

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**  
*Facultad de Recursos Naturales y del  
Ambiente*

**TRABAJO DE DIPLOMA**



**MODELOS DE EVALUACIÓN DE TIERRAS EN EL CULTIVO DEL  
MAIZ (Zea mays), CONSIDERANDO EL EFECTO DEL CAMBIO  
CLIMATICO A ESCALA NACIONAL, CON EL SISTEMA  
AUTOMATIZADO (ALES).**

Autores:  
Br. Carmen Dávila  
Br. Eveling Ramos

Tutor: Georgina Orozco Sequeira.  
Asesor: Jorge Rodríguez Rubí.

Managua Nicaragua, Julio del 2001.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**  
*Facultad de Recursos Naturales y del  
Ambiente*

**TRABAJO DE DIPLOMA**



**MODELOS DE EVALUACIÓN DE TIERRAS EN EL CULTIVO DEL  
MAIZ (Zea mays), CONSIDERANDO EL EFECTO DEL CAMBIO  
CLIMÁTICO A ESCALA NACIONAL, CON EL SISTEMA  
AUTOMATIZADO (ALES).**

Autores:  
Br. Carmen Dávila  
Br. Eveling Ramos

Tutor: Georgina Orozco Sequeira.  
Asesor: Jorge Rodríguez Rubí.

Managua Nicaragua, Julio del 2001

## INDICE GENERAL

	<b>página</b>
Indice de Cuadros	I
Indice de Anexos	II
Indice de figuras	III
Indice de Mapas	IV
Resumen	V
Summary	VI
Dedicatoria	VII
Agradecimiento	VIII
<b>I. INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
Objetivo General	3
Objetivos Específicos	3
<b>II. REVISION DE LITERATURA</b>	<b>4</b>
2.1 Requerimientos Edafoclimáticos del cultivo del maíz	4
2.2 Zonas Agroecológicas aptas para el cultivo del maíz	4
2.3 Fisiología del maíz	5
2.4 Manejo del cultivo del maíz	6
2.5 Niveles Tecnológicos	9
2.6 Aspectos Socio Económicos del cultivo del maíz	9
2.7 El Sistema de Evaluación de Tierras según la FAO	10
2.8 El Sistema Automatizado para Evaluación de Tierras (ALES)	11
2.9 Cambios Climáticos	11
2.10 Conceptos	12
<b>III MATERIALES Y METODOS</b>	<b>15</b>
3.1 Descripción del área de estudio	15
3.2 Aspectos Productivos	16
3.3 Procedimiento para Evaluación de Tierras	17

3.3.1	Aspectos físicos	17
3.3.2	Aspectos biológicos	17
3.3.3	Aspectos teóricos	17
3.4	Consultas iniciales	18
3.4.1	Definición de la zona de estudio, clase primordial de uso y tipos de uso de la tierra	18
3.4.1	Recolección de información	19
3.5	Definición de las cualidades, características, requisitos de uso y clases de aptitud de la tierra	21
3.6	Definición de escenarios climáticos	23
3.7	Construcción y manejo del sistema experto con el Sistema Automatizado de Evaluación de Tierras ALES	24
3.7.1	Estructura del programa	24
3.7.2	Proceso de cómputo para evaluación de tierras	25
<b>IV</b>	<b>RESULTADOS</b>	27
5.1	Resultados de aptitud de la tierra	27
5.2	Resultados de rendimiento de la tierra	39
<b>V</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	44
<b>VI</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	46
<b>VII</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	47

## INDICE DE CUADROS

	<b>Página</b>
Cuadro 1: Requerimiento edafoclimáticos del cultivo del maíz	4.
Cuadro 2: Zonas Agroecológicas aptas para el cultivo del maíz	5
Cuadro 3: Requisitos y uso de la tierra para maíz.	22
Cuadro 4: Escenarios climáticos para Nicaragua.	24

## INDICE DE ANEXOS

	<b>Página</b>
1- Distribución por departamentos de las áreas aptas para maíz.	49
2- Mapa de temperatura media anual	50
3- Mapa de precipitación media anual	51
4- Mapa de limitantes del suelo	52
5- Mapa de periodo canicular	53
6- Mapa del perfil del suelo	54
7- Ejemplo de Arbol de decisión.	55
8- Características típicas de los grupos de perfiles	56
9- Características limitantes físico-químicas.	56
10- Clasificación de la topografía y rangos de pendientes.	57
11- Rangos de temperatura y precipitación.	57
12- Periodos caniculares.	58

## INDICE DE GRAFICOS

	<b>Página</b>
1- Evaluación actual de la aptitud física del cultivo del maíz por hectáreas a escala nacional.	28
2- Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 1 (altamente apta), bajo un escenario optimista.	30
3- Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 2 (moderadamente apta), bajo un escenario optimista.	31
4- Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 3 (marginalmente apta), bajo un escenario optimista.	31

5- Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 4 (no apta actualmente), bajo un escenario optimista.	32
6- Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 5 (no apta permanentemente), bajo un escenario optimista.	32
7- Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 1 (altamente apta), bajo un escenario moderado.	33
8- Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 2 (moderadamente apta), bajo un escenario moderado.	34
9- Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz , en la clase de aptitud 3 (marginamente apta), bajo un escenario moderado.	34
10- Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 4 (no apta actualmente), bajo un escenario moderado.	35
11- Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 5 (no apta permanentemente), bajo un escenario moderado.	35
12- Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 1 (altamente apta), bajo un escenario pesimista .	37
13- Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 2 (moderadamente apta), bajo un escenario pesimista.	37
14- Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 3 (marginamente apta), bajo un escenario pesimista.	38
15- Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 4 (no apta actualmente), bajo un escenario pesimista.	38
16- Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 5 (no apta permanentemente), bajo un escenario pesimista.	39
17- Resultados del rendimiento actual en el cultivo del maíz en Kg/ha, bajo dos niveles tecnológicos a escala nacional para el año 2000.	40
18- Comportamiento del rendimiento del maíz en dos niveles tecnológicos bajo un escenario optimista, rendimientos en Kg/ha vs tres horizontes de tiempo.	41
19- Comportamiento del rendimiento del maíz en dos niveles tecnológicos bajo un escenario moderado, rendimientos en Kg/ha vs tres horizontes de tiempo.	41

20- Comportamiento del rendimiento del maíz en dos niveles tecnológicos bajo un escenario pesimista, rendimientos en Kg/ha vs tres horizontes de tiempo.	42
--	----

### INDICE DE FIGURAS

1. Esquema de evaluación de tierras FAO.	53
2. Funcionamiento del sistema automatizado de evaluación de tierras (ALES).	54

### INDICE DE MAPAS

	<b>Página</b>
1-A_ Aptitud de la tierra para el cultivo del maíz tradicional al espeque 2000 actual.	63
2-A_ Aptitud de la tierra para el cultivo del maíz tradicional al espeque 2010 optimista.	64
3-A_ Aptitud de la tierra para el cultivo del maíz tradicional al espeque 2030 optimista.	65
4-A_ Aptitud de la tierra para el cultivo del maíz tradicional al espeque 2100 optimista.	66
5-A_ Aptitud de la tierra para el cultivo del maíz tradicional al espeque 2010 moderado.	67
6-A_ Aptitud de la tierra para el cultivo del maíz tradicional al espeque 2030 moderado.	68
7-A_ Aptitud de la tierra para el cultivo del maíz tradicional al espeque 2100 moderado.	69
8-A_ Aptitud de la tierra para el cultivo del maíz tradicional al espeque 2030 pesimista.	70
9-A_ Aptitud de la tierra para el cultivo del maíz tradicional al espeque 2100 pesimista.	71
10-A_ Aptitud de la tierra para el cultivo del maíz tecnificado con bueyes 2000 actual.	72
11-A_ Aptitud de la tierra para el cultivo del maíz tecnificado con bueyes	

2010 optimista.	73
12-A_ Aptitud de la tierra para el cultivo del maíz tecnificado con bueyes	
2030 optimista.	74
13-A_ Aptitud de la tierra para el cultivo del maíz tecnificado con bueyes	
2100 optimista.	75
14-A_ Aptitud de la tierra para el cultivo del maíz tecnificado con bueyes	
2010 moderado.	76
15-A_ Aptitud de la tierra para el cultivo del maíz tecnificado con bueyes	
2030 moderado.	77
16-A_ Aptitud de la tierra para el cultivo del maíz tecnificado con bueyes	
2100 moderado.	78
17-A_ Aptitud de la tierra para el cultivo del maíz tecnificado con bueyes	
2030 pesimista.	79
18-A_ Aptitud de la tierra para el cultivo del maíz tecnificado con bueyes	
2100 pesimista.	80
1-B_ Rendimiento estimados para el cultivo del maíz tradicional al espeque	
2000 actual.	81
2-B_ Rendimiento estimados para el cultivo del maíz tradicional al espeque	
2010 optimista.	82
3-B_ Rendimiento estimados para el cultivo del maíz tradicional al espeque	
2030 optimista.	83
4-B_ Rendimiento estimados para el cultivo del maíz tradicional al espeque	
2100 optimista.	84
5-B_ Rendimiento estimados para el cultivo del maíz tradicional al espeque	
2010 moderado.	85
6-B_ Rendimiento estimados para el cultivo del maíz tradicional al espeque	
2030 moderado.	86
7-B_ Rendimiento estimados para el cultivo del maíz tradicional al espeque	
2100 moderado.	87
8-B_ Rendimiento estimados para el cultivo del maíz tradicional al espeque	
2030 pesimista.	88



9-B_ Rendimiento estimados para el cultivo del maíz tradicional al espeque 2100 pesimista.	89
10-B_ Rendimiento estimados para el cultivo del maíz tecnificado con bueyes 2000 actual.	90
11-B_ Rendimiento estimados para el cultivo del maíz tecnificado con bueyes 2010 optimista.	91
12-B_ Rendimiento estimados para el cultivo del maíz tecnificado con bueyes 2030 optimista.	92
13-B_ Rendimiento estimados para el cultivo del maíz tecnificado con bueyes 2100 optimista.	93
14-B_ Rendimiento estimados para el cultivo del maíz tecnificado con bueyes 2010 moderado.	94
15-B_ Rendimiento estimados para el cultivo del maíz tecnificado con bueyes 2030 moderado.	95
16-B_ Rendimiento estimados para el cultivo del maíz tecnificado con bueyes 2100 moderado.	96
17-B_ Rendimiento estimados para el cultivo del maíz tecnificado con bueyes 2030 pesimista.	97
18-B_ Rendimiento estimados para el cultivo del maíz tecnificado con bueyes 2100 pesimista.	98

Dávila Tellez, Ramos Rubí. (2001). Desarrollo de modelos para la evaluación de tierras en el cultivo del maíz (Zea mays), considerando el efecto del cambio climático a escala nacional, con el sistema automatizado de evaluación de tierras (ALES). Tesis para optar al título Ingeniero Agrónomo, Managua Nicaragua, Universidad Nacional Agraria.

## **RESUMEN.**

Nicaragua es el país más grande de Centroamérica con una extensión de 130,728 km<sup>2</sup>. El presente estudio fue conducido a escala nacional dentro del marco de cooperación del gobierno de Finlandia , el Ministerio del Ambiente y los recursos naturales de Nicaragua (MARENA) y el Instituto Nacional de Estudios Territoriales (INETER).

El objetivo general fue desarrollar dos modelos de evaluación de tierras en el cultivo del maíz evaluando el nivel de aptitud física y rendimiento del cultivo a escala nacional, valorando el efecto de un eventual cambio climático con ayuda del sistema automatizado de evaluación de tierras (ALES).

Para este estudio se aplicó el sistema de evaluación de tierra y su uso desarrollado por FAO desde 1976. Está constituido por dos subsistemas: a) uso de la tierra, a su vez con dos componentes (tipo de utilización y requerimiento de uso de la tierra) y b) la tierra, con dos componentes (unidad de la tierra y propiedades); mediante la armonización entre los requisitos de uso de la tierra y las cualidades de dichas unidades, se determinaron las clases de aptitud. Para ello se utilizó el sistema automatizado de evaluación de tierras ALES. Este programa no contiene conocimientos de la tierra, es un esqueleto donde el evaluador concentra información lógica que le permite construir su propio sistema experto; como resultado se determinaron dos tipos de utilización: Maíz Tradicional el espeque y Maíz Tecnificado con Bueyes; se construyó un sistema experto para cada uno y se evaluaron 3,004 unidades de tierra en términos físicos.

El ALES es un sistema que permite aumentar la base de datos y de conocimientos; cambiar parámetros y hacer evaluaciones en cualquier tiempo; por lo que se realizaron copias alteradas de la base de datos que contienen la información actual incluyendo los escenarios climáticos para Nicaragua que sugiere el Panel Intergubernamental de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

Como resultado se determinaron aptitud física de la tierra y rendimientos, actuales y bajo tres escenarios climáticos: pesimista, moderado, optimista, siendo el mas relevante el pesimista. Por lo que el nivel tecnológico de Maíz Tradicional al espeque posee más áreas altamente aptas en comparación a el otro nivel con 59,084 hectáreas aumentando estas áreas para el 2,100 bajo un escenario pesimista a 75,276 hectáreas; y el nivel de más rendimientos es el Maíz Tecnificado con Bueyes (MTB), con rendimientos promedios de 1,864.95 Kg/ha, aumentando este en los escenarios climáticos, destacándose el escenario con mejores resultados el pesimista con rendimientos en MTB de 1,998 Kg/ha al 2,100; por lo que es el que propone mayores cambios en el clima ya que Nicaragua posee zonas con altas precipitaciones y muy bajas temperaturas para el cultivo como es el caso de la Costa Atlántica.

Dávila Tellez, Ramos Rubí. (2001). develop of models for the evaluation of lands in the cultivation of the corn (Zea mays), considering the effect from the climatic change to national scale, with the automated system of evaluation of lands (ALES). Thesis to opt to the title Agricultural Engineer, Managua Nicaragua, Agrarian National University.

## ABSTRACT

Nicaragua is the biggest country in Central America with an extension of 130,728 km<sup>2</sup>. The present study was led to national scale inside the mark of the government's from Finland cooperation, the Ministry of the Atmosphere and the natural resources of Nicaragua (MARENA) and the National Institute of Territorial Studies (INETER).

The general objective was to develop two models of evaluation of lands in the cultivation of the corn evaluating the level of physical aptitude and yield from the cultivation to national scale, valuing the effect of an eventual climatic change with the help of the automated system of evaluation of lands (ALES).

For this study the system of earth evaluation and their use developed by FAO from 1976 was applied. This constituted by two subsystems: a) use of the earth, in turn with two components (use type and requirement of use of the earth) and b) the earth, with two components (unit of the earth and properties); by means of the harmonization between the requirements of use of the earth and the qualities of this units, the aptitude classes were determined. For it was used it the automated system of evaluation of lands ALES. This program doesn't contain knowledge of the earth, it is a skeleton where the appraiser concentrates logical information that allows him to build its own expert system; as a result two use types were determined: Traditional Corn the espeque and corn Tecnificated with Oxen; an expert system was built for each one and 3,004 earth units were evaluated in physical terms.

The ALES is a system that allows to increase the database and of knowledge; to change parameters and to make evaluations in any time; for what you/they were carried out altered copies of the database that contain the current information including the climatic scenarios for Nicaragua that suggests the Intergovernmental Panel of the United Nations about the Climatic Change.

As a result physical aptitude of the earth and yields were determined, current and lower three climatic scenarios: pessimist, moderate, optimist, being the but excellent the pessimist. For what the technological level of Traditional Corn to the espeque possesses more highly capable areas in comparison to the other level with 59,084 hectares increasing these areas for the 2,100 first floor a pessimistic scenario to 75,276 hectares; and the level of more yields is the corn Tecnificated with Oxen (MTB), with yields averages of 1,864.95 Kg/ha, increasing this in the climatic scenarios, standing out the scenario with better results the pessimist with yields in MTB of 1,998 Kg/ha at the 2,100; for what is the one that proposes bigger changes since in the climate Nicaragua it possesses areas with high precipitations and very low temperatures for the cultivation like it is the case of the Atlantic Cost.

## **DEDICATORIA**

**DE: CARMEN SUGEY DAVILA TELLEZ.**

Dedico todo mi esfuerzo a DIOS.

A mis padres Hugo Antonio Dávila Ortega y Vilma Téllez Ballesteros quienes me han educado y brindado su gran cariño y apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida.

A mi esposo Denis Bojorquez y mi hijo Dany Bojorquez Dávila, quienes por su apoyo y su existencia me alientan para seguir adelante y superarme todos los días de mi vida.

A mis hermanos: Keyner y Karen, por su colaboración para poder concluir este trabajo.

A mi tía Auxiliadora y sus hijas por tenderme una mano amiga cuando más lo necesité.

A mis hermanos en cristo Cuauthemoc y Wendy, por su gran ayuda y apoyo incondicional.

"Antes, en todas estas cosas somos más que vencedores por medio de aquel que nos amó." (Ro. 8:37)

## **DEDICATORIA**

### **DE EVELING DE LOS ANGELES RAMOS RUBI.**

Este trabajo lo dedico a Dios por haberme dado la oportunidad de superarme y culminar mi carrera.

A mi abuelita Paula de la Cruz Rubí Trujillo (q.e.p.d.), quien supo ser un ejemplo de superación enseñándome el valor del esfuerzo y la dedicación para superar mis metas.

A mis padres Francisco Antonio Ramos y Rosa María Rubí de quienes siempre recibí apoyo y confianza para seguir adelante en mis estudios.

A mis hermanos Milton, Asmilcar y Katia por ser mis amigos con quienes comparto todos mis triunfos y momentos difíciles.

## **AGRADECIMIENTOS.**

A Ph.D. Bruno Rapidel, Asesor Científico del proyecto de Cambios Climáticos, quien nos brindó la oportunidad de realizar este trabajo de investigación dándonos un gran apoyo a lo largo que nos acompañó.

A Ing. Jorge Rodríguez, por ser un excelente asesor y amigo, pieza fundamental de conocimientos y constante colaboración en la realización de este trabajo.

A Ing. Georgina Orosco, por tomarnos en cuenta para este estudio y además de habernos brindado sus valiosos conocimientos que fueron de gran ayuda para realizar la tesis.

A nuestra gran amiga, colaboradora, compañera de estudio y de trabajo; Liana Santamaría.

A Ing. Elías Manolo Bucardo por su amistad y apoyo incondicional a lo largo de este trabajo.

A M.Sc. Alberto Espinosa, Ing. Rafael Ovando y al técnico y productor Jose Useda, quienes por sus conocimientos y amplia experiencia colaboraron como expertos en la construcción de los modelos.

A todo el personal de la sala de SIG del MAG-FOR en especial al Ing Carlos Zúniga, por todo el apoyo que nos brindaron.

A Ing Bismark Mendoza, Ing. Guillermo Chávez e Ing. Gustavo Valverde por sus enseñanzas y contribuciones.

A Sr. Hugo Dávila por habernos apoyado con los medios necesarios para la elaboración del documento.

## I- INTRODUCCION

Las decisiones sobre el empleo de la tierra han constituido siempre parte de la evolución de la sociedad humana. En el mundo más poblado y complejo de nuestros días, frecuentemente se producen por el proceso de planificación del empleo de tierras (FAO,1976).

El manejo del uso de la tierra es una actividad que tiene como meta la determinación, el establecimiento y el mantenimiento de una combinación de sistemas de uso de la tierra hasta un potencial sostenible, el cual está determinado por un proceso más o menos cíclico de evaluación y definición de factores y procesos contribuyentes en un contexto físico, biológico, social, político y económico. Para hacer un manejo del uso de la tierra de manera adecuada, es necesario la planificación de la misma, considerada esta última como una actividad, cuya función es orientar las decisiones al respecto, de tal forma que los recursos ambientales permitan el uso beneficioso para el hombre, conservando al mismo tiempo esos recursos para el futuro (Moncada, 1991).

Los granos básicos constituyen uno de los principales componentes de la dieta nicaragüense y representa la base de la subsistencia de las pequeñas familias productoras. La producción de los mismos se encuentra diseminada por todo el territorio nacional y ocupa más del 60% de la superficie dedicada a la agricultura y cerca del 80% del área destinada a cultivos anuales. La producción de maíz se localiza principalmente en el sector campesino de escasos recursos cuyo manejo tecnológico en su mayor parte es tradicional (INTA,1995), por lo que existe una gran dependencia a las condiciones climáticas.

El conocimiento sobre el comportamiento del sistema climático afectado por el aumento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera se encuentra en constante evolución. Este comportamiento se puede representar a través de modelos que simulan el comportamiento futuro de condiciones climáticas globales que determinan las emisiones de gases de efecto invernadero, al mismo tiempo estas condiciones será la materia prima que determinará cómo las condiciones del clima responderán a estos

cambios; la combinación de ambas simulaciones será la base para la construcción de escenarios climáticos. Estos escenarios son posteriormente incorporados a dos modelos agrícolas por el sistema automatizado de tierras (ALES) para valorar los impactos que un clima cambiante pueda tener sobre la agricultura (MARENA, 2000).

El Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales de Nicaragua (MARENA) y el Instituto Nacional de Estudios Territoriales de Nicaragua (INETER) en cooperación del gobierno de Finlandia están desarrollando el estudio de la vulnerabilidad de los bosques, salud humana, la agricultura, la pesca y la producción de energía en varias zonas del país ante un potencial cambio en las condiciones actuales del clima. El objetivo primordial generar tres escenarios climáticos, uno pesimista, uno moderado y otro optimista, relacionados con escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, desarrollados por el panel intergubernamental de las naciones unidas sobre el cambio climático (IPCC) para sus diferentes reportes de evaluación de impactos (MARENA, 2000).

El cultivo seleccionado es el maíz, siendo los criterios utilizados para su selección la importancia agro socio-económica del mismo, la sensibilidad al cambio climático, disponibilidad de metodología y herramientas para el análisis. Por lo tanto se desarrollaron dos modelos para evaluación de tierras en el cultivo del maíz, utilizando los escenarios de cambios climáticos probables, en función de las emisiones previstas de gases de invernadero durante el próximo siglo.



## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

- Desarrollar dos modelos de evaluación de tierras en el cultivo del maíz (Zea mays), evaluar el nivel de aptitud física y rendimiento del cultivo a escala nacional, valorando el efecto de un eventual cambio climático utilizando el Sistema Automatizado de Evaluación de Tierras (ALES).

### **ESPECIFICO**

- Crear una base de datos de conocimientos proveniente de expertos en el cultivo del maíz.
- Diseñar dos modelos de evaluación para el uso de la tierra, utilizando el Sistema Automatizado para Evaluación de tierras (ALES, siglas en ingles).
- Evaluar la aptitud física y rendimiento de la tierra considerando los efectos del cambio climático en tres escenarios climáticos: optimista, moderado, pesimista, bajo tres horizontes de tiempo: 2010, 2030, 2100.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 Requerimientos edafoclimáticos del cultivo del maíz

El maíz es una planta que crece bien en suelos neutros o ligeramente ácidos, bien drenados, profundos, planos y textura franco a franco arcillosa. La producción tenderá a bajar drásticamente a medida que los suelos tengan drenaje más pobres, sean más alcalinos, más ácidos y más pesados; el maíz es un cultivo que se puede sembrar de 0-3800 msnm (MIDINRA, 1983).

Cuadro 1: Requerimientos edafoclimáticos del cultivo del maíz en Nicaragua.

Adaptabilidad	Temperatura °C	Precipitación mm/ciclo	Textura	Profundidad (cm)	Pendiente (%)	PH
Óptimo	19-24	700-850	Franco	+60	-15	Neutro
Bueno	15-19 24-28	500-700 850-1000	Franco-arenoso	40-60	15-30	Acido
Marginal	+28	-500 y +1000	Franco-arcilloso	-----	30 o mas	Acido/Alcalino

\*Guía tecnológica. INTA, 1995.

La planta de maíz se puede desarrollar en regiones que presenten módulos pluviométricos de 450-900mm, bien distribuidos durante la estación de crecimiento. Sin embargo aun esta cantidad no es suficiente si la humedad no puede ser almacenada en el suelo, ya sea por poca profundidad de estos o por escurrimiento o si la evaporación es grande por causa de elevadas temperaturas y la baja humedad relativa (Somarriba, 1998).

### 2.2 Zonas agro ecológicas aptas para el cultivo del maíz

El MAG (1996), realizó un estudio de zonificación que permite la elaboración de guías tecnológicas diferenciadas en zonas edafoclimáticas, por lo que se pueden definir zonas del país que cumplan con los requisitos de clima y suelo para el desarrollo vegetativo del maíz. En el Cuadro 2 se pueden observar la distribución porcentual por departamentos

de las áreas aptas para maíz. Con un total de áreas aptas a escala nacional de 472,651 Mz (Anexo 1).

Cuadro 2. Zonas Agroecológicas aptas para el cultivo del maíz en Nicaragua.

DEPARTAMENTOS	AREA %	DEPARTAMENTOS	AREA %
Chinandega	42.03	Nueva Segovia	3.3
León	21.9	Masaya	2.6
Rivas	8.8	Boaco	2.5
Jinotega	6.9	Carazo	2.3
Atlántico Norte	0	Managua	0
Madriz	0	Río San Juan	0
Estelí	0	Atlántico Sur	0
Granada	5.3	Matagalpa	.61
Chontales	3.3	Total de área	100

\*MAG,1996.

### 2.3 Fisiología del maíz

La planta de maíz incrementa su peso lentamente al principio del ciclo de crecimiento. a medida que más hojas se exponen a la luz solar, la tasa de acumulación de materia seca aumenta gradualmente, bajo condiciones favorables las partes aéreas de las plantas continuará en una tasa diaria constante hasta alcanzar la madurez. Los rendimientos más altos se obtienen cuando las condiciones ambientales sean favorables en todos los estadios de crecimiento. Condiciones desfavorables en los primeros estadios limitarán el tamaño de la hoja (maquina fotosintética). En los estadios mas tardíos, las condiciones desfavorables afecta el normal crecimiento del elote, disminuye el número de estilos dando como resultado una pobre polinización de los óvulos lo que reduce el número de granos por mazorca. El período total de crecimiento de la planta lo podemos dividir en dos: de la emergencia hasta la aparición de las barbas y de aquí hasta la madurez fisiológica, pudiendo señalar que es el primer período en el que puede ser mas afectado por factores como la temperatura y la humedad. La exigencia de agua y elementos nutritivos por parte de la planta están en relación directa con el aumento de la materia seca y disminuye en las etapas sucesivas a la formación del grano (Somarriba, 1998).

Según Somarriba (1998), el conocimiento de los distintos períodos de crecimiento y desarrollo de la planta es importante para realizar un adecuado manejo agronómico, los cuales se dividen en los siguientes períodos:

- © Germinación y afianzamiento de la plántula.
- © Desarrollo vegetativo.
- © Diferenciación de la panoja y la espiga.
- © Floración.
- © Desarrollo y maduración del grano.

## **2.4 Manejo del cultivo del maíz**

### **2.4.1 Preparación del suelo**

La preparación del suelo depende del sistema de producción que tiene cada región. El principal objetivo de la labranza es favorecer aquellos procesos naturales que crean en las tierras las condiciones más favorables para la germinación de semillas y el crecimiento de plantas. El pase de grada depende del tipo de suelo, En suelos de textura franca, lo más recomendable es un pase y en los arcillosos se pueden hacer dos o tres pases (dado las características de sus agregados). Desde el punto de vista de conservación, los suelos se tienen que roturar al mínimo, sin perder el objetivo del cultivo. (INTA, 1995).

### **2.4.2 Siembra**

En Nicaragua, la época de siembra del cultivo del maíz está de acuerdo a la precipitación de la zona o región. Para la costa del pacífico las épocas de siembra son conocidas como primera y postrera, pues en ellas se dan las condiciones ecológicas más favorables para la producción. Especialmente en cuanto a la menor incidencia de achaparramiento, enfermedad ampliamente difundida en el pacífico (MIDINRA, 1985).

#### ➤ SELECCION DE SEMILLAS

El uso de semillas de variedades criollas trae como consecuencia en la mayoría de los casos bajos rendimientos, por tanto es necesario fomentar el uso de variedades mejoradas, para lograr rendimientos altos lo cual requiere del conocimiento de sus características agronómicas para su adecuada recomendación. Ello significa tomar como criterio principal la región, ya que existen en el país diferentes variedades de maíces mejorados que presentan comportamiento diverso, especialmente en lo relacionado al período vegetativo (MIDINRA, 1985).

#### ➤ DENSIDAD DE POBLACION

La densidad de población esta condicionada por la humedad disponible en la zona o región, fertilidad natural o inducida del suelo, variedad así como el uso de la producción.

### **2.4.3 Control de malezas**

Experiencias en el campo han demostrado que las pérdidas causadas por malezas son de igual magnitud o mayores que las ocasionadas por insectos y enfermedades (MIDINRA, 1985); por tanto, el control de malezas debe ser sistemático e integrado: Control cultural, control químico, control mecánico.

### **2.4.4 Fertilización**

#### ➤ Fertilización de base.

Al momento de la siembra se debe fertilizar con una fórmula completa, por ejemplo 12-30-10 a 2 qq/Mz; o 16-36-00-2S, a 2 qq/Mz; Las fórmulas completas sin K se pueden usar debido a que los suelos del pacífico de Nicaragua son ricos en ese nutriente (INTA,1995).

- Fertilización complementaria.

Se debe proporcionar el N necesario para la planta y para el llenado del grano; se puede hacer en una sola aplicación de 3 qq/Mz de Urea al 46% de N a los 30 días. Aunque lo ideal sería aplicar la Urea fraccionada, 150 Lbs/Mz a los 20 días y 150 Lbs/Mz a los 40 días (INTA, 1995).

#### **2.4.5 Cosecha y postcosecha**

- Muestreo para determinar madurez fisiológica.

Para reconocer el momento de la madurez fisiológica puede observarse la base del grano, es decir la parte por la que se une al elote. El grano que ha terminado de transformar el almidón y proteína en sustancias de reserva tiene en su base una zona callosa negruzca conocida con el nombre del puntito negro. En ese momento el contenido de humedad del grano alcanza en 30 a 35% de humedad y se va secando de la corona hacia el punto de unión con el elote (INTA, 1995).

- Cosecha.

La cosecha del maíz se debe hacer en el momento oportuno. Antes de cosechar se debe de proceder a limpiar bien el lugar donde se va a guardar. Se debe de tener lista la mano de obra suficiente, los sacos y transporte y estar seguros de que el maíz tiene el grado de humedad adecuado para cosecharse (18-20%) (INTA, 1995).

- Secado del grano

Secar el grano es un paso muy importante para evitar daños, principalmente de hongos e insectos. La humedad para almacenar el grano es al 12%, y el secado del grano se puede hacer en trojas, carpas o en patios de cemento (INTA, 1995).

- Limpieza del grano.

Es importante eliminar las impurezas en el grano tales como restos de olotes, tuzas, hojas y tallos ya que pueden ser portadores de hongos e insectos que al encontrar condiciones adecuadas pueden incrementarse y ocasionar descomposición y calentamiento del grano (INTA,1995).

- Almacenamiento.

Construcciones adecuadas para el almacenamiento, son necesarias para que el agricultor tenga a salvo su cosecha. Un mal almacenamiento del grano provoca la pérdida de peso, de calidad, alimento y consecuentemente pérdida de dinero (INTA, 1995).

## **2.5 Niveles tecnológicos**

El cultivo del maíz significa una práctica común en nuestra agricultura tradicional a tal punto que se pretende con el manejo convencional lograr cosechas normales (MIDINRA, 1983). Los sistemas de producción se pueden clasificar en: Tecnificado, Semitecnificado y Tradicional que son utilizados con ayuda de tracción animal (bueyes).

## **2.6 Aspectos socio económicos del cultivo del maíz**

El cultivo del maíz ocupa un lugar importante en nuestra economía, principalmente como consumo humano por ser considerado una fuente alimenticia rico en calorías y carbohidratos, indispensables para un adecuado funcionamiento del organismo humano; representando uno de los alimentos de mayor consumo popular, además de ser materia prima básica del sector agro industrial. La producción de maíz se localiza principalmente en el sector campesino de escasos recursos cuyo manejo tecnológico en su mayor parte es tradicional.

### **2.6.1 Rendimientos**

El maíz tiene un comportamiento variable a lo largo del año en las cantidades demandadas y precios, no obstante el nivel de intensidad de las variaciones en la demanda por un lado y el precio por otro dependen de las características socioeconómicas de cada región (FAO, 1997).

La producción de este cultivo fue de 6.8 millones de qq, 3.5% superior a la producción del ciclo 1998-1999, basado en el incremento del rendimiento en 3.8%, ya que el área cosechada presenta una ligera reducción del 0.2%. El área sembrada durante la época de primera y postrera, un 75% del total fue mayor en 4.7% a la del ciclo 1998-1999, sin embargo las pérdidas de 160.8 miles de Mz ocasionadas por la sequía del mes junio provocó un decremento (BCN, 1999).

### **2.7 El sistema de evaluación de tierra según la FAO**

El sistema de evaluación de tierra según la FAO (1976), está basado en el reconocimiento del recurso tierra y el uso de la tierra; del lugar de su aplicación. El esquema incluye clases de uso de la tierra con fines forestales, agricultura en secano, de riego y otros sistemas de producción. Puede ser utilizado para construir sistemas aplicables a todo los niveles de intensidad (evaluaciones nacionales o estudios locales) (figura 1).

La evaluación puede estar referida al rendimiento actual de la misma, supone cambios, efecto de los cambios en el uso de la tierra y la tierra misma; considera las consecuencias sociales y ambientales. Es dinámico y forma parte del proceso de planificación del uso de la tierra. Permite la toma de decisiones, porque proporciona una base de datos sobre los cuales se toma decisión; como resultado, da información sobre dos o más formas potenciales de uso, para cada zona de tierra (Orozco, 1993).



## **2.8 El sistema automatizado para evaluación de tierras (ALES)**

El sistema automatizado para evaluación de tierras (ALES), es un programa de cómputo que permite al evaluador de tierras construir su propio sistema de experto con lo cual puede computar la aptitud física de unidades de mapeo, aplicando el esquema de evaluación de tierras de la FAO. Estas unidades pueden definirse a escala de reconocimiento o a escala de detalle (nivel de finca). El modelo es construido de acuerdo a los objetivos y condiciones locales del área en estudio (Figura 2).

El ALES en sí es un marco o armazón en el cual el evaluador puede expresar su propio conocimiento ya que provee un mecanismo para razonar y expresar las inferencias; no contiene información acerca de la tierra y su uso.

El modelo desarrollado con ALES, puede ser clasificado como un modelo empírico de la realidad, ya que su procedimiento describe la relación de los atributos de la tierra a su aptitud para uso específico. Sin embargo, se puede considerar como un modelo de conocimientos.

La construcción del modelo es mediante árboles de decisión (Anexo 2), estos son considerados, llaves multivías en orden jerárquico contruidos con características de la tierra y con criterios lógicos, cuyos resultados son las clasificaciones, las cualidades y aptitud de la tierra.

## **2.9 Cambios climáticos**

El cambio climático es referido a una serie de transformaciones de alcance planetario y a alteraciones en los ecosistemas de vida, como producto del efecto provocado por las actividades directas o indirectas de la acción humana, las cuales modifican la composición de la atmósfera terrestre y que se suman a la variabilidad natural del clima observado (MARENA, 2000).

La creciente preocupación por el impacto que pueda tener un cambio en el clima sobre las diferentes actividades humanas y los recursos naturales a provocado que los países en vías de desarrollo tomen en cuenta la posibilidad de formular políticas que consideren limitaciones en las emisiones de gases de efecto de invernadero a la atmósfera.

El presente estudio se sustenta en el conocimiento acumulado por el Panel Intergubernamental de Expertos para el Cambio Climático (IPCC, siglas en inglés).

## **2.10 Conceptos**

Los conceptos que a continuación presentamos nos facilitaran una mejor comprensión del tema.

### **❖ Clase primordial de uso**

Es una subdivisión principal del uso de tierras tales como agricultura de secano, agricultura de regadío, pastizales, dasonomía o recreo (FAO,1976).

### **❖ Tipos de utilización**

Según la FAO,(1976). Es una clase de uso de la tierra descrito o definido con un grado de detalles mayor que el de una clase primordial de uso. Esta formado por especificaciones técnicas expuestas en términos físicos, económicos y sociales. En estudios de reconocimientos se define hasta clases primordiales; en estudios a detalles los tipos de utilización pueden definirse hasta el nivel de sistemas de fincas.

### **❖ Requisitos de uso de la tierra**

Son las condiciones exigidas por los diferentes rubros en términos de características de la tierra, son clasificados mediante criterios desde aptos a no aptos y sirven para determinar aptitud de la tierra. Se clasifican en requisitos fisiológicos de los cultivos, de manejo y de conservación (FAO, 1985).

### **❖ Característica de la tierra**

Es un atributo de la tierra que puede medirse o estimarse y describir una cualidad de la tierra; por ejemplo: temperatura, textura, accesibilidad, etc.

### **❖ Cualidad de la tierra**

Es un atributo de la tierra que cualifica una o un conjunto de características de la misma y hace cambiar la aptitud según el tipo de uso. La FAO, 1985. La define como un atributo completo de la tierra que actúa de manera distinta en su influencia sobre la adaptabilidad de la tierra para un uso concreto. Se expresa en los mismos términos que los requisitos para poder confrontarlos; por ejemplo: disponibilidad de humedad, disponibilidad de nutrientes.

❖ **Unidad de mapeo de la tierra**

Se define como un área de tierra mapeada con características específicas, la cual es usada para la evaluación.

❖ **Armonización**

Es la confrontación de los requisitos físicos de los cultivos específicos con las condiciones de la tierra para dar una predicción aproximada del comportamiento de los cultivos. Clasifica la tierra por aptitud.

❖ **Evaluación física**

Indica el grado de capacidad para un uso de la tierra, sin condiciones económicas, tiende a concentrarse sobre riesgos y peligros. Ejemplos: del medio ambiente, el clima.

❖ **Modelos de Simulación y Sistemas Expertos**

El modelo es un nivel de abstracción de la realidad que representa lo que podría ocurrir realmente. No puede concluir todos los aspectos del sistema real, sino los más relevantes. Es considerado como un elemento de razonamiento, no es instrumento de programación, sino de reflexión de planificación. La simulación de sistemas es la técnica de resolver problemas siguiendo los cambios en el tiempo mediante un modelo dinámico. Es una técnica numérica que utiliza modelos matemáticos dinámicos.

Un sistema experto es un programa de computadora que mediante conocimientos y razonamientos ejecuta una tarea difícil y usualmente realizada solo por un experto humano.

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1. Descripción del área de estudio**

El presente estudio se realizó a escala nacional, en donde se evaluó la aptitud física de la tierra en el cultivo de maíz.

El potencial de la agricultura en Nicaragua está relacionado directamente con las cantidades de lluvia, su distribución e irregularidades con que se precipitan en las diferentes zonas. A continuación se describen cuatro zonas con diferentes potenciales para la producción de maíz a nivel nacional (Rapidel y Rodríguez, 1995).

ZONA 1: El Rama y Bluefields: Lluven más de 2000 mm anualmente caracterizándose por el exceso de agua; generalmente se siembra maíz y frijol de apante, sin embargo el potencial de producción es para cultivos perennes y semi-perennes.

ZONA 2: En estas zonas llueven más de 1400 mm.

2. a. Nueva Guinea y Santo Domingo: Se caracteriza por excesos de agua (menor que la zona 1). Cultivos de granos básicos se cultivan en apante. El potencial de la producción es para cultivos perennes y semi-perennes.

2. b. Cárdenas, Jalapa y San Carlos: A excepción de la zona de San Carlos se presenta alto potencial de producción de maíz, sorgo y arroz.

2. c. Chinandega y Posoltega: En estas zonas se presenta un descenso de las lluvias en julio/Agosto. La canícula es muy poco probable presentándose potencial para maíz y arroz principalmente de postrerón.

ZONA 3

3.a Matagalpa, Jinotega y Masatepe: Las lluvias oscilan entre 1100 y 1500 mm presentándose potencial para la producción de maíz y frijol. Aquí se pueden establecer maíz de ciclo corto en mayo, e intermedio hasta el 15 de junio.

3.b Rivas, Masaya y San Pedro de Lóvago: Las lluvias oscilan entre 1300 y 1500 mm anualmente. Aunque las lluvias no son bien distribuidas esta zona presenta potencial para la siembra de granos básicos

3.c El Sauce y León: Las lluvias precipitadas promedian los 1400 mm. En estas zonas los cultivos idóneos son los tolerantes a la sequía como el sorgo o maíz.

#### ZONA 4

4.a Managua, Tisma, Juigalpa y Boaco: Los promedios de lluvias oscilan entre 950 a 1150 mm, presentando condiciones hídricas para el establecimiento de los cultivos de granos básicos: maíz de primera, frijol de postrera.

4.b Estelí, Ocotal y Altamira: El potencial de producción para los granos básicos esta restringido a las cantidades e irregularidades de lluvias y la ocurrencia de la canícula. Sin embargo, se pueden adecuar los cultivos de frijol o maíz de ciclo corto a las características climáticas de la zona (principalmente la lluvia).

4.c Malpaisillo, San Juan de Limay, Nagarote, San Francisco Libre, San Rafael del Sur y Las Salinas: Son las denominadas zonas secas, las cuales se caracterizan mas por la irregular distribución de las lluvias, que por las cantidades precipitadas. El potencial de la producción de granos básicos es totalmente restringido.

4.d Masachapa y California: El potencial de la producción de granos básicos según las lluvias precipitadas históricamente, es totalmente riesgosa dada la alta irregularidad.

### **3.2. Aspectos productivos**

Para la elaboración de los modelos se seleccionó la variedad mejorada NB6 que es una variedad intermedia recomendada por su buen potencial de rendimiento de 60-70 qq/mz, y su tolerancia al achaparramiento; esta variedad se adapta fácilmente a la región pacífica y central del país. Así como también la variedad híbrida HS-5, la cual es un híbrido de ciclo intermedio a tardío, con altos rendimientos de 70-80 qq/mz, se recomienda para las siembras de primera en zonas húmedas; también se puede sembrar de postrerón, postrera y apante en zonas húmedas libres de achaparramiento (INTA, 1997).

### **3.3. Procedimiento para evaluación de tierras**

Se utilizó el proceso de evaluación de tierras de la FAO (1976), desarrollándose a través de un sistema automatizado para la evaluación de tierras (ALES), el cual es un sistema de expertos que computa las aptitudes físicas y económicas de la unidad de mapeo.

En el proceso de evaluación de tierras se tomaron tres aspectos:

#### **✓ Aspectos Físicos**

Fueron referidos a estudios agro ecológicos realizados por el MAG-FOR, agrupados en una base de datos definidos con criterios geomorfológicos, topográficos, físicos del suelo y el uso; así como también factores ambientales que luego de evaluar las condiciones actuales estos últimos fueron modificados con el objetivo de crear escenarios que contemplan los posibles cambios; para los cuales se definieron tres escenarios climáticos, uno pesimista, otro moderado y uno optimista, los cuales están relacionados con los escenarios de emisiones construidos por el panel intergubernamental de expertos para el cambio climático (IPCC) en 1992.

#### **✓ Aspectos biológicos**

Se identificaron las clases primordiales del uso de la tierra definidos por un rubro en específico con el cultivo del maíz, bajo dos niveles tecnológicos: Maíz tecnificado con bueyes y Maíz tradicional al espeque, con los cuales se realizaron dos modelos de evaluación de tierras.

#### **✓ Aspectos teóricos**

Para completar la recopilación de los aspectos teóricos se requirió de la colaboración de un grupo formado por especialistas, técnicos y productores los cuales por sus conocimientos propios del cultivo fungieron como expertos para la construcción de los

modelos de evaluación de tierras aprovechándose también información física, biológica y socioeconómica.

En el tipo de uso (rubro) se identificaron los requerimientos de uso, de manejo y de conservación de suelos, denominados requisitos de uso de la tierra, indicados estos mediante valores dados en rangos, desde aptos a no aptos a cada una de las características.

### **3.4. Consultas iniciales**

El primer estudio agro ecológico en Nicaragua se inició en el año de 1961 realizado por CATASTRO con el apoyo de Organismos no gubernamentales. En dicho estudio se presentaron problemas para la recopilación de datos de algunas zonas, las cuales no fueron reflejadas debido a dos factores importantes como son la poca accesibilidad de zonas con características muy boscosas y áreas minadas.

Un nuevo estudio se realizó en el periodo comprendido entre 1987-1990, en donde se recopiló información de clima y suelo mas acertada. Así como también se generó información complementaria y se levantaron datos de zonas del Atlántico y norte del país que para entonces ya había sido distribuido presentando mejor acceso. Este trabajo fue coordinado por el Ing. Eduardo Marín Castillo, donde se elabora un mapa agro ecológico para Nicaragua en escala 1:250000, el cual fue actualizado para el año 1992. Esta información sirvió como base temática con la cual se genera áreas potenciales y limitantes para el cultivo del maíz.

#### **3.4.1. Definición de la zona de estudio, clase primordial de uso y tipos de uso de la tierra**

Se definió la realización del presente trabajo a escala nacional, en donde se realizaron tres modelos de evaluación de tierra aptas para el cultivo del maíz.



Como clase primordial se consideró la agricultura de secano por ser la predominante y por la escasez de agua para riego, siendo los criterios utilizados para su selección la importancia económico-social del mismo, como la sensibilidad al cambio climático y la disponibilidad de metodologías y herramientas para su análisis.

Los tipos de uso de la tierra definidos fueron: Maíz tecnificado con bueyes y Maíz tradicional al espeque, debido a la predominancia de estos niveles tecnológicos en la producción de maíz (Departamento de protección vegetal, 1996).

➤ Maíz tradicional al espeque (MTE):

El manejo del maíz tradicional al espeque se basa en labranza cero o mínima, se realiza en áreas pequeñas, por lo que presenta muchas ventajas para los pequeños y medianos productores, se reducen los costos de preparación del suelo de un 60-70% del combustible; en zonas de altas precipitaciones se reduce el tiempo disponible para la siembra, también se reducen los costos por el bajo uso de insumos siendo de 110.06 U.S \$/Ha.

➤ Maíz tecnificado con bueyes (MTB):

Este método consiste en remover el suelo con diferentes sistemas de tracción animal. La utilización de insumos es mas alta que en espeque pero menor que en el método de maquinaria. No se recomienda implementar bueyes con pendientes altas. Los costos de producción para este nivel tecnológico alcanzan 476.15 U.S \$/Ha

Para cada tipo de utilización fue necesario identificar, visto este como un sistema de producción, los insumos utilizados y los productos ha obtener del mismo, información necesaria al momento de la construcción del modelo.

### **3.4.2. Recolección de información**

Consistió en recopilar y procesar la información cartográfica básica y temática proporcionada por el Ministerio Agropecuario y Forestal (MAG-FOR), generada por el sistema de información geográfica (SIG) mapas a escala 1:250000 (anexos 3,4,5,6,7) los cuales son:

- ✓ Mapa de temperatura media anual
- ✓ Mapa de precipitación media anual
- ✓ Mapa de las características limitantes del suelo
- ✓ Mapa de periodo canicular
- ✓ Perfil del suelo
- ✓ Pendiente del suelo

Para poder consultar este tipo de información tiene que tenerse digitalizada en cartografía gráfica (archivos gráficos) y cartografía temática (base de datos), con los cuales se generan áreas potenciales y limitantes para cultivos, información temática específica muy importante para alimentar el modelo de evaluación de tierras.

Para identificación de los expertos se seleccionaron personas con diferentes niveles de conocimiento y experiencias en el tipo de utilización de la tierra; estas fueron: Ing. Rafael Obando (2000) especialista en maíz (INTA), José Useda (1999) técnico productor de maíz de Niquinohomo, Ing. Alberto Espinosa (2000) especialista en maíz; se utilizó como experto los resultados de las tesis realizadas por Br.Carlos Rivas y Br.Sergio Palma titulada: "Evaluación del impacto de los cambios climáticos sobre el rendimiento potencial del cultivo del maíz en las zonas central y pacífico de Nicaragua utilizando el sistema de simulación DSSATv3"; donde se tomaron en cuenta los rendimientos simulados en los horizontes de tiempo bajo los diferentes escenarios partiendo de un año base como referencia para las simulaciones, comparando los rendimientos con temperaturas y precipitaciones medias anuales, se obtuvo el rango óptimo de producción, por lo que sirvió de gran ayuda a la toma de decisiones en la construcción de los árboles de decisión del ALES (Anexo 2).

Los costos de producción para el tipo de uso de la tierra se obtuvieron de las guías tecnológicas del MAG-FOR (1999-2000).

El precio del maíz se obtuvo basándose en consultas con productores, datos de precios del mercado y las estadísticas del MAG-FOR.

### **3.5 Definición de las cualidades, características, requisitos de uso y clases de aptitud de la tierra**

Las características fueron definidas basándose en el análisis de la información facilitada por el MAG-FOR; las cualidades, los requisitos de uso y las clases de aptitud de la tierra se definieron de acuerdo a las respectivas recomendaciones del esquema para la evaluación de tierras de la FAO (1976), y de las necesidades edafoclimáticas del cultivo; posteriormente mediante consultas con los expertos. Se consideraron 4 cualidades determinadas por 6 características de la tierra (cuadro 3).

En el estudio realizado se trabajó con las siguientes características definidas para evaluar la aptitud física de la tierra (Anexos 3, 4, 5, 6, 7):

- Grupo de perfil (clase Textural): Están conformadas por agrupaciones de series de suelo los cuales presentan una misma secuencia textural entre la capa arable y el subsuelo.
- Características limitantes o modificadores de uso: Estas se localizan en o dentro del suelo, restringiendo temporal o permanentemente la amplitud de uso de los suelos. Las limitantes físico-químicas del suelo determinadas se clasifican en: tipos, clases, grado de limitación.
- Pendientes (%): el grado de inclinación de los suelos determinan las pendientes permitidas para el desarrollo del cultivo.
- Temperatura (°C): Es un factor importante para determinar la adaptabilidad de los cultivos, variando de acuerdo a la latitud, altitud, espejos de agua y corrientes de aire.
- Precipitaciones (mm): Son los requerimientos promedios y anuales de agua en forma de lluvia.
- Periodos caniculares: Son descensos drásticos de la precipitación durante los meses de julio y agosto que producen un déficit hídrico en los suelos, y que afectan los rendimientos de los cultivos dependiendo de la duración e intensidad cuando estos ocurren durante sus periodos críticos.

Cuando no llueve o no se alcanza la taza diaria de evaporación (5mm/día) se refiere a días secos. Esta ayuda a definir épocas de siembra e identificación de sistemas potencial de producción. A escala nacional se encuentran establecidos cinco periodos caniculares.

Los requisitos de uso de la tierra para maíz fueron definidos basándose en consultas con expertos y especialista (Cuadro 3), llegando a conformar lo siguiente:

- Requisitos fisiológicos del cultivo
- Requisitos de conservación.

Cuadro 3: Requisitos de uso de la tierra para maíz. Nicaragua 2000.

Cualidad de la tierra	Características	unidad	Clasificación					
			apta			No apta		
			1-alta	2-moderado	3-marginal	4-actual	5-permanen	
FISIOLÓGICOS	humedad	Precipitación prom. Anual	mm	1000-1400	900-1000	800-900	1400-1800 1800-2000	<800 >2000
		Grupo de perfil	clase	Franco	Franco arenoso	Fco limoso Fco arcilloso	Arenoso fco Arcilloso	Arenoso Arcillosopesado
		Periodo canicular		No hay	Benigna	moderada	acentuada	Severa
	Condición de temperatura	Temperatura prom. anual	°c	26-29	24-26	22-24	<22	-----
CONSERVA	Riesgo por erosión	Grupo de perfil	Clase	Franco	Franco arenoso	Fco limoso Fco arcilloso	Arenoso fco Arcilloso	Arenoso Arcillosopesado
		Pendiente	%	0-15	15-30	30-50	>50	-----
		Precipitación prom. Anual	mm	1000-1400	900-1000	800-900	1400-1800 1800-2000	<800 >2000
	Característica limitante f-q	Característica limitante		1	2-3	4	5-7	8-16

Para determinar los requisitos, las cualidades de la tierra se dividieron en cinco clases con el objetivo de obtener mayor precisión en la clasificación. La descripción de las clases de aptitud de la tierra son las siguientes:

**Clase 1:** Altamente apta. Mayor del 80% del rendimiento óptimo. Son tierras que no tienen limitaciones importantes para la aplicación sostenida de un uso determinado, solo son pequeñas limitaciones que no reducirán significativamente la producción o beneficios, ni elevaran los insumos por encima del nivel aceptable.

**Clase 2:** Moderadamente apta. 60-80% del rendimiento óptimo. Son tierras que con limitaciones que en conjunto son moderadamente graves para la aplicación sostenida de un uso determinado. Dichas limitaciones pueden reducir la productividad o los beneficios y aumentar los insumos necesarios hasta el grado en que las ventajas obtenidas serán apreciablemente inferiores a las esperadas de la tierra de la clase 1.

**Clase 3:** Marginalmente apta. 30-60% del rendimiento óptimo. Tierras con limitaciones que en conjunto son graves para la aplicación sostenida de un uso. Reducen la productividad o los beneficios y se incrementarán los insumos necesarios en tal medida que los costos son marginalmente justificados.

**Clase 4:** No apta actualmente. Menos del 30% del rendimiento óptimo. Tierras con limitaciones tales que no permiten la aplicación del uso determinado, pero que sí permite la aplicación de otros tipos de uso.

**Clase 5:** No apta permanentemente. Menos del 30% del rendimiento óptimo. Tierras con limitaciones que impiden toda posibilidad de un uso sostenido y satisfactorio de la tierra.

### **3.6 Definición de escenarios climáticos**

Los escenarios climáticos utilizados en este estudio se fundamentan en los escenarios de emisiones del IPCC: IS-92 a, IS-92 d, IS-92 c, creados por Max Campos para Nicaragua, los cuales son considerados como escenarios pesimista, moderado y optimista, respectivamente. Los horizontes de tiempo seleccionados fueron 2010, 2030 y 2100. Las proyecciones se realizaron con respecto a la serie climática 1961-90, la cual ha sido utilizada ampliamente por la Organización Meteorológica Mundial (MARENA, 2000).

Los resultados de las simulaciones del clima aplicadas al territorio de Nicaragua se pueden observar en el Cuadro 4. Estos resultados son las variaciones de las principales características del tiempo atmosférico (temperatura, precipitaciones), para cada uno de los escenarios de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) durante el próximo siglo, con respecto al periodo de referencia 1961-1990. Basándose en la hipótesis relativa al crecimiento de la población, económicos, cambios tecnológicos, disponibilidad de energía para los habitantes, y la mezcla de combustible en el periodo entre 1990-2100 (MARENA, 2000).

Cuadro 4. Escenarios climáticos para Nicaragua

Horizonte de tiempo	<b>ESCENARIOS</b>					
	<b>Pesimista IS-92 a</b>		<b>Moderado IS-92 d</b>		<b>Optimista IS-92 c</b>	
	Pacífico	Caribe	Pacífico	Caribe	Pacífico	Caribe
	<b>Precipitación en %</b>					
2010	-8.4	-8.2	-7.9	-7.7	-7.9	-7.7
2030	-11.68	-14.3	-14.69	-11.9	-12.21	-11.3
2100	-36.6	-35.7	-25.3	-24.7	-21.0	-20.5
	<b>Temperatura en °C</b>					
2010	0.9	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7
2030	1.16	1.3	1.5	1.08	1.23	1.06
2100	3.7	3.3	2.6	2.3	2.1	1.9

Fuente: \*MARENA, 2000

### **3.7 Construcción y manejo del sistema experto con el sistema automatizado de evaluación de tierras (ALES)**

#### **3.7.1 Estructura del programa**

**Modelos:** Es una estructura para la construcción de una base de conocimientos, en donde se representa la experiencia del agricultor o del técnico expresada en aspectos teóricos o de conocimientos. El modelo incluye los tipos de uso de la tierra, requisitos de uso, características y cualidades de la tierra. También tiene en su estructura la lista de insumos a utilizar en el sistema de producción así como los productos a obtener para cada tipo de uso en particular.

**Datos:** Este modulo lo conforma la base de datos de cada unidad de mapeo descrita mediante sus respectivas características.

**Evaluaciones:** Con un mecanismo de inferencia relaciona la base de conocimientos o los modelos con los datos para computar lo físico a un conjunto de unidades de mapeo para un determinado uso de la tierra. La evaluación física permite agrupar unidades de mapeo de acuerdo a sus limitaciones y otras cualidades de la tierra para determinar estrategias de manejo.

**El por que? :** Facilita al constructor de modelos realizar afinamientos necesarios. Se utiliza una vez realizada la evaluación o corrida del programa y permite entender los modelos.

**Consulta:** Permite al usuario consultar sobre determinada unidad de tierra y su uso en determinado momento.

**Reportes:** Facilita escoger el tipo de reporte, donde grabarlo o imprimirlo que puede ser en un formato muy útil, para los planificadores de uso de la tierra y otros usuarios que necesitan conocer acerca de la aptitud de la tierra.

### **3.7.2 Proceso de cómputo para evaluación de tierras**

El procedimiento de cómputo para evaluación de tierras se lleva a cabo en tres pasos:

- Cómputo de valores para los requisitos y cualidades de la tierra, obtenidos de los valores de las características de la tierra medidas en cada unidad de mapeo y de los árboles de decisión.
- Cómputo para la predicción del rendimiento: Este proceso parte de los valores para cualidades de la tierra por los tipos de utilización de tierra, requisitos de uso y las unidades de mapeo de la tierra. El valor de la cualidad de la tierra pasa al árbol de decisión para rendimiento proporcional de cada producto el cual fue construido por el experto obteniendo una proporción (% del rendimiento óptimo), también el valor de cada cualidad es corrido por los parámetros dados por el experto a factores proporcionales del rendimiento. Los factores limitantes del rendimiento lo afectan proporcionalmente de acuerdo al peso en cada nivel de severidad asignado por el experto. Los tres componentes anteriores conforman el rendimiento proporcional que indica en que proporción se afecta el rendimiento óptimo del producto por los tipos de utilización de tierra y unidades de mapeo de la tierra.
- Cómputo para clase de aptitud física se basa en los valores de cualidades de la tierra, tipos y requisitos de uso en cada unidad de mapeo, determinando la aptitud física.



## **IV. RESULTADOS Y DISCUSION**

Se construyeron dos modelos para los tipos de utilización de tierras: Maíz tradicional al espeque (MTE) y Maíz tecnificado con bueyes (MTB). Cada modelo de evaluación contiene una base de datos y una base de conocimientos. La primera está constituida por 3004 unidades de mapeo, 4 requisitos de uso de la tierra y 6 características de la tierra, (ver Cuadro 3), un producto por el tipo de uso. La base de conocimiento que dieron los expertos conforma un conjunto de parámetros para evaluar cada característica y calidad de la tierra, niveles de severidad para los distintos requisitos de uso y árboles de decisión, para las inferencias y clasificaciones en clases de aptitud física de las unidades de tierra.

Los factores más limitantes en la evaluación fueron las cualidades humedad disponible y características limitantes físico-químicas del suelo, estas fueron un factor determinante en la clasificación de aptitud de la tierra.

### **4.1 Resultados de niveles de aptitud de la tierra.**

#### **♣ Evaluación de la aptitud física de la tierra**

Se evaluaron cinco clases de aptitud actual de la tierra bajo dos niveles tecnológicos, además de las aptitudes proyectadas para el 2010, 2030 y 2100 en tres escenarios optimistas, moderados y pesimistas.

##### **➤ Escenario del 2000**

Como podemos observar los mapas de aptitud física actual de la tierra para los niveles tecnológicos maíz tradicional al espeque(ver mapa 1-A) y maíz tecnificado con bueyes(ver mapa 10-A) las áreas altamente aptas se encuentran en los departamentos Chontales, Boaco, Granada y en algunas áreas de Ocotol. Las cuales representan para MTE solamente un 0.5% del total de áreas evaluadas, mientras que MTB esta representado por 0.4% del total de áreas evaluadas. (Ver gráfico 1).

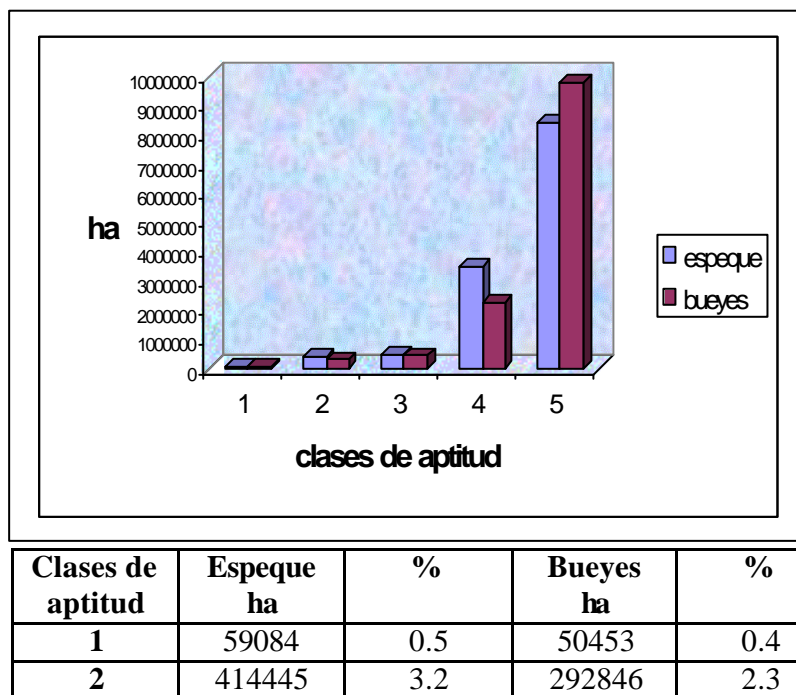
Así mismo en los mapas observamos que las áreas moderadamente aptas para maíz tradicional al espeque y maíz tecnificado con bueyes se localizan en los departamentos de Chontales, Boaco, Jinotega, Chinandega y Siuna. Las cuales representan 3.2% para MTE y 2.3% para MTB del total de áreas evaluadas.

Las áreas marginalmente aptas para maíz tradicional al espeque y maíz tecnificado con bueyes se encuentran distribuidas en la región pacífica y central del país con un 3.6% para MTE y 3.4% para MTB.

Las áreas no aptas actualmente se localizan en gran parte de la región caribe y pacífica de Nicaragua para ambos niveles tecnológicos, representando MTE un 27.2% y MTB 17.6% del total de áreas evaluadas.

Los mapas nos muestran que en la región caribe gran parte de las áreas no aptas permanentemente se localizan ahí, así como en gran parte de la región pacífica del país. Representando el nivel tecnológico MTE el 65.6% del total de áreas evaluadas y MTB el 76.3%.

Gráfico 1: Evaluación actual de la aptitud física del cultivo del maíz por hectáreas a escala nacional.



<b>3</b>	460333	3.6	440650	3.4
<b>4</b>	3492960	27.2	2266013	17.6
<b>5</b>	8432803	65.6	9809663	76.3

♣ **Evaluación bajo escenarios optimista, moderado y pesimista.**

➤ Escenario Optimista

Para el nivel tecnológico maíz tradicional al espeque bajo el horizonte de tiempo 2010, en el mapa 2A se puede observar que en el departamento de Rivas aumenta sus áreas moderadamente aptas, no así la región central conserva sus áreas altamente y moderadamente aptas. Las áreas marginalmente aptas se reducen en el pacífico y aumentan en Jinotega, Siuna y en la RAAN frontera con honduras. Las áreas no aptas actualmente aumentan en cambio las no aptas permanentemente, se reducen en la región caribe, pacífica y central de Nicaragua. Esto se puede apreciar mejor en los gráficos, donde las áreas altamente aptas aumentan a 0.8%, las moderadamente aptas a 4.1%, las marginales ascienden a 10%, las no aptas actualmente con 31.1% y las no aptas permanentemente disminuyen a 54% del total de áreas evaluadas. (Ver gráficos 2, 5, 8, 11, 14).

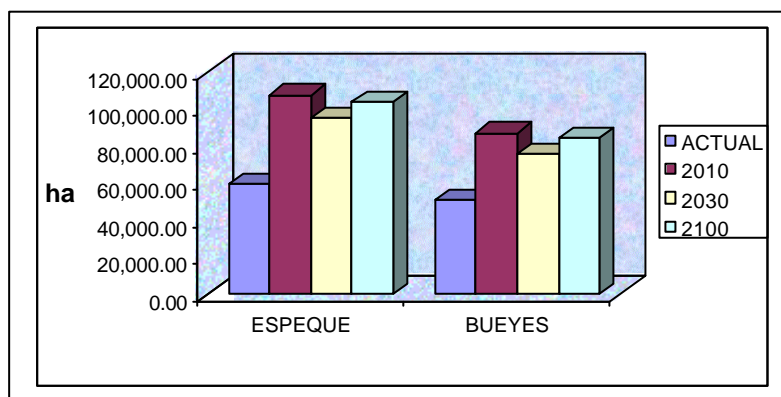
Para el nivel tecnológico maíz tecnificado con bueyes bajo horizonte de tiempo 2010, se puede observar en el mapa 11-A que los departamentos de Chontales, Boaco, y Chinandega aumentan sus áreas altamente aptas a un 0.7% del total de áreas evaluadas, así como también aumentan las áreas moderadamente aptas a un 2.4% pudiéndose observar este aumento en el departamento de Rivas. Se da una reducción de las áreas marginalmente aptas en el pacífico y aumento de estas en Jinotega, Siuna, Chontales, Boaco, Masaya, Granada y Jinotepe. Puede observarse en el gráfico 2 el aumento de estas áreas a 8.6%. Las Regiones central y Pacífica muestran reducciones en sus áreas no aptas permanentemente hasta 61.6% y aumentan las áreas no aptas actualmente a 26.8% del total de áreas evaluadas.

En el horizonte de tiempo 2030 ambos niveles tecnológicos presentan un comportamiento similar al del 2010 y no presenta cambios significativos en el incremento y las reducciones de áreas evaluadas con respecto al del horizonte de tiempo 2010. Ver mapas 3-A y 12-A.

A medida que avanzamos al horizonte de tiempo 2100 empezamos a observar cambios significativos. En el nivel tecnológico maíz tradicional al espeque, en el mapa 4-A se puede observar que las áreas altamente aptas y moderadamente aptas aumentan aun mas en los departamentos de Chontales, Boaco, Matagalpa, Jinotega, Rivas y en Río San Juan. Se da una mayor reducción de las áreas marginales en el pacifico y aumento en la región central. Las áreas no aptas permanentemente disminuyen en Siuna, Rosita y en zonas fronterizas con Honduras, no así las áreas no aptas actualmente aumentan.

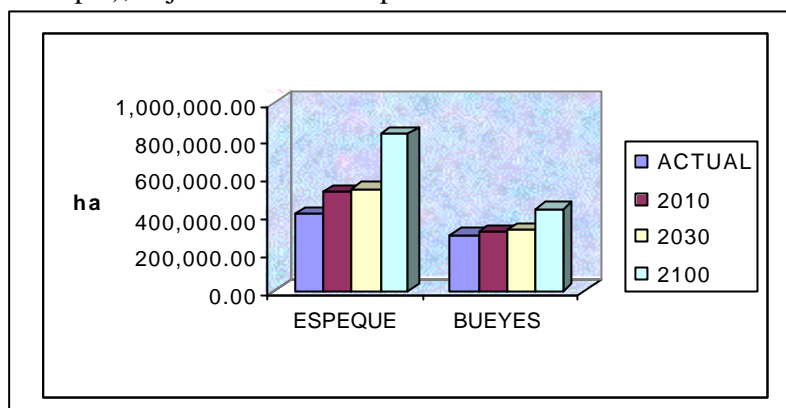
En el nivel tecnológico maíz tecnificado con bueyes las áreas altamente aptas se mantienen en 0.7%, no así las moderadamente aptas aumentan en los departamentos de Chontales, Boaco, Jinotega y Rivas. Ascendiendo a 3.4%, las áreas marginales se reducen en el pacifico y aumentan en Chontales, Boaco, Matagalpa, Jinotega y en el norte del RAAN. Se incrementan las áreas no aptas actualmente a 30.6% y se reducen las áreas no aptas permanentemente a 54.1% ( Ver mapa 13-A y Gráficos 2, 3, 4, 5 y 6).

Gráfico 2: Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 1 (altamente apta), bajo un escenario optimista.



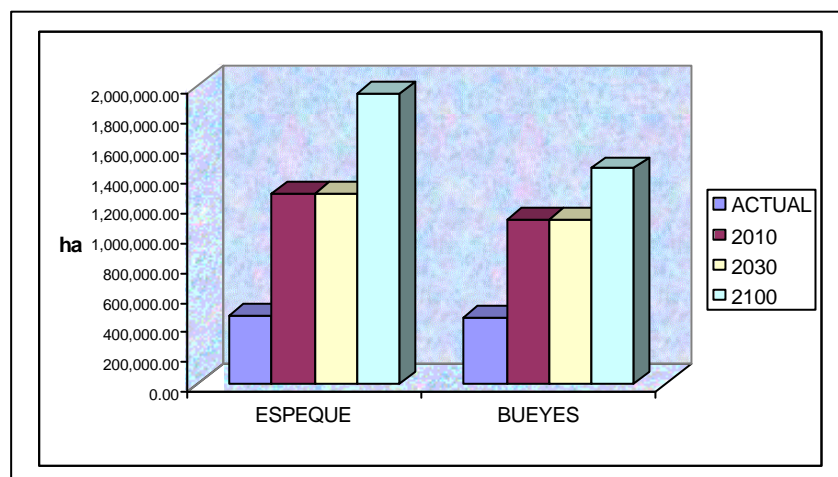
	ESPEQUE ha	%	BUEYES ha	%
ACTUAL	59,084.00	0.5	50,453.00	0.4
2010	107,132.00	0.8	86,593.00	0.7
2030	94,400.00	0.7	75,192.00	0.6
2100	103,283.00	0.8	83,849.00	0.7

Gráfico 3: Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 2 (moderadamente apta), bajo un escenario optimista.



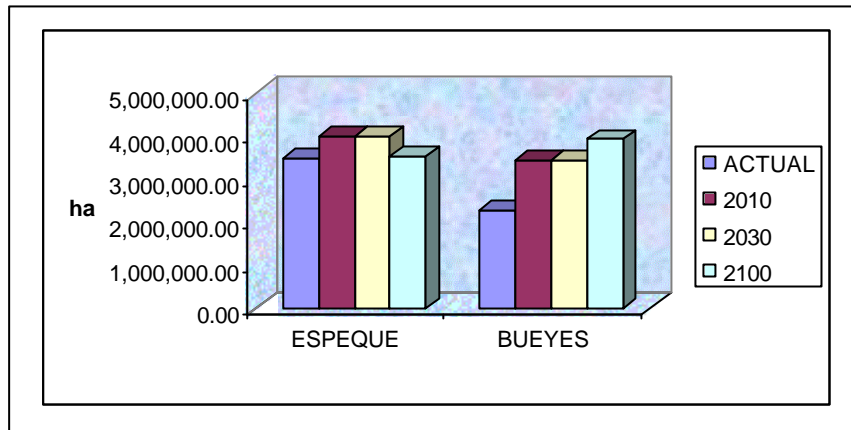
	ESPEQUE ha	%	BUEYES ha	%
ACTUAL	414,445.00	3.2	292,846.00	2.3
2010	529,175.00	4.1	306,928.00	2.4
2030	541,907.00	4.2	318,329.00	2.5
2100	836,641.00	6.5	437,680.00	3.4

Gráfico 4: Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 3 (marginalmente apta), bajo un escenario optimista.



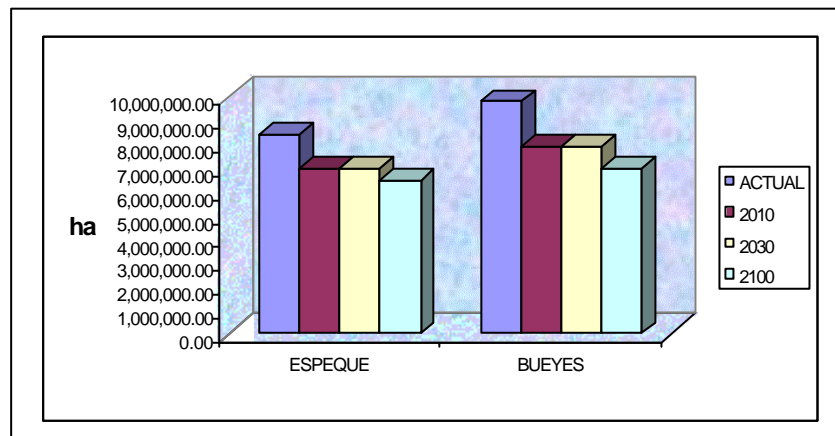
	ESPEQUE ha	%	BUEYES ha	%
ACTUAL	460,333.00	3.6	440,650.00	3.4
2010	1,280,790.00	10.0	1,105,949.00	8.6
2030	1,280,790.00	10.0	1,099,304.00	8.5
2100	1,951,293.00	15.2	1,447,118.00	11.3

Gráfico5: Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 4 (no apta actualmente), bajo un escenario optimista



	ESPEQUE ha	%	BUEYES ha	%
ACTUAL	3,492,960.00	27.2	2,266,013.00	17.6
2010	4,000,255.00	31.1	3,445,426.00	26.8
2030	4,001,259.00	31.1	3,452,071.00	26.8
2100	3,514,890.00	27.3	3,941,411.00	30.6

Gráfico 6: Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 5 (no apta permanentemente), bajo un escenario optimista.

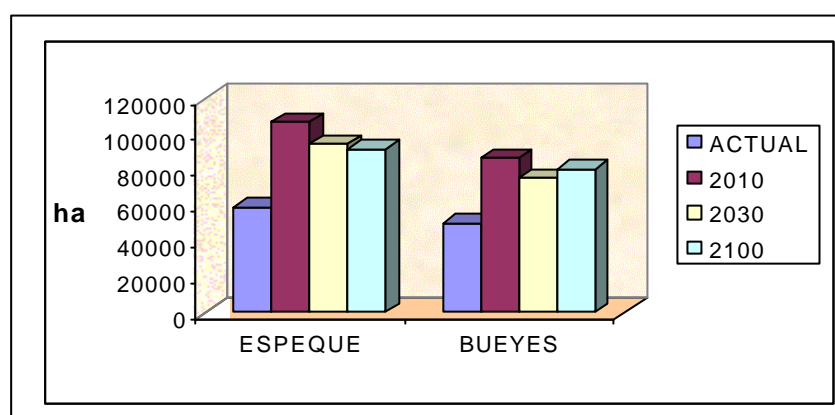


	ESPEQUE ha	%	BUEYES ha	%
ACTUAL	8,432,803.00	65.6	9,809,663.00	76.3
2010	6,945,682.00	54.0	7,918,142.00	61.6
2030	6,944,675.00	54.0	7,918,139.00	61.6
2100	6,456,924.00	50.2	6,952,976.00	54.1

➤ Escenario Moderado

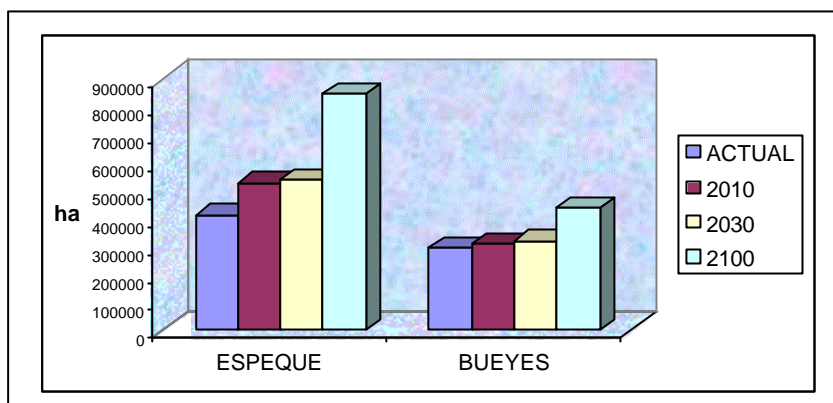
En el escenario moderado podemos apreciar que no varían significativamente las clases de aptitud de la tierra a medida que se avanza en los horizontes de tiempo en comparación con el escenario optimista tanto para el nivel tecnológico maíz tradicional al espeque como para maíz tecnificado con bueyes. Ver gráficos 7, 8, 9, 10, 11 y mapas 5A, 6A, 7A, 14A, 15A, 16A.

Gráfico 7: Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 1 (altamente apta), bajo un escenario moderado.



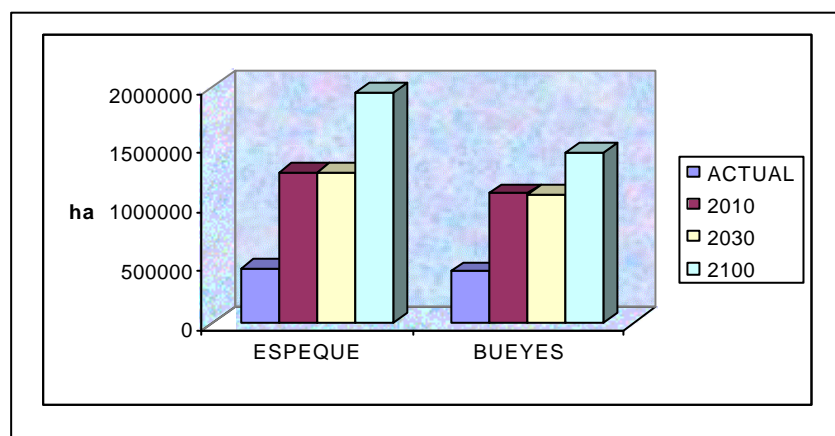
	ESPEQUE ha	%	BUEYES ha	%
ACTUAL	59084	0.5	50453	0.4
2010	107132	0.8	86593	0.7
2030	94400	0.7	75192	0.6
2100	91522	0.7	80737	0.6

Gráfico 8: Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 2 (moderadamente apta), bajo un escenario moderado.



	ESPEQUE ha	%	BUEYES ha	%
ACTUAL	414445	3.2	292846	2.3
2010	529175	4.1	306928	2.4
2030	541907	4.2	318329	2.5
2100	848402	6.6	437975	3.4

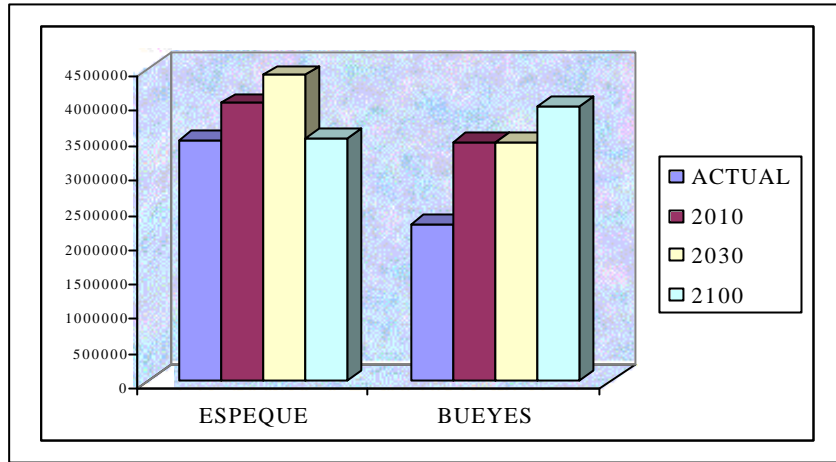
Gráfico 9: Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 3 (marginamente apta), bajo un escenario moderado.



	ESPEQUE ha	%	BUEYES ha	%
ACTUAL	460333	3.6	440650	3.4
2010	1280790	10.0	1105949	8.6
2030	1280790	10.0	1099304	8.5
2100	1959555	15.2	1445216	11.2

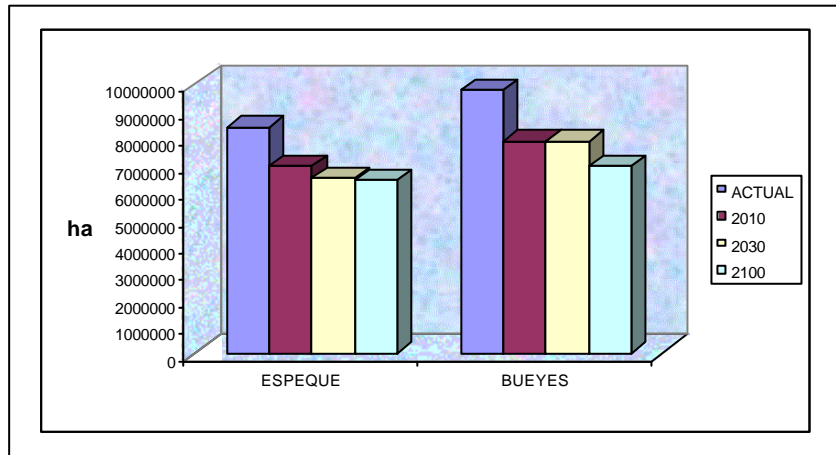


Gráfico 10: Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 4 (no apta actualmente), bajo un escenario moderado.



	ESPEQUE ha	%	BUEYES ha	%
actual	3492960	27.2	2266013	17.6
2010	4000255	31.1	3445426	26.8
2030	4414543	34.3	3452071	26.8
2100	3506628	27.3	3946130	30.7

Gráfico 11: Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 5 (no apta permanentemente), bajo un escenario moderado.



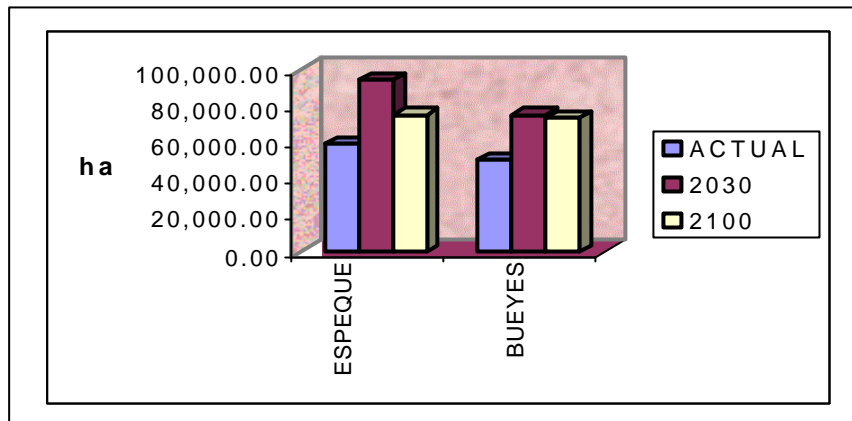
	ESPEQUE ha	%	BUEYES ha	%
ACTUAL	8432803	65.6	9809663	76.3
2010	6945682	54.0	7918142	61.6
2030	6531391	50.8	7918139	61.6
2100	6455208	50.2	6951260	54.0

➤ Escenario Pesimista

En el escenario pesimista mostró un aumento de las áreas altamente aptas mayor que el de los escenarios optimista y moderado. Para 2010 estas áreas aumentan a 0.8% en maíz tradicional al espeque y 0.7% en maíz tecnificado con bueyes, pero para los horizontes de tiempo 2030 y 2100 estas áreas descienden a 0.7 en maíz tradicional al espeque y 0.6% para maíz tecnificado con bueyes. En el mapa 17-A podemos observar que las áreas altamente aptas y moderadamente aptas se encuentran en Chontales, Boaco, Rivas, Jinotega y Jinotepe. Estas áreas moderadamente aptas aumentan para el 2030 a 4.4% y en 2100 a 10.2%. Así también para maíz tecnificado con bueyes aumentan de 2.6% en 2030 hasta 6.2% en 2100. Se dan reducciones de áreas marginalmente aptas en el pacífico y aumentan en la zona norte de la región central, así como en Siuna, Río San Juan, Nueva Guinea, Muelle de los Bueyes, Chontales, Boaco, Matagalpa y Jinotega (mapa 18-A). Este aumento de áreas marginales asciende de 9.7% en 2030 hasta 22.1% en maíz tradicional al espeque y para maíz tecnificado con bueyes asciende de 8.2% en el 2030 hasta 16.4% para 2100.

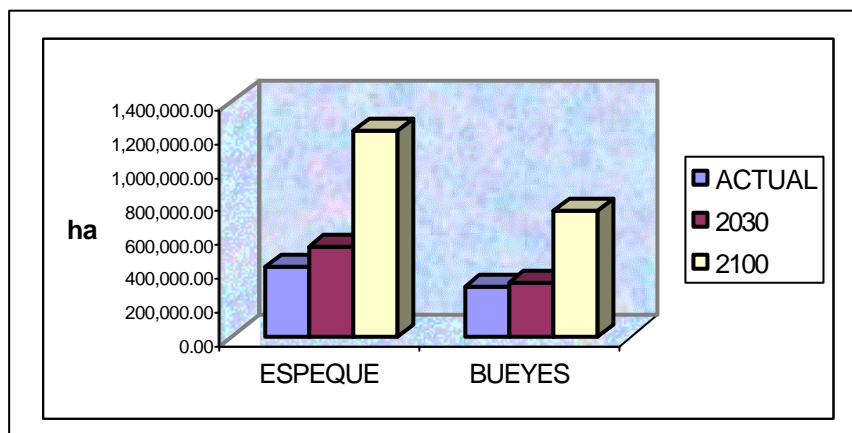
Las áreas no aptas actualmente se reducen de 35.3% que representan en el 2030 hasta un 17.4% para el 2100 en maíz tradicional al espeque. Así mismo para maíz tecnificado con bueyes las áreas no aptas actualmente disminuyen de 26.7% en 2030 hasta 26.5% en 2100. Estas áreas se pueden apreciar en los mapas 17-A y 18-A en las regiones del caribe y central de Nicaragua. las áreas no aptas permanentemente, disminuyen sus áreas en los dos niveles tecnológicos bajo los diferentes escenarios a medida que se avanza en los horizontes de tiempo 2030 y 2100. Ver gráficos 12, 13, 14, 15, 16 y mapas 8A, 9A, 17A, 18A.

Gráfico 12: Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 1 (altamente apta), bajo un escenario pesimista.



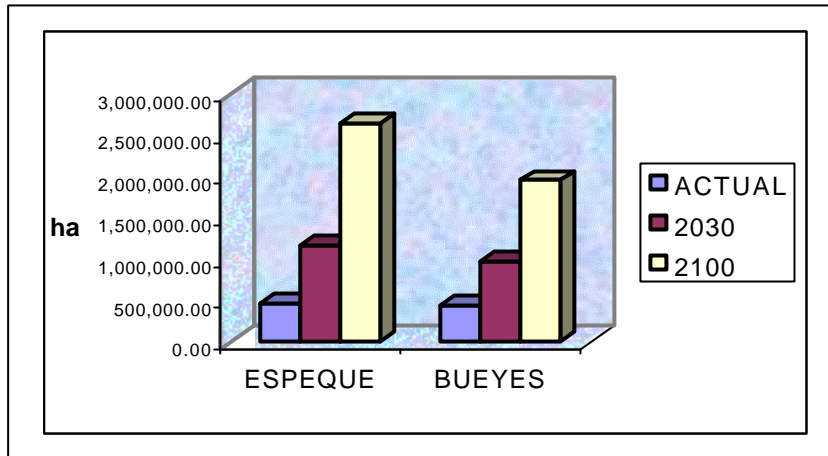
	ESPEQUE ha	%	BUEYES ha	%
ACTUAL	59,084.00	0.5	50,453.00	0.4
2030	94,400.00	0.7	75,192.00	0.6
2100	75,276.00	0.6	73,984.00	0.6

Gráfico 13: Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 2 (moderadamente apta), bajo un escenario pesimista.



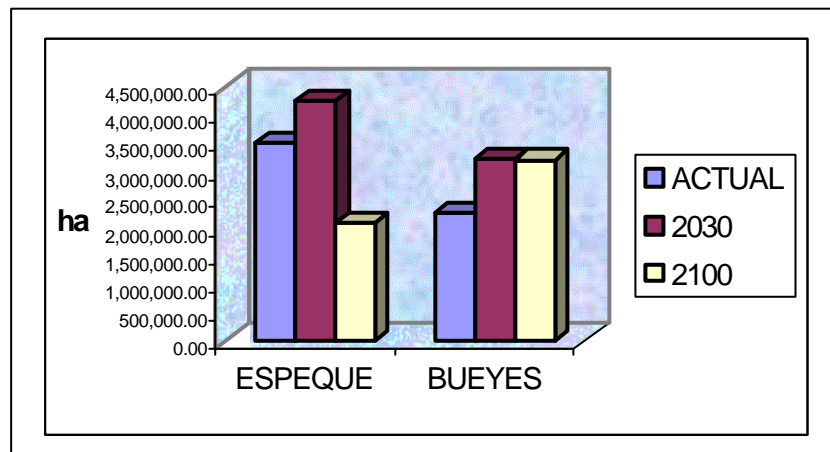
	ESPEQUE ha	%	BUEYES ha	%
ACTUAL	414,445.00	3.2	292,846.00	2.3
2030	534,471.00	4.4	318,329.00	2.6
2100	1,225,471.00	10.2	748,872.00	6.2

Gráfico 14: Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 3 (marginamente apta), bajo un escenario pesimista.



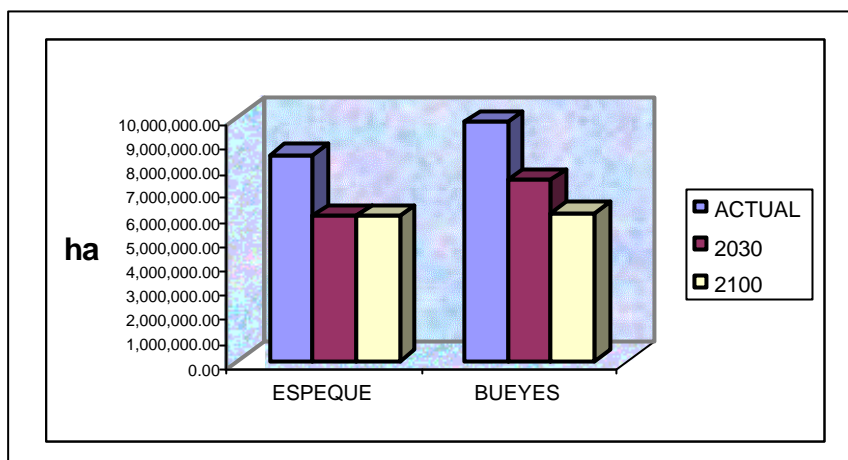
	ESPEQUE ha	%	BUEYES ha	%
ACTUAL	460,333.00	3.6	440,650.00	3.4
2030	1,176,338.00	9.7	987,416.00	8.2
2100	2,658,605.00	22.1	1,964,771.00	16.4

Gráfico 15: Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 4 (no apta actualmente), bajo un escenario pesimista.



	ESPEQUE ha	%	BUEYES ha	%
ACTUAL	3,492,960.00	27.2	2,266,013.00	17.6
2030	4,251,632.00	35.3	3,212,141.00	26.7
2100	2,095,150.00	17.4	3,185,150.00	26.5

Gráfico 16: Comportamiento de la aptitud física del cultivo del maíz, en la clase de aptitud 5 (no apta permanentemente), bajo un escenario pesimista.



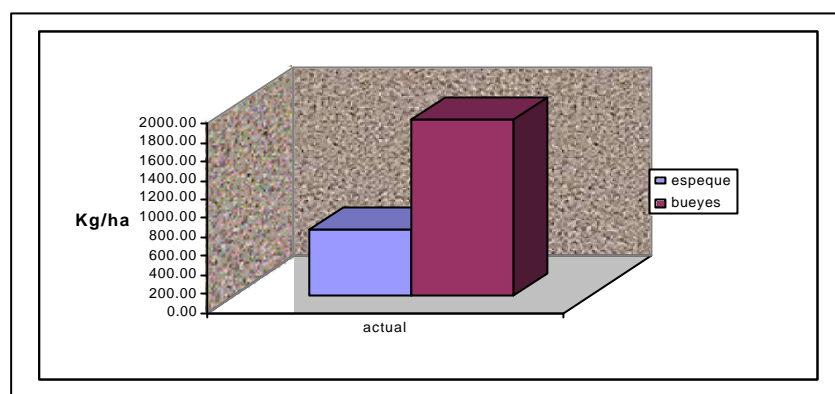
	ESPEQUE ha	%	BUEYES ha	%
ACTUAL	8,432,803.00	65.6	9,809,663.00	76.3
2030	5,959,512.00	49.5	7,423,279.00	61.8
2100	5,960,135.00	49.6	6,043,612.00	50.3

#### 4.3 Resultados de rendimiento.

Se evaluó el comportamiento del rendimiento del cultivo del maíz bajo dos niveles tecnológicos, obteniendo como resultados rendimientos actuales y rendimientos proyectados para el 2010, 2030 y 2100 en tres escenarios: optimista, moderado y pesimista.

Se obtuvieron rendimientos actuales promedios conforme a la producción del cultivo a escala nacional y a las áreas de las clases de aptitud de la 1 a la 4; dando como resultado en el nivel tradicional al espeque rendimientos de 697.15 Kg/ha, y en el nivel tecnificado con bueyes hasta 1,864.95 Kg/ha (gráfico 17)(mapas 1B Y10B).

Gráfico 17: Resultados del rendimiento actual en el cultivo del maíz en Kg/ha, bajo dos niveles tecnológicos, a escala nacional para el año 2000.

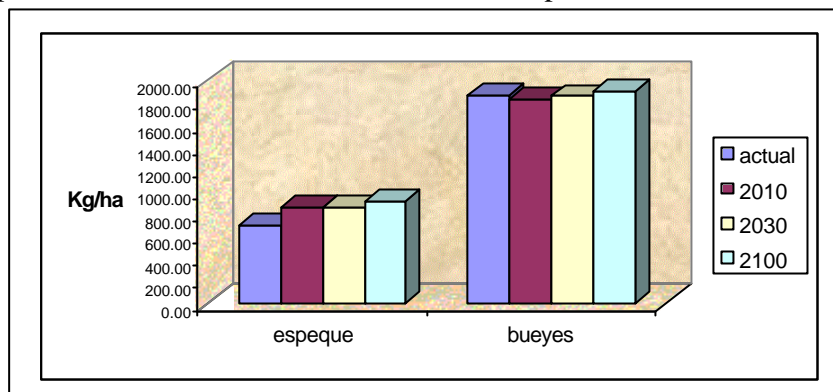


**RENDIMIENTOS EN Kg/ha**

ESPEQUE	BUEYES
697.15	1,864.95

Basados en el escenario optimista se comparó rendimientos actuales con rendimientos proyectados en los diferentes horizontes de tiempo donde en el nivel tecnificado con bueyes se obtuvo mayores rendimientos que en el nivel de espeque. Siendo este mismo comportamiento a medida que se avanza en los horizontes de tiempo. En el caso de MTE los rendimientos aumentan de 697.15 Kg/ha a 909.87 Kg/ha al 2,100 (gráfico 18), esto debido a que las zonas de la franja del pacifico se observa una disminución en los rendimientos pero aumentan mas hacia la RAAN, RAAS, zona central y norte de Nicaragua (mapas 2B, 3B, 4B); bajo este escenario el MTB aumenta hasta 1,902.66 Kg/ha para el 2,100 (gráfico 18); estos rendimientos altos se encuentran en su mayoría en la parte central de Nicaragua y pacifico, extendiéndose el aumento de los rendimientos hacia el Atlántico en la RAAS (mapas 11B, 12B, 13B).

Gráfico 18: Comportamiento del rendimiento del maíz en dos niveles tecnológicos bajo un escenario optimista en los diferentes horizontes de tiempo.

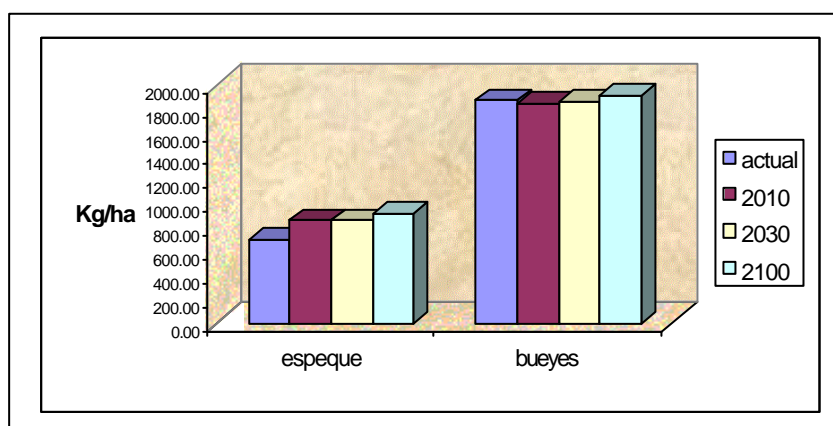


**RENDIMIENTOS EN Kg/ha**

	ESPEQUE	BUEYES
actual	697.15	1,864.95
2010	856.25	1,831.61
2030	860.40	1,861.38
2100	909.87	1,902.66

En el escenario moderado para MTE (gráfico 19) los rendimientos obtienen un aumento no significativo o no se aumenta con referente al escenario optimista por lo que es el mismo comportamiento para los rendimientos actuales (mapas 5B, 6B, 7B); y para los rendimientos proyectados en este escenario el MTB también obtiene el mismo comportamiento que en el escenario optimista en el desplazamiento de las áreas productivas hacia el Atlántico (mapas 14B, 15B, 16B) y en los rendimientos (gráfico 19).

Gráfico 19: Comportamiento del rendimiento del maíz en dos niveles tecnológicos, bajo un escenario moderado en los diferentes horizontes de tiempo.



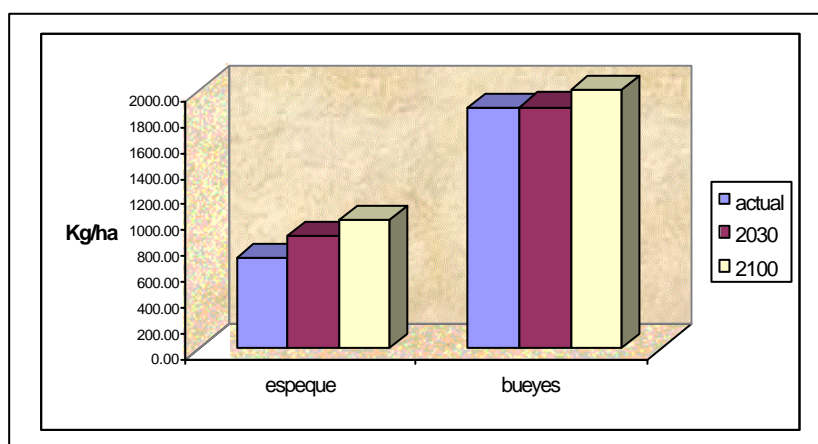
### RENDIMIENTOS EN Kg/ha

	ESPEQUE	BUEYES
actual	697.15	1,864.95
2010	856.25	1,831.61
2030	858.58	1,861.38
2100	910.20	1,902.11

El escenario pesimista propone el mismo comportamiento en el aumento de los rendimientos con respecto a los horizontes de tiempo. En el MTE los rendimientos aumentan hasta 990.81 Kg/ha al 2,100 (gráfico 20), el mapa 8B y 9B nos muestra una disminución en los rendimientos sobre la zona del pacifico y mas en la parte central de Nicaragua; pero a su vez las zonas obtienen rendimientos de 0-1,000 Kg/ha en gran parte de la RAAS y en su mayoría en la RAAN, aumentando los rendimientos en los rangos de 2,000 Kg/ha.

En el MTB los rendimientos son de 1,998.08 Kg/ha al 2,100 (gráfico 20), elevándose en comparación de los actuales; aumentando los rendimientos hacia la costa atlántica y cubriendo en parte la mitad a lo largo de esta en este escenario para el 2,030 (mapa 17B); en el caso del 2,100 (mapa 18B) los rendimientos en la zona de Nueva Segovia desaparecen al igual que en la zona central entre Boaco, Managua y Matagalpa aumentando los rendimientos hasta mayor de 3,000 Kg/ha en la zona de la RAAN y de 1,000-1,500 Kg/ha en su mayoría de la RAAS.

Gráfico 20: Comportamiento del rendimiento del maíz en dos niveles tecnológicos bajo un escenario pesimista, en los dos horizontes de tiempo.



### RENDIMIENTOS EN Kg/ha



	ESPEQUE	BUEYES
actual	697.15	1864.95
2030	868.23	1869.42
2100	990.81	1998.08

Los rendimientos se elevan mas en los tres escenarios hacia la región atlántica, zona central y norte; esto debido al aumento de las zonas aptas según los cambios de precipitación y temperatura que reconoce el modelo al ser evaluado. Nicaragua actualmente posee precipitaciones medias anuales altas en estas zonas por lo que el escenario pesimista propone un mayor aumento en las temperaturas y una mayor disminución en las precipitaciones; y se reconocen como aptas según estas dos características que el modelo evalúa por la información de los cambios climáticos en este escenario.

## V. CONCLUSIONES

1. Se crearon dos modelos en agricultura de secano para la evaluación de tierras del cultivo de maíz a escala nacional con los tipos de usos de " Tradicional al espeque" y "Tecnificado con bueyes".
2. El nivel de aptitud física actual de la tierra indica que el modelo que presentó mayores áreas altamente aptas fue maíz tradicional al espeque con 59,084 hectáreas. Las moderadamente aptas, marginales y no apta actualmente con 414,445, 460,333 y 3, 492,960 hectáreas respectivamente.
3. El escenario donde el cultivo presentó mayores áreas altamente aptas, moderadas y marginalmente aptas fue el escenario pesimista; debido a que es el escenario donde hay un mayor aumento de temperatura y descienden más las precipitaciones con respecto a los escenarios optimista y moderado, permitiendo que algunas zonas de la región central y caribe adopten características potenciales para la producción de maíz.
4. Los resultados actuales de rendimiento para el tipo de uso indican que en el nivel tecnológico de Maíz Tecnificado con Bueyes (MTB), se obtienen mayores rendimientos promedios con 1,864.95 Kg/ha con respecto al otro nivel tecnológico que sólo obtuvo rendimientos promedios de 697.15 Kg/ha.
5. Bajo los tres escenarios climáticos optimista, moderado y pesimista, el nivel tecnológico de MTB obtiene los mayores rendimientos que a la vez estos aumentan con forme se avanza en los horizontes de tiempo; lo mismo para Maíz tradicional al espeque.
6. Los rendimientos promedios del cultivo del maíz evaluados bajo los dos niveles tecnológicos aumentan en los horizontes de tiempo, debido a que las áreas no aptas de Nicaragua donde las temperaturas y precipitaciones no son las adecuadas para el cultivo en la actualidad, cambian, según los cambios climáticos pasando éstas a ser más adecuadas para el cultivo; como ejemplo se observan las áreas no aptas en todo Zelaya.
7. El comportamiento de los rendimientos bajo los tres escenarios climáticos es el mismo en el que aumentan a medida que se avanzan en los horizontes de tiempo.

8. El escenario climático en donde el cultivo obtuvo mayores rendimientos fue el escenario pesimista.
9. Los resultados demuestran que hubo un efecto con los cambios climáticos el cual se puede observar en el desplazamiento de las clases de aptitud y en el aumento o disminución de los rendimientos en áreas específicas a medida que se avanza en los horizontes de tiempo.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Construir un sistema de expertos conformado por un equipo multidisciplinario e integral en una zona específica de interés para el cultivo.
2. Actualizar la información de la base de datos edafoclimática a escala nacional del MAGFOR a partir de los cambios edafoclimáticos producto de los desastres naturales que se han dado en los últimos años en nuestro país.
3. Considerar los resultados de este estudio como base para la planificación de acciones tempranas que disminuyan los impactos negativos del cambio climático.
4. Contemplar los resultados de este estudio como herramienta para la creación de un mapa de zonificación del cultivo del maíz donde se incluya el aspecto social y económico del mismo.

## VIII BIBLIOGRAFIA

- BANCO CENTRAL DE NICARAGUA (1999). *Informe anual*. 197 pgs.
- DEPARTAMENTO DE PROTECCION VEGETAL (1996). *Proyecto MIP con pequeños agricultores de granos básicos en Nicaragua*. Primera edición. 75pgs.
- FAO (1976). *Esquema para la Evaluación de Tierras*. 63 pgs.
- FAO (1997). *Estudio Preliminar de Comercialización de Maíz, Frijol y Piña en Nicaragua*. 64 pgs.
- INTA (1995). *Guía Tecnológica de Granos Básicos*.
- INTA (1997). *Plan Nacional de Apoyo al Pequeño Productor de Maíz y Frijol*.
- MAG (1996). *Areas Potenciales de Producción Agropecuaria (Resultados Preliminares de Doce Rubros) Programa SIG*.
- MAG (1997). *Evaluación del impacto de un eventual cambio climático en los cultivos de maíz, frijol y sorgo*.
- MAG-FOR (2000). *Informe anual*.
- MARENA (1999). *Proyecto de Cambios Climáticos*.
- MARENA (2000). *Escenarios climáticos y socioeconómicos de Nicaragua para el siglo XXI*. 48 pgs.
- MIDINRA (1983). *Técnicas para la Producción de Maíz. Empresa Nicaragüense de Ediciones Culturales*. 214 pgs.
- MIDINRA (1985). *Guía Tecnológica para la Producción de Maíz en Secano*. 35 pgs.
- MONCADA SANDOVAL (1991). *Desarrollo de un Modelo Automatizado para Evaluación de Tierras en Pueblo Nuevo, Estelí, Nicaragua*. 156 pgs.
- OROZCO SEQUEIRA (1993). *Desarrollo de un Modelo para Evaluación y Utilización de Tierras de Uso Agroforestal para la Región IV de Nicaragua, con el Sistema Automatizado de Evaluación de Tierras (ALES)*. 127 pgs.
- RAPIDEL B, RODRIGUEZ J (1995). *Zonificación agro meteorológica de las lluvias en Nicaragua*. CIRAD/ORSTOM.
- SOMARRIBA RODRIGUEZ (1998). *Texto de Granos Básicos*. Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía. 197 pgs.

**ANEXOS**

**ANEXO 1: DISTRIBUCION POR DEPARTAMENTOS DE LAS AREAS APTAS  
PARA MAIZ**

DEPARTAMENTOS	AREAS (Mz)	DEPARTAMENTOS	AREAS (Mz)
Atlántico Norte	0	León	103,819
Jinotega	32,656	Managua	0
Nueva Segovia	15,679	Masaya	12,462
Madriz	0	Carazo	11,082
Chinandega	198,685	Granada	25,544
Matagalpa	2,918	Rivas	41,781
Boaco	12,229	Río San Juan	0
Chontales	15,796	Atlántico Sur	0
Estelí	0	Area total apta (NACIONAL): 472,651 Mz.	

## **ANEXO 7:**

### **Arbol de decision para los niveles de la TUT, RUT "MTB,CT"**

#### **TMA Temperatura media anual**

1- --<22 (--<22)	*2 (moderada apta)
2- 22-23 (22-23)	=1
3- 22-24 (22-24)	=1
4- 23-24 (23-24)	=1
5- 23-25 (23-25)	*1 (altamente apta)
6- 24-26 (24-26)	=5
7- 24-27 (24-27)	=5
8- 25-27 (25-27)	=5
9- 26-28 (26-28)	=5
10-27-29 (27-29)	=5
?- (???)	?

TUT= Tipo de utilizacion de la tierra

RUT=Requisito de uso de la tierra

MTB=Maiz tecnificado con bueyes

CT= Caracteristica de la tierra

TMA=Temperatura media anual



**ANEXO 8: CARACTERISTICAS TIPICAS DE LOS GRUPOS DE PERFILES**

GRUPO DE PERFIL	PROFUND. EFECTIVA (cm)	CLASE TEXTURAL		DRENAJE INTERNO	FERTILIDAD APARENTE
		Superficie	Subsuelo		
1	>100	Fa-F-FI	F-FI-FA	Bueno	Allta
2	>100	FA	FA-A	Bueno	Alta
3	>100	Fa	Fa	Bueno	Alta
4	>100	Fa	Fag	Mod.Exce	Media
5	>100	AF	AF	Mod.Exce	Media
6	>100	A	A	Bueno	Alta
7	>100	Ap	Ap	Impedido	Alta
8	>100	AF	a	Excesivo	Baja
9	>100	a	a	Muy. Exce	Muy Baja

Fa=franco arenoso; F=franco; FI=franco limoso; FA=franco arcilloso; A=arcilloso; AF=arcilloso franco; Ap=arcilloso pesado; a=arenoso

**ANEXO 9: CARACTERISTICAS LIMITANTES FISICO-QUIMICAS**

Simbol mapa	LIMITACIONES	RANGO	Simbol mapa	LIMITACIONES	RANGO
M	Poca profundidad	60-90 cm	p	Pedregoso en superficie	
R	Poca profundidad	40-60 cm	P	Pedregoso superf y perfil	
s	Superficial	25-40 cm	i	Inundaciones ocasionales	
x	Muy superficial	<25 cm	li	Inundaciones frecuentes	
e	Erosión moderada		G	Gases volcánicos	
ee	Erosión fuerte		A1	Alcalinidad leve (PSI)	<10
E	Erosión severa		A2	Alcalinidad moderada (PSI)	10-20
d	Drenaje moderado		A3	Alcalinidad Fuerte (PSI)	20-30
w	Drenaje imperfecto		S1	Salinidad leve (CE)	<4
t	Talpetate mod.prof.	40-60 cm	S2	Salinidad moderada (CE)	4 -8
tt	Talpetate poco prof.	25-40 cm	S3	Salinidad fuerte (CE)	8 - 12
T	Talpetate limitante				

**ANEXO 10: CLASIFICACION DE LA TOPOGRAFIA  
Y RANGOS DE PENDIENTES**

CARACTERISTICAS DE LA TOPOGRAFIA	PENDIENTE (%)
Plano a fuertemente ondulado	0 - 15
Moderadamente escarpado	15-30
Escarpado	30-50
Muy escarpado a precipicio	>50

**ANEXO 11: RANGOS DE TEMPERATURA Y PRECIPITACION.**

**Temperatura**

N°	Rango	N°	Rango
1	<22	6	24-26
2	22-23	7	24-27
3	22-24	8	25-27
4	23-24	9	26-28
5	23-25	10	27-29

**Precipitación**

N°	Rango	N°	Rango
1	<800	8	1800-2000
2	800-900	9	2000-2400
3	900-1000	10	2400-2800
4	1000-1200	11	2800-3200
5	1200-1400	12	3200-4000
6	1400-1600	13	>4000
7	1600-1800	14	

**ANEXO 12: PERIODOS CANICULARES.**

PRESENCIA CANICULAR	DIAS DE CANICULA
No hay	< de 10
Benigna	10 -15
Moderada	15 -20
Acentuada	20 -30
Severa	> de 30

**FIGURAS**

Fig.1: REPRESENTACION ESQUEMATICA DE ACTIVIDADES EN LA EVALUACION DE TIERRAS. ESQUEMA DE EVALUACION DE TIERRAS FAO.

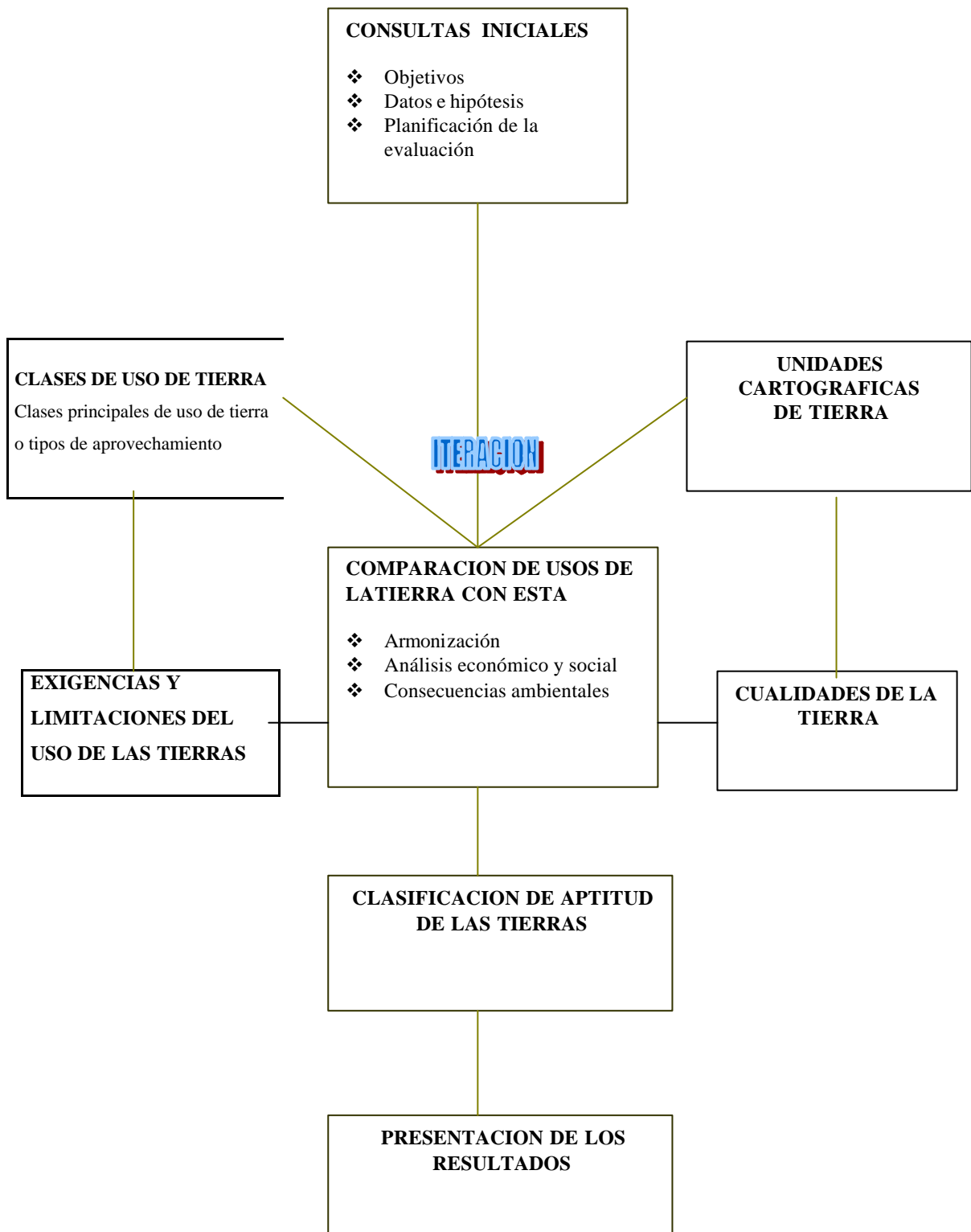
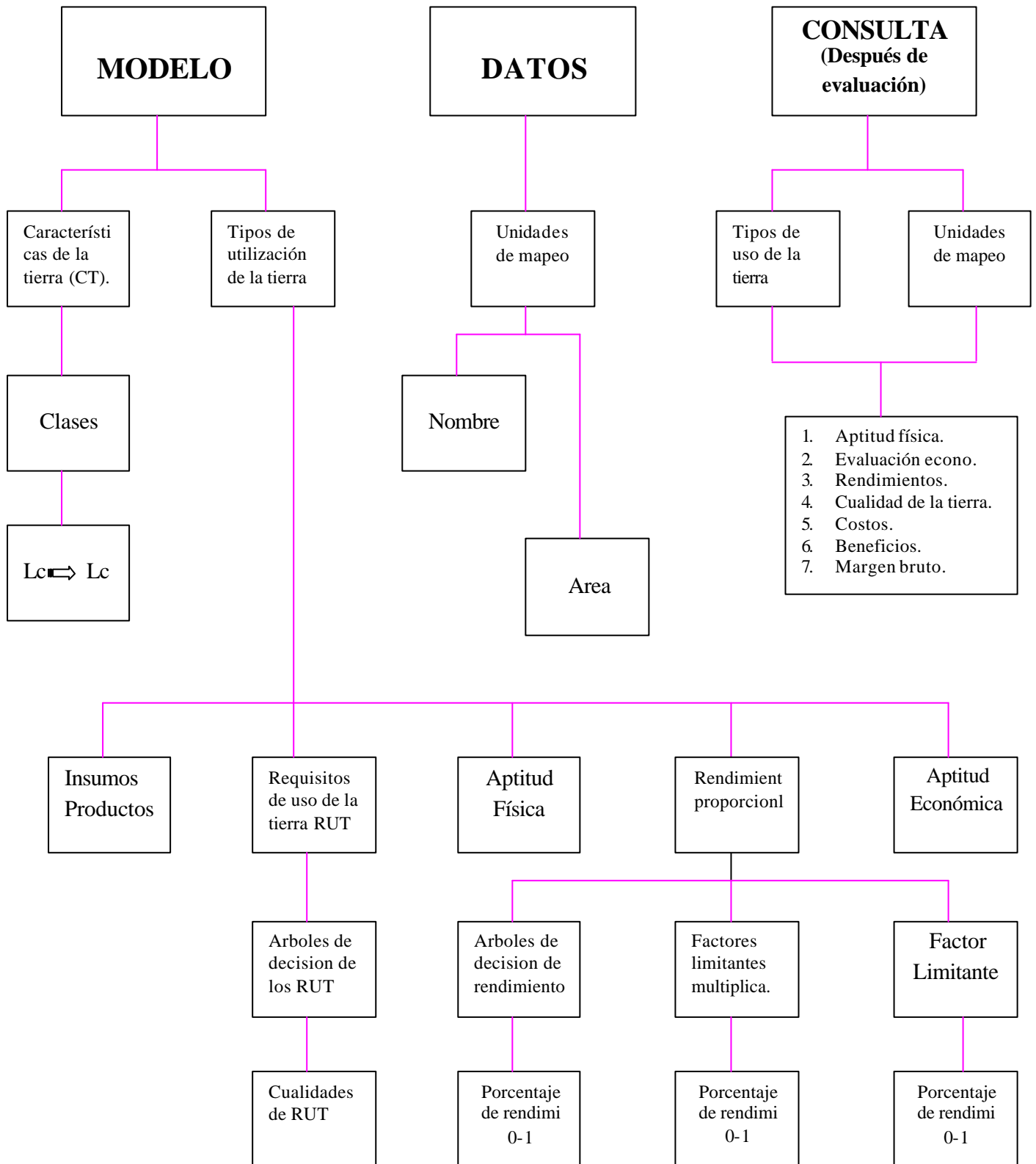


Figura 2: FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE EVALUACION DE TIERRAS (ALES).



**MAPAS**

