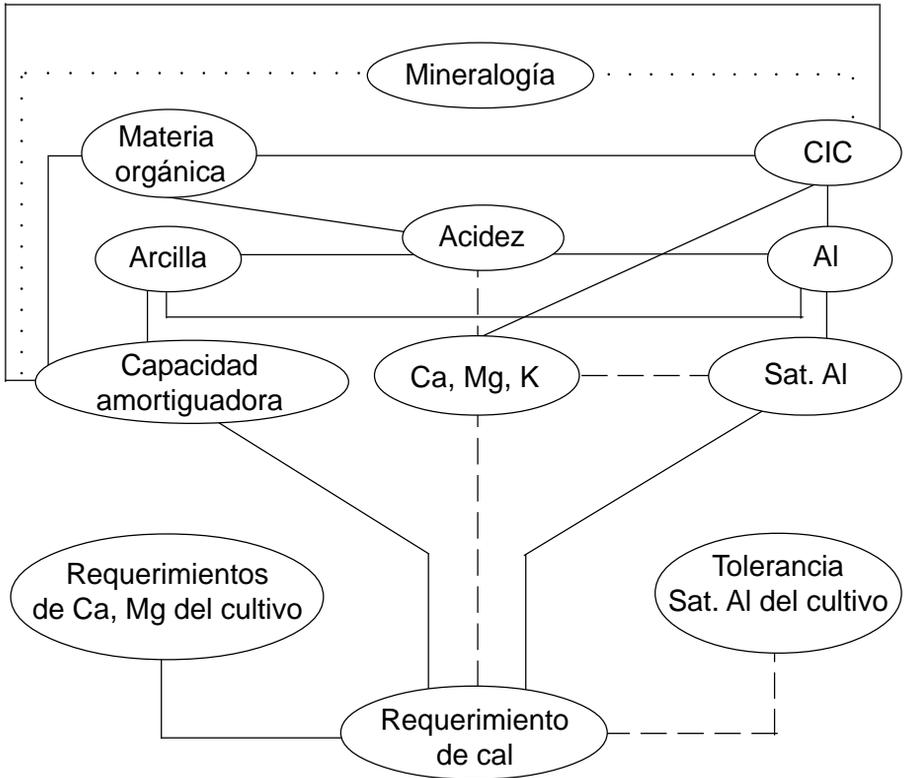
#### *Determinación de la época de aplicación*

La época de aplicación se refiere al período de tiempo con antelación a la siembra o fertilización en la que se debe aplicar la fuente. Ésta debe aplicarse con el suelo húmedo. Por lo tanto, para determinar la época de aplicación adecuada, se debe tomar en cuenta si el cultivo se encuentra bajo riego o no. Si no lleva riego se deben tomar en cuenta factores como la época y duración del período de lluvias, problemas de drenaje y profundidad del suelo. Si el cultivo es bajo riego, se debe tomar en cuenta la época de fertilización. La textura es un elemento de juicio muy importante, ya que indica la capacidad de retención de agua del suelo.

#### *Datos requeridos*

En la identificación de los subproblemas, además de hacer la descripción de las fases integrantes de cada una de ellas, también se indicaron los factores influyentes en la resolución de las

mismas. En la Figura 4 se indican las interrelaciones de los factores determinantes del requerimiento de cal (dosis).



**Leyenda:**

- Relaciones directas entre los elementos.
- - - - - Relaciones inversas entre los elementos.
- ..... El tipo de un elemento incide en los contenidos de otro.

**Figura 4. Determinación de la dosis. Conceptos e interrelaciones importantes.**

### *Términos importantes y sus interrelaciones*

**Aluminio (Al):** es un componente importante de la fracción mineral del suelo. En suelos con pH ácido ( $< 5,5$ ), generalmente, se encuentra en niveles tóxicos para cultivos susceptibles a este elemento. Los contenidos de aluminio están relacionados en una forma directa con los requerimientos de cal, ya que en la medida que dichos contenidos son mayores, también es mayor el requerimiento de cal del suelo.

**Aspecto de la solución:** el aspecto de la solución, en este caso, se refiere a la recomendación de encalado que debe producir el sistema. Como se indicó anteriormente, el sistema no sólo debe determinar la dosis de cal que requiere el suelo, sino también la fuente que se debe utilizar, la forma y época de aplicación de la misma. El Cuadro 3 detalla los elementos que incluye cada recomendación.

**Calcio (Ca):** es un elemento macronutriente del suelo. Es requerido en diferentes proporciones por diferentes cultivos, siendo las leguminosas las más exigentes. Los niveles de calcio de un suelo tienen una gran influencia en el requerimiento de cal del mismo. Niveles bajos de calcio se traducen en altos requerimientos de cal y viceversa. El calcio está muy relacionado con la textura del suelo; texturas gruesas tienden a ser deficientes en calcio y en texturas medias y finas existe una relación inversa entre los contenidos de calcio y aluminio.

**Capacidad amortiguadora:** es una propiedad del suelo que impide que sufra cambios apreciables de pH cuando se le aplica una enmienda. Esta capacidad amortiguadora depende de los contenidos de arcilla, de la composición mineralógica del suelo (tipo de arcilla, óxido de hierro y aluminio) y del contenido de materia orgánica. En general, cuando hay mayor contenido de arcilla de tipo 2 a 1 y óxidos de hierro y aluminio en un suelo, éstos producen una mayor capacidad amortiguadora, lo que se

traduce a un requerimiento superior de cal (para elevar el pH a un nivel determinado).

**Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC):** es la capacidad que tiene el suelo para retener cationes en los sitios de adsorción y que pueden ser intercambiados de la fase sólida a la solución del suelo. La CIC incide sobre los contenidos de cationes intercambiables: calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), aluminio (Al) e hidrógeno (H). A mayor CIC, más alto es el contenido de estos elementos.

$$\text{CIC} = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Al} + \text{Na}$$

### Cuadro 3. Recomendación que genera el sistema.

Recomendación	Descripción
Dosis	Dosis de cal expresada en kg/ha de $\text{CaCO}_3$ . En el caso de cultivos perennes establecidos, la dosis se expresa en kg/árbol de $\text{CaCO}_3$ .
Fuente	Material de enmienda a utilizar.
Forma	Método de aplicación de la fuente.
Época	Período con antelación a la siembra o fertilización en que se debe aplicar la fuente.
Comentarios	Comentarios complementarios que señalan las posibles causas de situaciones no esperados o detectan errores en los datos.

**Condición del cultivo:** la condición del cultivo se aplica sólo en el caso de cultivos perennes y semiperennes, y se refiere a si éste ya ha sido sembrado o no en el momento de solicitarse la recomendación. Un cultivo sembrado se denomina cultivo establecido y uno que va a sembrarse se denomina cultivo por establecer.

**Cultivos:** es fundamental conocer, además de las propiedades del suelo, el cultivo sembrado o qué se desea sembrar en dicho suelo, ya que sus características específicas como requerimientos de calcio y magnesio, y el grado de tolerancia a la saturación de aluminio juegan un papel muy importante en el ajuste de una dosis. El requerimiento de magnesio de un cultivo también incide en la selección de la fuente. Otras características del cultivo como su duración y condición incide en la forma de aplicación de la fuente.

**Duración del cultivo:** la duración del cultivo se refiere a la longitud de su ciclo de vida. Los cultivos pueden ser anuales, perennes o semiperennes. Un cultivo anual es aquél cuyo ciclo de vida dura sólo un año. Los cultivos perennes poseen ciclos de vida mayor que el de los cultivos semiperennes. La duración de un cultivo incide en la forma de aplicación de la fuente.

**Grupos texturales:** comprende la agrupación de diferentes texturas, de acuerdo con las propiedades afines que ellas exhiben en función de los contenidos de arena, limo y arcilla, y que condicionan el comportamiento del suelo en cuanto a la dinámica del agua y los nutrientes.

**Magnesio (Mg):** es un elemento secundario del suelo. Es un nutriente indispensable para los cultivos. En suelos ácidos se encuentra en niveles bajos, lo que puede producir deficiencia del mismo. Tiene importancia para la recomendación de encalado, sobre todo cuando el suelo ha sido encalado sólo con materiales

calcínicos, lo cual conduce a un desbalance nutricional. Los cultivos tienen requerimientos variables de magnesio. Aun cuando un suelo no requiera ser encalado, si el cultivo es exigente en magnesio o existe desbalance entre los contenidos de calcio y magnesio de dicho suelo, se le debe aplicar una fuente que contenga este elemento.

**Materia orgánica (MO):** es el producto final de la descomposición de los residuos animales y vegetales en el suelo. La materia orgánica incide en las propiedades físico-químicas del suelo, originando una mayor retención de nutrientes, así como también en las concentraciones de aluminio en la solución del suelo, debido a que forma complejos con este elemento disminuyendo su actividad. La materia orgánica libera iones  $H^+$ ; por tanto, es fuente de acidez. También afecta a la saturación de aluminio del suelo, debido a su acción simultánea sobre el aluminio y la retención de nutrientes, lo cual ocasiona que a mayor contenido de materia orgánica, menor es la saturación de aluminio.

**pH:** es una propiedad del suelo que mide la actividad de iones  $H^+$  en la solución del suelo. Es una medida de la reacción del suelo; es decir, de su acidez o alcalinidad. Se considera un suelo como ácido cuando su pH es  $\leq 5,5$ . El pH influye en la disponibilidad de los nutrientes. En general, en la medida que el pH es más ácido hay una disminución de los contenidos de los nutrientes, como calcio, magnesio, fósforo y hay un aumento en la solubilidad de micronutrientes y de otros elementos, como el aluminio, los cuales pueden alcanzar niveles de toxicidad. Por lo tanto, los suelos ácidos se caracterizan por su baja fertilidad natural, lo que implica un mayor requerimiento de cal.

**Mineralogía:** tipos de minerales que contiene el suelo, como: silicatos, óxido y otros. La mineralogía incide en la capacidad amortiguadora y en CIC. Tanto la mineralogía de un suelo como su CIC se puede variar de acuerdo con el orden taxonómico del suelo.

**Saturación de aluminio (Sat Al):** representa la proporción de aluminio con relación a la capacidad de intercambio de cationes del complejo de intercambio.  $Sat\ Al = Al/CIC \times 100$

Suelos con mayor saturación de aluminio tienen, generalmente, mayor requerimiento de cal. Los cultivos tienen distintos grados de tolerancia a la saturación de aluminio de un suelo, lo cual es un parámetro de decisión muy importante para hacer el ajuste de una dosis de cal.

**Textura:** propiedad física del suelo que está determinada por la combinación de las diferentes partículas minerales del suelo (arcilla, arena, limo). El contenido de arcilla de un suelo incide en su capacidad amortiguadora. Suelos más arcillosos, texturas finas, tienen una mayor capacidad amortiguadora, lo que se traduce en un mayor requerimiento de cal. Por el contrario, suelos más arenosos, texturas gruesas, tienen una capacidad amortiguadora menor y, por ende, un requerimiento de cal también menor. La textura también incide en la capacidad de retención de agua y nutrientes del suelo. Los suelos más arenosos tienen una capacidad de retención de agua menor. Esta capacidad de retención aumenta en relación directa con los contenidos de arcilla, lo cual influye en la época de aplicación de la cal. En cuanto a la retención de nutrientes, a mayor cantidad de arcilla, mayor es la capacidad de retención de los mismos.

De los conceptos aquí descritos, se puede observar que la determinación de la dosis es la tarea que involucra el mayor número de conceptos e interrelaciones, los cuales se muestran en la Figura 4. Con este punto culmina la descripción que cubre la identificación del problema.

## Identificación de recursos

**Hardware:** tal como fue señalado anteriormente, el objetivo de la presente actividad es el desarrollo de un sistema computarizado sobre la formulación de recomendaciones de enclado, mediante la tecnología del Sistema Experto, que pueda ser acoplado al sistema de información del SNAS, el cual funcionará en un conjunto de computadoras, localizadas en la red de Laboratorios de Suelos para recomendaciones de fertilizantes y enmiendas del INIA.

Por lo tanto, es condición para el sistema de recomendaciones que opere en el hardware escogido para el sistema de información del SNAS. La configuración establecida para las computadoras es la siguiente:

- Computadora 486 o superior.
- Memoria RAM mínima 16 Mb.
- Unidad de disco flexible de 3½".
- Sistema operativo DOS versión 3 o superior.
- El programa requiere 2 Mb de espacio libre en el disco duro.

**Software:** en la descripción de la metodología se mencionó la existencia de una gran diversidad de herramientas de desarrollo de Sistemas Expertos. Sin embargo, dichas herramientas sólo pueden ser adquiridas en los Estados Unidos de Norteamérica (EUA), lo cual dificulta en gran medida un proceso de selección riguroso. Se descartó la posibilidad de utilizar lenguajes de programación convencionales, los cuales sí están disponibles en el país, por el esfuerzo de programación requerido y los escasos

recursos humanos asignados, lo cual es agravado por el hecho de no tener experiencias previas en este tipo de desarrollos.

Ante las restricciones presentes se decidió analizar la herramienta utilizada por el sistema ACID, denominada EXSYS (Expert System Development Package), ya que al haberse utilizado para desarrollar el mismo problema, se presumió que podía ser adecuada. Los factores tomados en cuenta para decidir la adquisición de EXSYS fueron su costo, hardware requerido, esquema de representación utilizado y facilidades de operación.

**Esquema de representación:** un parámetro muy importante para determinar si un paquete de desarrollo de Sistemas Expertos es adecuado para un problema particular, es el esquema que utiliza para representar el conocimiento involucrado en la solución del problema.

En la identificación del problema se determinó la formulación de recomendaciones, el cual es un problema con varias alternativas de decisión en cada paso del mismo. En la revisión de literatura se estudiaron varios esquemas de representación del conocimiento. De estos esquemas, el más comúnmente usado es un conjunto de *reglas*, el cual es ideal para la representación de recomendaciones, directivas, estrategias y, en general, para el tipo de problema como el presente (con numerosas alternativas de decisión).

El EXSYS es un paquete de desarrollo basado en *reglas*. Por lo tanto, se presumió que podría representar adecuadamente el conocimiento involucrado en la formulación de recomendaciones, lo cual pudo ser demostrado en la fase de formalización.

**Facilidades de uso:** el último factor tomado en cuenta también dio un resultado satisfactorio. El EXSYS probó ser una herramienta fácil de utilizar, tanto durante el desarrollo del sistema,

como también durante su operación una vez terminado el mismo. Esto se demostró a través del uso del sistema ACID. Con todos estos factores a su favor, además del hecho que ya se habría desarrollado con éxito para un problema análogo, se decidió utilizar este paquete como la herramienta de desarrollo y se procedió a su adquisición. En esta primera fase también se identifica el tiempo requerido para el desarrollo del sistema, así como los objetivos perseguidos con el mismo.

### **Identificación de objetivos**

Los objetivos del desarrollo del Sistema Experto para la formulación de recomendaciones de encalado son los siguientes:

- Automatizar el proceso de formulación de recomendaciones de encalado a través de una tecnología idónea para este tipo de tarea.
- Formalizar el conjunto informal de criterios existentes sobre encalado, derivados de la experiencia de los especialistas en la materia y que, precisamente por su carácter informal, no han sido registrados en forma alguna.
- Recopilar la experiencia existente a nivel nacional, ya sea para reunirla en un solo sistema o para repartirla en sistemas de carácter regional, lo cual dependerá del volumen de los conocimientos recopilados.
- Asistir a las personas encargadas de producir las recomendaciones de encalado.
- Acoplar el sistema desarrollado al sistema de información del SNAS, ya sea como un componente del mismo o como un sistema interrelacionado.

Se estima que la información recopilada a nivel de fincas o cultivos, pueda utilizarse en el futuro como base para estimaciones de necesidades actuales y potenciales de cal, para lo cual se han desarrollado metodologías (Pérez y Gilabert, 1988).

Con la enumeración de los objetivos presentes en el desarrollo de este sistema, culminan los resultados obtenidos que se pueden ubicar dentro de la fase de identificación.

## **2. Fase de conceptualización**

En esta fase se detalló la descripción del problema, iniciado en la fase de identificación. En ella se definieron los subproblemas y tareas que componen el problema, los datos requeridos y los conceptos e interrelaciones involucrados en la solución del mismo. Sin embargo, no fue descrito el proceso seguido para determinar dicha solución. Esta descripción se obtuvo en la presente fase para cada una de las tareas definidas en la fase anterior, lo cual es expuesto a continuación.

Los procesos se describieron mediante Tablas de decisión. En este punto es importante recordar que en la exposición de las características generales del problema, se determinó que la formulación de recomendaciones de encalado puede representarse gráficamente a través de tablas o árboles de decisión. A continuación se muestra un ejemplo de una Tabla de decisión.

En esta etapa se requirió la interpretación de las diferentes determinaciones analíticas necesarias para definir las dosis de cal; es decir, los contenidos de calcio, fósforo, potasio, pH, textura, según se muestra seguidamente (Gilabert *et al.*, 1990).

Nivel de Interpretación	Ca (Morgan) ppm	P (Olsen) ppm	K (Olsen) ppm
Bajo	0 - 150	0 - 10	0 - 80
Medio	150 - 400	11 - 20	81 - 120
Alto	+ 400	+ 20	+ 120

pH ( 1:2,5 agua)

< 4,5  
4,51 - 5,0  
5,1 - 5,4

### Grupo texturales

*Textura gruesa:* Arenosa; Areno-francosa; Franco-arenosa.

*Texturas medias:* franco; Franco-arcilloso-arenosa; Franco-limosa; Franco-arcillosa; Arcilloso-arenosa.

*Textura finas:* Arcillosa; Arcillo-limosa; Franco-arcillo-limosa.

### Materia orgánica (MO)

Grupos texturales	% MO		
	Bajo	Medio	Alto
Gruesas	- 1,5	1,5 - 3,0	+ 3,0
Medias	- 2,0	2,0 - 4,0	+ 4,0
Finas	- 3,0	3,0 - 5,0	+ 5,0

## Tabla de Decisión

### Reglas

Condiciones	86	87	88	89	90				
Clase textural es gruesa		X	X	X					
pH < 5,5			X						
Nivel de Ca Medio Alto		X	X	X					
pH < 4,0				X	X				
Cultivo es frutal					X				
Cultivo establecido					X				
pH suelo > 5,5	X	X							
Cultivo es otro (no frutal)					X				
Requerimiento de calcio	X								
del cultivo es bajo									
Nivel de calcio es bajo	X								
Conclusiones									
No se recomienda cal	X	X							
Req. cal = req. cal x 1,5					X				
Revisar				X					
Se espera Ca bajo			X						

### 3. Fases de formalización e implementación

En estas fases se expresó la información obtenida en la fase anterior, en forma de reglas y se introdujo a la computadora por el ingeniero de conocimiento. En esta primera versión del Sistema Experto, se desarrollaron 227 reglas, en las cuales las primeras 33 corresponden a las interpretaciones en las determinaciones analíticas de textura, niveles de calcio, fósforo, potasio, materia orgánica y pH. Se incluyeron las interpretaciones de fósforo, potasio y materia orgánica, por cuanto constituyen información adicional que ayuda en la interpretación de los resultados cuando las muestras de suelo no tiene otra información complementaria y los niveles de estas determinaciones son altas, ya que son un indicio del nivel de fertilidad del suelo o del manejo a que ha sido sometido.

A partir de la regla número 34 se refiere a la información de cultivos que condicionan la dosis a recomendar, es decir, tipo de material genético (híbridos, cultivares, etc), cuando se dispone de sus requerimientos en calcio o grado de adaptación a suelos ácidos, tipo de cultivo en cuanto a ciclo de vida (anual, perenne). Cuando es un frutal se considera el área efectiva de acuerdo con la edad del árbol, igualmente, si el frutal está establecido o por establecer la plantación. Esta información también se procesa para el caso de pastos. Así mismo, se considera si el cultivo ha sido fertilizado o encalado anteriormente.

Se incluyen recomendaciones de cal para los cultivos siguientes:

**Sorgo:** se considera la tolerancia diferencial a la acidez entre híbridos.

**Caraota:** se considera la tolerancia diferencial a la acidez entre variedades.

Ajonjolí, frijol, algodón, maíz, tabaco, caña de azúcar, piña, café y yuca.

**Pastos:** se considera la tolerancia a la acidez y requerimientos de calcio diferenciales entre especies (Cuadro 5).

### **Hortalizas:**

**Frutales:** lechosa, cambur, cítricos, guayaba, durazno, manzana, aguacatero, guanábana, mango. En los cultivos arbóreos se consideran las áreas efectivas de los árboles para el cálculo de la dosis a aplicar, por lo cual, donde se tiene información de radio de copa de diferentes cultivares se incluye ésta (naranja, aguacate), por el efecto de los hábitos de crecimiento sobre el desarrollo de la copa (Cuadro 6).

A continuación se muestran ejemplos de reglas representativas de las diferentes situaciones cubiertas por el Sistema Experto:

#### **Regla No. 1**

Si: la textura es a o aF o Fa

Entonces: la clase textural es *gruesa*

#### **Regla No. 2**

Si: el Ca < 150

Entonces: el nivel de calcio es *bajo*

**Cuadro 5. Grado de tolerancia al aluminio intercambiable y exigencias en calcio de algunas especies de pastos (López *et al.*, 1988).**

Especies	Grado de tolerancia	Exigencia en calcio	Interpretación para el instructivo
<b>Gramíneas</b>			
<i>Panicum maximum</i>	Alta	Alta	TA
<i>Hyparrhenia rufa</i>	Media	ND	ND
<i>Andropogon gayanus</i>	Alta	Media	TM
<i>Melinis minutiflora</i>	Alta	Media	TM
<i>Cenchrus ciliaris</i>	Baja	ND	T
<i>Brachiaria humidicola</i>	Alta	Baja	TB
<i>B. decumbens</i>	Alta	Media	TM
<i>B. brizantha</i>	Alta	Media	TM
<b>Leguminosas</b>			
<i>Pueraria phaseoloides</i>	Alta	Media	TM
<i>Centrosema pubescens</i>	Alta	Media	TM
<i>C. macrocarpum</i>	ND	ND	-
<i>Stylosanthes capitata</i>	Alta	Baja a media	TB-M
<i>Desmodium ovalifolium</i>	Alta	Media	TM

T = Tolerante.

TB = Tolerante y baja exigencia de calcio.

TM = Tolerante y media exigencia de calcio.

TA = Tolerante y alta exigencia de calcio.

S = Susceptible a la acidez.

ND = No disponible.

Fuente: Cordero *et al.* (1983) y López *et al.* (1988)

**Cuadro 6. Edad, radio de copa y superficie efectiva de diferentes frutales (López, 1987).**

Cultivo	Edad (años)	Radio-copa (m)	Superficie efectiva (m <sup>2</sup> /árbol)
Guayaba (1,2)	3 a 4	1,675	8,81
	8 a 10	3,165	38,70
	14 a 15	3,510	38,70
Aguacatero (2)			
Cultivar Choquette	2 a 3	1,50	7,07
	4 a 5	2,20	15,21
	6	2,50	19,64
Cultivar Pollock	2 a 3	1,50	7,01
	4 a 5	1,60	8,04
	6	2,40	18,09
Mango (2)	2	0,80	2,01
	4	1,55	7,55
	6	2,02	12,82
	8	2,69	22,73
	10	3,36	35,47
	12	3,97	49,51
	14	4,71	69,69
16	5,38	90,93	
Naranja 'Valencia' (2) injertada sobre cajera ( <i>Citrus aurantium</i> )	2	0,88	2,43
	4	1,41	6,25
	6	1,53	7,35
	8	1,61	8,14
	10	1,81	10,29
	14	1,99	12,44
	18	2,10	13,85

### Regla No. 3

Si: la textura es Fa y  $MO < 1,75$

Entonces: el nivel de materia orgánica es *bajo*

### Regla No. 4

Si: el  $P < 10$

Entonces: el nivel de fósforo es *bajo*

### Regla No. 5

Si: el  $pH \geq 4,0$  y  $pH < 4,5$

Entonces: el valor de pH es 4,0 - 4,5

### Regla No. 6

Si: el cultivo es sorgo y el híbrido de sorgo es Chaguaramas.

Entonces: el grado de tolerancia a la acidez del cultivo es *alto*, el requerimiento de calcio del cultivo es *no determinado* y el requerimiento de magnesio del cultivo es *no determinado*.

### Regla No. 7

Si: el cultivo es caraota y la variedad de caraota es cáscara blanca, amarilla o parda.

Entonces: el grado de tolerancia a la acidez del cultivo es *bajo*, el requerimiento de calcio del cultivo es *no determinado* y el requerimiento de magnesio del cultivo es *no determinado*.

### **Regla No. 8**

Si: el cultivo es pasto y la especie de pasto es *Andropogon gayanus*, *Melinis minutiflora*, *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria brizantha*, *Pueraria phaseoloides*, *Centrosema pubescens*, *Stilosanthes capitata* o *Desmodium ovalifolium*.

Entonces: el grado de tolerancia de acidez del cultivo es *alto*, el requerimiento de calcio del cultivo es *medio* y el requerimiento de magnesio del cultivo es *no determinado*.

### **Regla No. 9**

Si: el cultivo es piña. El tipo de cultivo es frutal y la duración del cultivo es semiperenne.

Entonces: el grado de tolerancia a la acidez del cultivo es *alto*, el requerimiento de calcio del cultivo es *alto* y el requerimiento de magnesio del cultivo es *alto*.

### **Regla No. 10**

Si: el cultivo es algodón. El tipo de cultivo es otro y la duración del cultivo es anual.

Entonces: el grado de tolerancia a la acidez del cultivo es *bajo*, el requerimiento de calcio del cultivo es *no determinado* y el requerimiento de magnesio del cultivo es *no determinado*.

### **Regla No. 11**

Si: la clase textual es  *fina*, el valor de pH es 4,5 - 5,0 y el valor de calcio es *medio*.

Entonces: el requerimiento de cal es 1000.

Nota: dosis que señala el instructivo en estas situaciones.

## **Regla No. 12**

Si: el valor del pH es 4,0 - 4,4, el nivel de calcio es *bajo*, el suelo ha sido fertilizado o ha sido encalado, el grado de tolerancia a la acidez del cultivo es *alto* y el requerimiento de calcio del cultivo es *alto* o *no determinado*.

Entonces: el requerimiento de cal es dado por el valor de 0,5 x requerimiento de cal del instructivo.

Nota: como el cultivo es tolerante a la acidez, se considera suficiente aplicar la mitad de la dosis que indica el instructivo para suplir el calcio que requiere el cultivo. Si no se conoce el requerimiento de calcio del cultivo, se considera prudente tratarlo como si fuera exigente en este elemento. Cuando el suelo es vírgen (no ha sido encalado ni fertilizado previamente) no se reduce la dosis del instructivo para asegurarle al cultivo nutrientes en forma suficiente.



## Bibliografía consultada

- AVILÁN R., L.; MILLÁN M., F. 1984. Consideraciones acerca de los sistemas de plantación del guayabo (*Psidium guajaba*, L.) en Venezuela. *Agronomía Tropical (Ven.)* 34 (4-6):69-80.
- AVILÁN R., L. s/f. Observaciones sobre sistemas de plantación de algunos frutales perennes en Venezuela. Mimeografiado. 25 p. Sin publicar.
- BERMEJO, S. H. A. s/f. El tamaño de partícula como medida de la eficacia de los materiales encaladores agrícolas. Universidad de Oriente. Escuela de Ingeniería Agronómica. Departamento de Agronomía. Mimeografiado. 13 p.
- CARRERO, L.; GILABERT DE B. J.; GONZÁLEZ R., T. E.; LÓPEZ DE R., I.; PÉREZ, S. R.; RAMÍREZ, R.; SÁNCHEZ, A. 1986. Instructivo general de fertilización de cultivos. Caracas, Ven., Ministerio de Agricultura y Cría. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 52 p.
- CORDERO, M. J.; OROPEZA, H.; RODRÍGUEZ C., S. 1983. Pasto sabanero (*Andropogon gayanus*). Maracay, Ven., Centro Nacional de Investigaciones Agronómicas. 24 p. (Serie B No. 4-02).
- CHIRINOS, A. V.; LÓPEZ DE R., I.; GONZÁLEZ R., T.; PÉREZ, S. R. 1977. Análisis de suelos con fines de fertilidad. Aspectos básicos de un programa de análisis de suelos con fines de fertilidad. Maracay, Ven., Ministerio de Agricultura y Cría. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 76 p.
- GILABERT DE B., J.; LÓPEZ DE ROJAS, I.; PÉREZ DE R., R. (comp.). 1990. Manual de métodos y procedimientos de referencia. Análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad. Ver-

sión preliminar. Maracay, Ven., Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 164 p.

- LÓPEZ DE R., I. 1982. Requerimientos de cal de los suelos de Venezuela. I. Correlación entre métodos químicos y procedimientos de incubación. *Agronomía Tropical (Ven.)* 32 (1-6):125-145.
- LÓPEZ DE R., I. 1983. Requerimientos de cal de los suelos de Venezuela. II. Evaluación de métodos químicos a través de la respuesta del cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum* L.). *Agronomía Tropical (Ven.)* 33 (1-6):83-102.
- LÓPEZ DE R., I.; COMERMA, J. 1985. Caracterización de los suelos ácidos de Venezuela a través de algunas propiedades físicas y químicas. *Agronomía Tropical (Ven.)* 35(1-3):83-110.
- LÓPEZ DE R., I. 1986. Efectos de diferentes fuentes de enmiendas sobre la reacción del suelo y respuesta del cultivo de sorgo. *Agronomía Tropical (Ven.)* 36(1-3):129-141.
- LÓPEZ DE R., I. 1987. Criterios para la recomendación de cal en frutales perennes. Maracay, Ven., Ministerio de Agricultura y Cría. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay, Ven. 9 p. (Serie D No. 11).
- LÓPEZ DE R., I.; GILABERT DE B., J.; PÉREZ, S. R. 1988. Instructivo para la recomendación de cal en pastos cultivados. Maracay, Ven., Ministerio de Agricultura y Cría. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 15 p. (Serie D No. 10).
- LÓPEZ DE R., I.; SÁNCHEZ, A. 1990. Criterios para recomendaciones de cal en suelos ácidos de Venezuela. Maracay, Ven., Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 32 p. (Serie B No. 8).

- PÉREZ, S. R.; GILABERT DE B., J. 1988. Estimaciones de las necesidades actuales y potenciales de fertilizantes y enmiendas en función de los análisis de suelos. II. Caso 1989. Bases técnicas para las estimaciones a nivel nacional. Maracay, Ven., Ministerio de Agricultura y Cría - Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias - Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (Serie C No. 20).
- PUSHPARAJAH, E.; BACHIK, A. T. 1985. Management of acid tropical soils (Ultisols and Oxisols) in south-east Asia. Inaugural Workshop and Tropical Soil Management, Network. Perú. Brazil. Mimeografiado. 44 p.
- RODRÍGUEZ, T.; TENÍAS, J.; PARAQUEIMA, J. 1982. Prácticas de encalado en maní. Fonaiaip Divulga (Ven.) 1(7):15-16.
- SÁNCHEZ, P. A. 1981. Suelos del trópico, características y manejo. Traducido por Edilberto Camacho. San José, C. R., Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- SELL, P. S. 1985. Expert systems a practical introduction. Halsted Press. A Division of John Willey and Sons. N. Y.
- SOLÓRZANO, P. R. s/f. Comportamiento de híbridos nacionales de sorgo granífero en suelos ácidos. Mimeografiado. 20 p.
- VENEZUELA. MINISTERIO DE FOMENTO. Comisión venezolana de normas industriales. 1977. Norma venezolana cedazos de ensayo. Análisis especial. Covenin 254-77. 5 p.
- VENEZUELA. MINISTERIO DE FOMENTO. Comisión venezolana de normas industriales. s/f. Enmiendas calizas agrícolas S.1. Covenin, Norma 12. 2014.
- WATERMAN, D. A.; HAYES ROTH, I.; LENAT, D. B. (eds). 1983. Building Expert Systems. Addison Wesley Publishing Company, Inc.



ISBN: 978-980-318-247-2



9 789803 182472