

***MANEJO SOSTENIBLE DE TIERRAS  
EN LA PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR***

***Autores: Hipólito Israel Pérez Iglesias  
Ignacio Santana Aguilar  
Irán Rodríguez Delgado***

**GRUPO AZUCARERO AZCUBA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA CAÑA DE AZÚCAR**

**Febrero 2013**

## **TIERRA**

***“Se refiere a un área definida de la superficie terrestre que abarca el suelo, la topografía, los depósitos superficiales, los recursos de agua y clima, las comunidades humanas, animales y vegetales que se han desarrollado como resultado de la interacción de esas condiciones biofísicas. Ello permite referirse más directamente al manejo, o como otros lo nombran, gestión integral de los recursos naturales”***

---

<sup>1</sup>María Nery Urquiza Rodríguez, Candelario Alemán, Leonardo Flores, María Paula Ricardo y Yulaidis Aguilar Pantoja: Manual de Procedimientos para Manejo Sostenible de Tierras. Programa de Asociación de País para el Apoyo al Programa Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía. CIGEA 2011. ISBN: 978-959-287-027-7. pp. 5-10.

## **MANEJO SOSTENIBLE DE TIERRA**

***“modelo de trabajo adaptable a las condiciones de un entorno específico, que permite el uso de los recursos disponibles en función de un desarrollo socioeconómico que garantice la satisfacción de las necesidades crecientes de la sociedad, el mantenimiento de las capacidades de los ecosistemas y su resiliencia”***

***“asociado a este modelo de trabajo, necesariamente habrá que conseguir una nueva forma de pensar y actuar en la agricultura, de manera que se conjuguen las acciones multidisciplinarias y transectoriales en función de la gestión integrada de los recursos”<sup>2</sup>.***

---

<sup>2</sup>María Nery Urquiza Rodríguez, Candelario Alemán, Leonardo Flores, María Paula Ricardo y Yulaidis Aguilar Pantoja: Manual de Procedimientos para Manejo Sostenible de Tierras. Programa de Asociación de País para el Apoyo al Programa Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía. CIGEA 2011. ISBN: 978-959-287-027-7. pp 5-10.

## **CAÑA DE AZÚCAR**

***Planta extraordinaria, capaz de sintetizar y almacenar en sus tallos, el más universal de los alimentos. Introducida en Cuba en mayo de 1515, procedente de República Dominicana, donde había llegado unos años antes en el segundo viaje realizado, por el almirante Cristóbal Colón en 1493. Su adaptación a las condiciones edafoclimáticas de la Isla propiciaron una rápida extensión y diseminación por todo el país, convirtiéndose en el primer productor y exportador de azúcar del mundo, lo cual ocasionó una terrible destrucción de los frondosos y admirados bosques cubanos, fue la causante del comercio de negros esclavos traídos de África, de trabajos forzados y despiadados, sin embargo se trata de una planta maravillosa que bien manejado su cultivo, es capaz de proteger el suelo, evitar o disminuir la contaminación ambiental y al mismo tiempo ofrecer espectaculares ganancias al productor cañero y al país en general.***

***Moreno Fraginals<sup>3</sup> en su libro “El Ingenio” expresa: “y hemos ido hacia esta investigación porque estamos plenamente convencidos de que sin un estudio exhaustivo de la economía azucarera no hay posibilidad alguna de interpretar la historia de Cuba”.***

---

<sup>3</sup>Moreno Fraginals, M. (1964). El Ingenio. El complejo económico social cubano del azúcar. Tomo I (1760-1860). Empresa Consolidada de Artes Gráficas, Comisión Nacional Cubana de la UNESCO. La Habana, Cuba, pp. 63-138.

## **PRÓLOGO**

En los últimos años el término —Manejo Sostenible de Tierras” ha ganado espacio e interés en las formas de producción agrícola. No es posible hablar de desarrollo agrícola sin tener presente los principios de sostenibilidad. Producir suficientes alimentos para la creciente población mundial, sin ocasionar daños a los recursos naturales (suelos, agua, clima y bosques), de los cuales depende la subsistencia del género humano, constituye un reto de primer orden para las generaciones presentes y futuras.

En los países en vías de desarrollo, la mayoría de los aumentos de la producción de alimentos en los próximos años, resultará de la intensificación de la producción agrícola, en las tierras actualmente cultivadas, mediante el incremento de insumos como, agroquímicos, maquinaria agrícola, riego de agua, entre otros. Sin embargo una Agricultura Sostenible exige que estos insumos sean utilizados de manera racional para una máxima eficiencia en la producción de alimentos, pero con un mínimo de efectos negativos sobre el medio ambiente.

En la presente obra —Manejo Sostenible de Tierras en la Producción de Caña de Azúcar” se enfoca en los 12 capítulos que la conforman, los principios de Agricultura Sostenible. En ella los investigadores, directivos, técnicos y fundamentalmente los productores, así como los estudiantes de agronomía, de la generación presente y futura, tendrán en sus manos un material de estudio y consulta permanente, de los avances tecnológicos más recientes, en el manejo sostenible de la cadena productiva de la caña de azúcar, sin dañar el medio ambiente.

El 11 de noviembre de 1964 el Líder de la Revolución Cubana, compañero Fidel Castro, al clausurar el Primer Fórum Nacional Azucarero expresó:—Siendo nosotros el primer país en volumen de producción y siendo un país cuya economía ha dependido y tendrá que depender todavía por un lapso de tiempo fundamentalmente de la producción azucarera, es posible que seamos el último país del mundo en cuanto a investigaciones y técnica azucarera. Si abrimos cualquier libro sobre cuestiones de azúcar y de caña, nos encontramos referencias a las investigaciones realizadas en numerosos países, donde quiera que ha habido un poco de lógica entre el interés por la producción y la importancia que tiene la investigación”.

—No quiere esto decir que en Cuba no existiesen buenos técnicos en cuestiones de caña. Precisamente, de Cuba surgieron en el siglo pasado una serie de teorías y de conocimientos relacionados con la caña en un libro que recorrió el mundo y que era mucho más conocido fuera de Cuba que en Cuba, libro que sirvió algo así como de guía a las investigaciones en casi todos los países del

mundo. Este libro comienza de nuevo a circular y a ser conocido en nuestro país”.

Se refería Fidel al libro —Ensayo sobre el cultivo de la caña de azúcar” de Álvaro Reynoso, que había sido reimpresso por el Ministerio de Industrias y comenzaba a llegar a todas partes del país, Universidades, Institutos Tecnológicos Agrícolas y Granjas de Producción Cañera.

En ese mismo acto del 11 de noviembre de 1964, Fidel creó el Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), adscrito a la Academia de Ciencias de Cuba.

Hoy, poco antes de conmemorarse el 50 Aniversario de ese Instituto y en saludo a tan importante fecha, los investigadores del INICA, en este medio siglo de duro y constante trabajo investigativo, representados en el colectivo de autores que elaboramos esta obra científica y después de haberse cumplido más de 65 y 60 años de investigaciones en las Estaciones Experimentales de la Caña de Azúcar de Jovellanos y Guaro, respectivamente, le hacemos este modesto regalo a nuestro Comandante en Jefe, al personal que labora en el sector agro-azucarero, a los estudiantes de agronomía y las futuras generaciones.

Los autores

## **AGRADECIMIENTOS**

La presente obra, recoge en apretada síntesis, los principales resultados de casi 50 años de trabajo del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. En la obtención de los mismos ha participado, de una forma u otra, todo el colectivo de investigadores y trabajadores en general, sin ellos habría sido imposible alcanzar este objetivo.

También queremos agradecer a los especialistas de la Agencia de Medio Ambiente (AMA) del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), al Programa de Asociación de País (OP-15) para el apoyo al programa nacional de lucha contra la desertificación y la sequia, quienes apoyaron sin vacilación desde el primer momento la edición de esta obra.

A todos ellos nuestro más profundo reconocimiento.

Los autores

## Tabla de contenido

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	1
<b>CAÑA DE AZÚCAR Y SOSTENIBILIDAD</b> .....	1
<b>1.1 ORIGEN E INTRODUCCIÓN EN CUBA</b> .....	1
<b>1.2 EXPANSIÓN EN CUBA</b> .....	2
<b>1.3 MANEJO SOSTENIBLE DE TIERRAS</b> .....	4
1.3.1 Principios para la aplicación del MST .....	4
<b>1.4 SOSTENIBILIDAD Y MEDIO AMBIENTE</b> .....	5
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	7
<b>AGROECOLOGÍA</b> .....	7
<b>2.1 AGROECOLOGÍA</b> .....	7
<b>2.2 ALGUNOS MODELOS DE AGRICULTURA EN ARMONÍA CON EL AMBIENTE</b> .7	
2.2.1 Agricultura sostenible .....	7
2.2.2 Agricultura orgánica .....	8
2.2.3 Agricultura biodinámica .....	8
<b>2.3 FACTORES EXTERNOS QUE DETERMINAN EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS</b> .....	9
2.3.1 Factores abióticos .....	9
2.3.2 Factores bióticos .....	9
<b>2.4 PRINCIPIOS AGROECOLÓGICOS EN EL MANEJO AGRÍCOLA</b> .....	10
2.4.1 La rotación de cultivos .....	10
2.4.2 Los abonos verdes.....	10
2.4.3 La asociación de cultivos .....	10
2.4.4 Conservar o reutilizar los residuos de cosecha .....	11
<b>2.5 NUTRICION VEGETAL SOBRE BASES AGROBIOLÓGICAS</b> .....	11
2.5.1 Materia orgánica y empleo de residuos de origen orgánico en la agricultura..	11
2.5.2 Biofertilizantes y bioestimulantes .....	13
2.5.3 Micorrizas.....	14
<b>2.6 CONSIDERACIONES FINALES</b> .....	15
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	16
<b>MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS</b> .....	16
<b>3.1 EL SUELO COMO PATRIMONIO UNIVERSAL</b> .....	16
3.1.1 Concepto de suelo .....	16
3.1.2 Formación del suelo .....	16
3.1.3 Composición del suelo .....	17
3.1.4 Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo .....	18



3.1.5 Fertilidad del suelo .....	18
3.1.6 Los suelos para la caña de azúcar .....	18
3.1.7 Evaluación de la aptitud física de las tierras para el cultivo de la caña de azúcar .....	18
<b>3.2 DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS .....</b>	<b>19</b>
<b>3.3 EVALUACIÓN DE FACTORES EDÁFICOS LIMITANTES DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN LA UBPC TUINUCÚ .....</b>	<b>21</b>
3.3.1 Categorización de los factores edáficos limitantes en la UBPC Tuinucú .....	22
<b>3.4 PRÁCTICAS AGRÍCOLAS PARA MITIGAR LA DEGRACIÓN DEL SUELO .....</b>	<b>25</b>
3.4.1 Descompactación.....	25
3.4.2 Control de la erosión .....	26
<b>3.5 PRÁCTICAS DE MANEJO IMPLANTADAS EN LA UBPC TUINUCÚ .....</b>	<b>27</b>
3.5.1 Surque perpendicular a la máxima pendiente .....	27
3.5.2 Corrección de cárcavas.....	27
3.5.3 Establecimiento de barreras muertas .....	28
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>29</b>
<b>VARIEDADES Y SEMILLAS .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1 OBTENCIÓN DE VARIEDADES .....</b>	<b>29</b>
4.1.1 Colección de germoplasma .....	29
4.1.2 Introducción de variedades .....	30
4.1.3 Cuarentena vegetal.....	30
4.1.4 Lote de hibridación.....	31
4.1.5 Esquema de selección de la caña de azúcar en Cuba .....	32
4.1.6 Lote de posturas .....	34
4.1.7 Primer lote clonal (LC I).....	35
4.1.8 Segundo lote clonal (LC II).....	36
4.1.9 Interfase de semilla .....	37
4.1.10 Estudios multiambientales.....	38
4.1.11 Interfase pruebas de resistencia .....	39
<b>4.2 RECOMENDACIÓN DE VARIEDADES .....</b>	<b>40</b>
4.2.1 Las variedades como tecnología del cultivo de la caña de azúcar .....	41
4.2.2 Factores a considerar para un manejo adecuado de variedades .....	42
<b>4.3 PRODUCCIÓN DE SEMILLA .....</b>	<b>44</b>
4.3.1 Programa cubano de producción de semilla.....	44
4.3.2 Uso de la biotecnología.....	45
<b>4.4 USO DIVERSIFICADO DE LAS VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR .....</b>	<b>46</b>

<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>47</b>
<b>ENFERMEDADES E INSECTOS PLAGAS QUE AFECTAN A LA CAÑA DE AZÚCAR</b>	
<b>.....</b>	<b>47</b>
<b>5.1 ENFERMEDADES QUE AFECTAN LA CAÑA DE AZÚCAR.....</b>	<b>49</b>
5.1.1 Enfermedades causadas por hongos .....	49
5.1.2 Enfermedades causadas por virus .....	53
5.1.3 Enfermedades causadas por fitoplasmas.....	55
5.1.4 Enfermedades causadas por bacterias .....	56
<b>5.2 PROTECCIÓN FITOSANITARIA DE LA SEMILLA DE CAÑA DE AZÚCAR .....</b>	<b>60</b>
<b>5.3 INSECTOS PLAGAS QUE ATACAN A LA CAÑA DE AZÚCAR .....</b>	<b>60</b>
5.3.1 Nomenclatura fitosanitaria de las plagas.....	61
5.3.2 Insectos plagas del tallo .....	62
5.3.3 Insectos plagas de las hojas .....	65
5.3.4 Insectos plagas de las raíces .....	67
5.3.5 Vertebrados plagas que afectan a la caña de azúcar.....	68
<b>5.4 LUCHA BIOLÓGICA PARA EL CONTROL DE INSECTOS PLAGAS DE LA</b>	
<b>CAÑA DE AZÚCAR EN CUBA .....</b>	<b>69</b>
5.4.1 Entomófagos.....	70
5.4.2 Entomopatógenos .....	73
<b>5.5 MÉTODOS DE LIBERACIÓN DE PARASITOIDES Y PREDADORES .....</b>	<b>73</b>
<b>CAPÍTULO 6 .....</b>	<b>77</b>
<b>AGRONOMÍA.....</b>	<b>77</b>
<b>6.1 INTRODUCCIÓN A LA AGRONOMÍA DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR</b>	
<b>.....</b>	<b>77</b>
<b>6.2 PREPARACIÓN DE SUELOS .....</b>	<b>77</b>
6.2.1 Laboreo total con inversión del prisma .....	77
6.2.2 Laboreo total sin inversión del prisma .....	78
6.2.2.1 Laboreo localizado .....	79
6.2.2.2 Otras tecnologías para la preparación rápida del suelo.....	80
<b>6.3 PLANTACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR.....</b>	<b>81</b>
6.3.1 Plantación o siembra.....	81
6.3.2 Requerimientos y condiciones para una buena plantación.....	82
6.3.3 Tecnologías de plantación de la caña de azúcar.....	84
6.3.3.1 Tecnología para la siembra manual tradicional. ....	84
6.3.3.2 Tecnología para la siembra manual "Cuba Libre".....	84

6.3.3.3 Tecnología para la siembra mecanizada con plantadora de alimentación automática .....	86
6.3.3.4 Tecnología para la siembra de caña semi-mecanizada con plantadora de alimentación manual .....	86
6.3.3.5 Tecnología para la siembra especial en contorno.....	87
6.3.3.6 Tecnología para la siembra especial de semi-banco o cantero .....	87
6.3.3.7 Tecnología para la siembra especial en marcos estrechos: .....	88
6.3.4 Requisitos generales y técnicos para la plantación de caña de azúcar .....	88
6.3.5 Resiembra.....	89
<b>6.4 LA POBLACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN RELACIÓN CON LOS RENDIMIENTOS .....</b>	<b>90</b>
<b>6.5 ATENCIONES CULTURALES .....</b>	<b>91</b>
6.5.1 Tecnologías de cultivo .....	91
<b>6.6 USO DEL PENETRÓMETRO DE IMPACTO PARA DETERMINAR RESISTENCIA DEL SUELO .....</b>	<b>97</b>
<b><i>CAPÍTULO 7 .....</i></b>	<b>100</b>
<b><i>MANEJO INTEGRADO DE MALEZAS .....</i></b>	<b>100</b>
<b>7.1 GENERALIDADES ACERCA DE LAS MALEZAS .....</b>	<b>100</b>
<b>7.2 CLASIFICACIÓN DE LAS MALEZAS .....</b>	<b>100</b>
7.2.1 Clasificación de las malezas por su morfología o aspecto externo .....	100
7.2.1.1 Malezas de hojas anchas .....	100
7.2.1.2 Malezas de hojas estrechas .....	101
7.2.2 Clasificación de las malezas por su forma de reproducción .....	101
7.2.2.1 Malezas de propagación gámica o por semilla botánica.....	101
7.2.2.2 Malezas de propagación agámica u otra parte de sus órganos .....	102
<b>7.3 DAÑOS CAUSADOS POR LAS MALEZAS EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR .....</b>	<b>102</b>
<b>7.4 PERÍODO CRÍTICO DE COMPETENCIA DE MALEZAS Y UMBRAL ECONÓMICO DE DAÑOS.....</b>	<b>104</b>
<b>7.5 PRINCIPALES ESPECIES DE MALEZAS QUE AFECTAN LA CAÑA DE AZÚCAR EN CUBA .....</b>	<b>105</b>
<b>7.6 MÉTODOS PARA EL CONTROL DE MALEZAS .....</b>	<b>105</b>
7.6.1 Métodos preventivos de control de malezas.....	105
7.6.2 Métodos físicos de control de malezas.....	106
7.6.2.1 Control manual de malezas .....	106
7.6.2.2 Control mecanizado de malezas .....	106

7.6.3	Métodos culturales de control de malezas.....	108
7.6.4	Método químico de control de malezas .....	108
7.6.4.1	Equipos de aplicación de herbicidas.....	109
<b>CAPÍTULO 8 .....</b>		<b>110</b>
<b>NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN.....</b>		<b>110</b>
<b>8.1 ELEMENTOS ESENCIALES PARA LAS PLANTAS .....</b>		<b>110</b>
<b>8.2 LEYES GENERALES DE LA FERTILIZACIÓN.....</b>		<b>111</b>
8.2.1	Ley de restitución-Ley de conservación universal .....	111
8.2.2	Ley del mínimo y de interdependencia-Ley biológica universal .....	111
8.2.3	Ley de los aumentos decrecientes-Ley económica universal .....	112
<b>8.3 FUNDAMENTOS PARA EL EMPLEO EFICIENTE DE LOS FERTILIZANTES</b>		
<b>MINERALES (NPK) EN LA CAÑA DE AZÚCAR .....</b>		<b>113</b>
8.3.1	Nitrógeno .....	113
8.3.1.1	El nitrógeno en la naturaleza.....	113
8.3.1.2	Contenido y formas del nitrógeno en el suelo .....	114
8.3.1.3	Ciclo del nitrógeno en un agroecosistema con caña de azúcar .....	115
8.3.1.4	Transformaciones del nitrógeno en el suelo .....	115
8.3.1.5	Transformaciones del nitrógeno en la planta .....	115
8.3.1.6	Efectos del nitrógeno sobre la caña de azúcar .....	116
8.3.1.6.1	Efectos del nitrógeno sobre el rendimiento agrícola .....	116
8.3.1.6.2	Efectos del nitrógeno sobre la depresión del contenido de sacarosa .....	117
8.3.1.6.3	Efectos del nitrógeno sobre el incremento de azúcares reductores	117
8.3.1.6.4	Efectos del nitrógeno sobre el contenido de nitrógeno y fósforo en el jugo .....	118
8.3.1.7	Pérdidas y ganancias de nitrógeno.....	118
8.3.1.7.1	Pérdidas de nitrógeno.....	118
8.3.1.7.2	Ganancias de nitrógeno.....	119
8.3.1.8	Factores que determinan la efectividad en el uso del nitrógeno .....	119
8.3.1.9	Diagnóstico de la necesidad de nitrógeno por la caña de azúcar .....	123
8.3.1.10	Correcciones de las dosis de nitrógeno a través del análisis foliar .....	124
8.3.1.11	Recomendaciones de nitrógeno vigentes en Cuba.....	124
8.3.1.12	Biofertilización .....	125
8.3.1.12.1	Los biofertilizantes en Cuba.....	125
8.3.1.12.2	La fijación biológica del nitrógeno en la caña de azúcar .....	125

8.3.1.12.3 Generalidades sobre el Azospirillum y su uso en caña de azúcar en Cuba .....	126
8.3.2 Fósforo.....	127
8.3.2.1 Contenido y formas del fósforo en el suelo.....	127
8.3.2.2 Componentes del fósforo total.....	128
8.3.2.3 Transformaciones del fósforo en el suelo .....	129
8.3.2.4 Pérdidas y ganancias de fósforo .....	129
8.3.2.4.1 Pérdidas de fósforo .....	129
8.3.2.4.2 Ganancias de fósforo .....	130
8.3.2.5 Efectos del fósforo sobre la caña de azúcar.....	130
8.3.2.5.1 Factores que determinan la efectividad en el uso del fósforo .....	130
8.3.2.6 Diagnóstico de la necesidad de fósforo por la caña de azúcar .....	131
8.3.2.7 Fertilización fosfórica y calidad de los jugos en caña de azúcar .....	132
8.3.2.7.1 Relación entre la dosis de fósforo y el contenido de fósforo en el jugo .....	132
8.3.2.7.2 Efecto de la fertilización fosfórica sobre la clarificación del jugo .....	133
8.3.2.7.3 Efecto de la fertilización fosfórica sobre el contenido de almidón en el jugo .....	133
8.3.2.7.4 Relación N/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	133
8.3.2.8 Recomendaciones de fósforo vigentes en Cuba.....	137
8.3.2.9 Síntomas visuales de deficiencia de fósforo .....	137
8.3.3 Potasio.....	138
8.3.3.1 Contenido y formas del potasio en el suelo .....	138
8.3.3.2 Fijación.....	139
8.3.3.3 Pérdidas y ganancias de potasio .....	139
8.3.3.3.1 Pérdidas .....	139
8.3.3.3.2 Ganancias de potasio .....	140
8.3.3.4 Efecto del potasio sobre la caña de azúcar .....	140
8.3.3.5 Diagnóstico de la necesidad de potasio por la caña de azúcar.....	141
8.3.3.6 Correcciones de dosis de potasio a través del análisis foliar .....	141
8.3.3.7 Fertilización potásica y calidad de los jugos de la caña de azúcar .....	142
8.3.3.8 Recomendaciones de potasio para la caña de azúcar vigentes en Cuba. ....	145
8.3.3.9 Síntomas visuales de deficiencia de potasio .....	146
<b>8.4 EL pH Y LA DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES .....</b>	<b>146</b>
<b>8.5 MICROELEMENTOS.....</b>	<b>147</b>

<b>CAPÍTULO 9 .....</b>	<b>149</b>
<b>ABONOS ORGÁNICOS Y VERDES. ROTACIÓN DE CULTIVOS Y ENCALADO ..</b>	<b>149</b>
<b>9.1 APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN LA AGRICULTURA</b>	
<b>CAÑERA .....</b>	<b>149</b>
9.1.1 Residuos de la producción de azúcar.....	149
9.1.2 Residuos de la elaboración de alcohol y levadura torula .....	149
9.1.2.1 Vinaza .....	150
9.1.2.2 Levadura torula .....	150
9.1.2.3 Enfriamiento de los residuos .....	151
9.1.3 Residuos sólidos.....	153
9.1.3.1 Cachaza.....	153
9.1.3.2 Ceniza.....	158
9.1.3.3 Compost.....	158
9.1.4 Síntesis de algunos resultados obtenidos, con el uso de residuos agroindustriales de la caña de azúcar.....	159
<b>9.2 ABONOS VERDES .....</b>	<b>160</b>
<b>9.3 ROTACIÓN DE CULTIVOS.....</b>	<b>161</b>
<b>9.4 ENCALADO .....</b>	<b>162</b>
9.4.1 El encalado y la reacción del suelo .....	162
9.4.1.1 La acidez del suelo.....	162
9.4.1.2 El pH y los cultivos .....	162
<b>CAPÍTULO 10 .....</b>	<b>165</b>
<b>RIEGO Y DRENAJE.....</b>	<b>165</b>
<b>10.1 POTENCIALIDADES PRODUCTIVAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR BAJO RIEGO .....</b>	<b>165</b>
<b>10.2 COMPORTAMIENTO DE LAS PRECIPITACIONES Y LAS CONDICIONES DEL SUELO .....</b>	<b>166</b>
10.2.1 Importancia del comportamiento de las precipitaciones .....	166
10.2.2 Propiedades del suelo que influyen en el manejo del agua de riego .....	166
<b>10.3 RÉGIMEN DE RIEGO DE LA CAÑA DE AZÚCAR .....</b>	<b>166</b>
10.3.1 Variables que afectan el balance hídrico.....	167
10.3.2 Necesidades de riego.....	169
<b>10.4 TÉCNICAS DE RIEGO MÁS EMPLEADAS EN LA CAÑA DE AZÚCAR .....</b>	<b>169</b>
10.4.1 Riego por superficie .....	170
10.4.2 Riego por aspersión .....	173
10.4.3 Riego localizado.....	175

<b>10.5. ÍNDICES TÉCNICOS PARA SELECCIONAR LAS TECNOLOGÍAS DE RIEGO</b>	<b>177</b>
<b>10.7 DRENAJE. CARACTERIZACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE LOS PROBLEMAS DE DRENAJE SUPERFICIAL Y SUBSUPERFICIAL. RECOMENDACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS</b>	<b>179</b>
10.7.1 Caracterización y categorización de los problemas de drenaje	180
10.7.2 Tecnologías de drenaje para las áreas cañeras	180
10.7.3 Métodos de drenaje	181
10.7.4 Nivelación del terreno	183
<b>CAPÍTULO 11</b>	<b>185</b>
<b>ESTIMADOS, PROGRAMACIÓN DE CORTE Y COSECHA</b>	<b>185</b>
<b>11.1 ESTIMADOS</b>	<b>185</b>
11.1.1 Desglose del estimado	185
11.1.2 Confección del estimado	185
11.1.3 Caña a dejar quedar	185
11.1.4 Control del estimado	186
11.1.5 Liquidación de estimados	186
<b>11.2 PROGRAMACIÓN DE CORTE</b>	<b>186</b>
11.2.1 Estrategia de corte	187
11.2.2 Período de zafra	187
11.2.3 Uso de maduradores	187
11.2.4 Inhibición de la floración	188
<b>11.3 COSECHA</b>	<b>188</b>
11.3.1 Sistemas de cosecha	188
11.3.2 Medios empleados en la cosecha de la caña	189
11.3.2.1 Alzadoras	189
11.3.2.2 Cosechadoras de proceso completo	190
11.3.3 Organización de la cosecha	191
11.3.4 Índices de eficiencia de la cosecha	194
11.3.5 Efectos de la quema de caña de azúcar	195
11.3.6 Productividad de las cosechadoras	196
11.3.7 Cosecha de caña en condiciones de alta humedad	197
<b>CAPÍTULO 12</b>	<b>198</b>
<b>SERVICIOS CIENTÍFICO TÉCNICOS Y EXTENSIÓN AGRÍCOLA</b>	<b>198</b>
<b>12.1 SERVICIO DE RECOMENDACIONES DE FERTILIZANTES Y ENMIENDAS (SERFE)</b>	<b>198</b>

12.1.1 Impactos del SERFE .....	198
<b>12.2 SERVICIO DE VARIEDADES Y SEMILLA (SERVAS) .....</b>	<b>200</b>
12.2.1 Contribución del SERVAS a la protección fitosanitaria .....	200
12.2.2 Valoración económica .....	201
<b>12.3 SERVICIO FITOSANITARIO (SEFIT) .....</b>	<b>202</b>
12.3.1 Impactos del SEFIT .....	202
<b>12.4 SERVICIO PARA EL CONTROL INTEGRAL DE MALEZAS (SERCIM).....</b>	<b>207</b>
12.4.1 Principales funciones del SERCIM .....	207
<b>12.5 SERVICIO DE LABRANZA (SERLAB) .....</b>	<b>208</b>
12.5.1 Objetivos del SERLAB .....	208
12.5.2 Alcance del SERLAB.....	208
<b>12.6 SERVICIO INTEGRAL DE EXPLOTACIÓN DE RIEGO Y DRENAJE (SIERIED)</b>	
.....	<b>209</b>
12.6.1 Impactos del SIERIED.....	209
<b>12.7 SERVICIO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL (SEROT).....</b>	<b>210</b>
12.7.1 Utilidad de un Sistema de Información Geográfica (SIG) .....	210
12.7.2 El ordenamiento territorial como un servicio científico técnico .....	210
12.7.3 Sistema automatizado para la gestión y la asistencia científico técnica en la agricultura cañera .....	211
<b>12.8 EXTENSIÓN AGRÍCOLA .....</b>	<b>212</b>
12.8.1 El proceso de la enseñanza en la labor de extensión agrícola .....	212
12.8.2 Adopción de una nueva tecnología .....	213
12.8.3 Condiciones principales que debe reunir un buen extensionista .....	213
<b>BIBLIOGRAFÍAS .....</b>	<b>214</b>



## **CAPÍTULO 1**

### **CAÑA DE AZÚCAR Y SOSTENIBILIDAD**

**Hipólito Israel Pérez Iglesias**

**Ignacio Santana Aguilar**

**Irán Rodríguez Delgado**

**Ricardo Acevedo Rojas**

#### **1.1 ORIGEN E INTRODUCCIÓN EN CUBA**

El origen de la caña de azúcar es aún en nuestros días, un tema polémico y controvertido. Aunque se acepta en general su origen asiático, la zona específica del mismo no está claramente definida. Se cultiva en zonas tropicales y sub-tropicales, no obstante alcanza su máxima producción en los trópicos. Se planta bajo diferentes condiciones edafoclimáticas, pero su desarrollo es mejor en un clima cálido y húmedo, con abundante luz solar.

La caña de azúcar fue utilizada y cultivada desde los tiempos más remotos, lo cual motivó su difusión y los cruces que hacen muy difícil el estudio de sus orígenes. La teoría más comúnmente admitida señala el *Saccharum robustum* como la especie botánica de inicio y a la isla de Nueva Guinea como el lugar de origen.

Desde su centro de origen y dispersión, la caña de azúcar pasó por la India y fue llevada a Persia y Egipto a través de las invasiones árabes con las que se extendió por la cuenca del Mediterráneo a principios del siglo XVIII (Humbert, 1965).

Fue introducida en América, desde Europa, por Cristóbal Colón, en su segundo viaje en 1493 y plantada por primera vez en la isla La Española, hoy República Dominicana, de donde pasó a otras regiones del continente americano antes de ser introducida en Cuba.

Según Díaz Barreiro (1978), citado por Martín *et al.*, (1987), la fecha de introducción documentada más antigua, se sitúa el 13 de mayo de 1516, por el puerto de Güincho, hoy Nuevitás, Provincia de Camagüey, a bordo de la carabela Avemaría. No obstante esta fecha de introducción, la agroindustria azucarera no se estableció como tal hasta pasado varios años. Ya en el siglo XVIII los volúmenes de producción eran significativos para la época.

Diversas son las fechas que se citan con relación a la aparición de la industria del azúcar en Cuba. Ortiz en su libro el contrapunteo cubano del tabaco y el azúcar, señala el año 1596 como la fecha de instalación del primer ingenio para fabricar azúcar de caña en La Habana (Funes, 2010).

En sus inicios, la industria azucarera se desarrolló a partir de las llamadas "cañas nobles", que no eran más que representantes de *S. officinarum*, que fueron denominadas de esta forma por el grosor y la consistencia suave de sus tallos, así como por su alto contenido de azúcar. Entre los cultivares empleados en aquellos tiempos se destacó la caña Otaheite o caña Borbón, que llegó a cultivarse a nivel mundial por sus altos rendimientos, pero fue sustituida al sufrir el ataque de un complejo de enfermedades. Se empleó entonces la Cheribon o caña transparente, que está representada por tres formas diferentes (clara, rayada y morada), por lo que recibió diferentes nombres en los países en que se cultivó. En Cuba se introdujo y se cultivó a gran escala durante bastante tiempo, llamándola Cristalina.

## 1.2 EXPANSIÓN EN CUBA

La isla de Cuba, en el momento de su descubrimiento por Cristóbal Colón, estaba casi totalmente cubierta de frondosos bosques, excepto algunas zonas de sabanas y pequeños y escasos asentamientos de aborígenes.

Hasta finales del siglo XVIII los cubanos vivieron orgullosos de sus bosques. La Isla toda era un intrincado monte de maderas preciosas: caobas, cedros, ébanos, dagames, quiebrahachas y otros entre los cuales emergían las palmas gigantes. Nadie pudo hablar sin asombro de nuestros árboles y los primitivos cronistas afirmaron que a la sombra de ellos podía recorrerse el largo de la Isla (Moreno Fraginals, 1964).

Este autor señala –Es imposible hacer un estimado del arrasamiento de los bosques por el azúcar en expansión, a finales del siglo XVIII se calculaban en 500 caballerías (6 710 hectáreas (ha) desmotadas cada año. En 1819 la cifra promedio se duplicó y en 1844 llegó a 4 000 caballerías/año (53 680 ha). En ese mismo año la Junta encargada de la preservación de los bosques declaró que la legislación forestal había dado felices y satisfactorios resultados.

La vertiginosa y desmedida expansión azucarera arrasó los bosques cubanos, la sacarocracia destruyó en años algo que únicamente pueden reponer los siglos. Con la muerte del bosque liquidaron mucha de la fertilidad de la Isla, permitieron la terrible erosión de los terrenos y secaron miles de arroyos. De todo este sistema de explotación irracional, basado solo en cálculos mezquinos de ganancia inmediata, quedó también como saldo negativo el desprecio del cubano por el árbol (Moreno Fraginals, 1964).

El rápido crecimiento de la producción de azúcar propiciado por la industrialización aceleró la conquista de las regiones naturales cubanas, tanto por la necesidad de combustible (leña), como de tierras fertilizadas durante siglos por los bosques. Este proceso culminó, en lo fundamental, a mediados de la tercera década del siglo XX, después de la ofensiva favorecida por el estallido de la Primera Guerra Mundial y las grandes inversiones norteamericanas en la fundación de modernos centrales azucareros en el este de la Isla. No quiere decir que después de estos años no se produjeran nuevos desmontes para las siembras de caña, pero se puede afirmar que a partir de entonces la elevación de los rendimientos cañeros dependió de otros factores, como: mecanización agrícola, fertilizantes químicos, herbicidas, regadío u otros componentes de la llamada –Revolución verde”.

En 1860 el área ocupada por caña de azúcar era de 278 600 ha y la producción de azúcar alcanzaba las 428 769 toneladas (t). En esa fecha, tan temprana, la caña ocupaba el 2,5% de la superficie total de Cuba, mientras en 1919 el área cañera se incrementó al 8% de la superficie total de la Isla y la producción de azúcar era de 2 693 210 t. Habría que calcular cuánto de biodiversidad se consumió o extinguió para que Cuba fuese en unos pocos años –El Dorado” del mundo. La gran ironía, como tantas veces ocurrió desde que el azúcar se convirtió en el dios de los intereses económicos coloniales, fue que la riqueza que albergaban las zonas boscosas destruidas por la fiebre del azúcar tampoco produjo los grandes beneficios económicos esperados. Esa ingente producción industrial azucarera acentuó, junto a las consecuencias adversas en el orden económico, político y social los problemas históricos en relación con el medio natural. Ese proceder fue en gran medida el responsable del deterioro de las condiciones de fertilidad y del agotamiento de los suelos, dejando sólo la reseña de los cañaverales de 20, 30 o 40 años de duración, como un distante recuerdo del esplendor azucarero de Cuba (Funes, 2010).

La Tabla 1.1 ofrece una idea rápida de la expansión vertiginosa del cultivo de la caña de azúcar y el desarrollo de la industria azucarera en el país.

Ya en 1894, hace 114 años, se producían más de un millón de t de azúcar y en 1952, año del período pre-revolucionario que marcó, el pico más elevado con más 7 millones de t, sin haberse introducido todavía el corte y alza mecanizada de la caña. El otro

pico más alto de producción se alcanzó, en el período revolucionario, en la zafra de 1970 con más de 8 millones de t de azúcar.

**Tabla 1.1. Producción histórica de azúcar en Cuba durante el periodo 1760-2000 (240 años).**

Año	T. de azúcar	Año	T. de azúcar
1760	4 969	1894	1 110 991
1770	7 236	1900	309 195
1780	6 724	1910	1 868 913
1790	15 423	1920	3 872 306
1800	28 761	1930	4 848 603
1810	39 286	1940	2 890 691
1820	54 906	1950	5 620 535
1830	104 971	1952	7 298 023
1840	161 248	1959	6 038 559
1850	294 952	1960	5 942 859
1860	428769	1965	6 156 215
1870	720250	1970	8 537 639*
1880	618650	1990	7 853 163**
1890	636239	2000	3 916 808**

**Fuente:** Moreno Fraginals (1978). \*Serie histórica 1959 hasta fecha, Sala Análisis (AZCUBA, 2012a). \*\*Castellanos (2001). Las cifras pueden corresponder en algunos casos con las toneladas de azúcar exportadas, ya que en los primeros años no se llevaban registros de producción nacional.

El rendimiento industrial era muy variable dependiendo del tipo de ingenio, así Moreno Fraginals (1964) después de un exhaustivo trabajo y revisar cientos de miles de análisis de los libros de ingenios, arribó a las conclusiones siguientes:

- Ingenio de fuerza motriz, con trapiches verticales y horizontales de poca presión y produciendo exclusivamente mascabado (2,25 a 3,00%).
- Ingenio semimecanizado, buenos trapiches y trenes jamaquinos, procesando mascabado (2,50 a 3,25%).
- Ingenio semimecanizado, buenos trapiches y trenes jamaquinos, produciendo azúcar purgada (2,00 a 2,80%).
- Ingenio mecanizado, gran trapiche, tren Derosne Pontifex (4,00 a 5,00%).

Estos rendimientos industriales eran tan bajos porque el sistema de purga dejaba mieles con más de un 50% de azúcar cristalizable.

Mientras tanto el rendimiento agrícola, en el período 1800-1860, se estima se movían, en cuatro grupos según el tipo de terreno, ya que en esa época prácticamente no existían básculas en los ingenios para pesar la caña que procesaban (Moreno Fraginals, 1964), estos grupos fueron los siguientes:

- Siembras en tumbas (120 000 a 140 000 @/caballería = 103 a 120 t ha<sup>-1</sup>).
- Terrenos buenos (90 000 a 120 000 @/caballería = 77 a 103 t ha<sup>-1</sup>).
- Terrenos promedios (70 000 a 90 000 @/caballería = 60 a 77 t ha<sup>-1</sup>).
- Terrenos regulares (55 000 a 70 000 @/caballería = 47 a 60 t ha<sup>-1</sup>).

Cuando la producción bajaba de 55 000 @/caballería se abandonaba la tierra y se procedía a una nueva tumba o se mudaba o demolía el ingenio.

Estas cifras que parecen hoy extraordinarias, fueron normales. En las dos últimas décadas del siglo XVIII se produce un movimiento de expansión azucarera hacia Camagüey que tiene como base la búsqueda de rendimientos promedios de 100 000 @/caballería (85,5 t ha<sup>-1</sup>). El rendimiento promedio de un siglo después al período estudiado, era de sólo 47 963 @/caballería (41 t ha<sup>-1</sup>) (Moreno Friginals, 1964). Hoy se conoce que han existido en la primera década del siglo XXI, rendimientos promedios a nivel nacional, inferiores a las 30 t de caña ha<sup>-1</sup>.

Actualmente la superficie boscosa del país alcanza el 27,7% del territorio nacional, mientras en 1959, cuando primaba el abandono y explotación despiadada de los bosques, sólo se poseía el 13,4% de cobertura forestal, la FAO estima que cada año más de 130 mil kilómetros cuadrados de montes se pierden, a nivel mundial, por efectos de la deforestación, la conversión de tierras agrícolas, la recolección insostenible de madera, las prácticas de la gestión inadecuada de la tierra y la creación de asentamientos humanos (Fernández, 2012).

### 1.3 MANEJO SOSTENIBLE DE TIERRAS

A nivel mundial hoy en día el **Manejo Sostenible de Tierras (MST)** es una expresión cada vez más empleada con el propósito de manifestar la excelencia en el tratamiento de las tierras para obtener bienes y servicios suficientes y de calidad sin comprometer el estado de sus recursos naturales renovables y su capacidad de resiliencia (Urquiza *et al.*, 2005).

Es un modelo de trabajo adaptable a las condiciones de un entorno específico, que permite el uso de los recursos disponibles en función de un desarrollo socio económico que garantice la satisfacción de las necesidades crecientes de la sociedad, el mantenimiento de las capacidades de los ecosistemas y de recuperación de distorsiones causadas por fuerzas externas, por el estrés continuo o por una perturbación mayor.

Asociado a este modelo de trabajo, necesariamente habrá que conseguir una nueva forma de pensar y actuar en la agricultura, de manera que se conjuguen las acciones multidisciplinarias y transectoriales en función de la gestión integrada de los recursos. No es posible desarrollar programas agrícolas si no se tienen en cuenta los principios del MST, con este enfoque es que se basa la edición de esta obra, dirigida especialmente al personal (directivo, técnico y productores del sector agroazucarero), a los estudiantes de agronomía y a las generaciones futuras.

#### 1.3.1 Principios para la aplicación del MST

Estos principios pudieran ser considerados como “*los elementos que no pueden faltar*” en un programa de desarrollo agrícola bajo el proceso de MST (Urquiza *et al.*, 2005).

- El respeto y observancia de los instrumentos regulatorios (legales, técnicos e institucionales) vigentes así como los aspectos básicos de planificación, organización, coordinación y participación comunitaria.
- Las acciones basadas en los resultados de la ciencia e innovación tecnológica y en los conocimientos locales, tradicionales.
- La respuesta satisfactoria y oportuna a las necesidades de la sociedad y en específico, en función del desarrollo rural de manera óptima y sostenida.
- El enfoque integrador de las acciones.
- La selección de la unidad de manejo, se realiza bajo un enfoque adaptativo y obedece a las necesidades del agricultor, a las características del área y de la tecnología seleccionada.

- La sostenibilidad de las acciones a corto, mediano y largo plazo a fin de preservar los recursos naturales y asegurar el desarrollo de las actuales y futuras generaciones.

El manejo satisfactorio de los recursos agrícolas para satisfacer las necesidades humanas cambiantes y conservar los recursos naturales se fundamenta en mantener la calidad de los recursos naturales y acrecentar la vitalidad de todo el agroecosistema que incluye desde los seres humanos, los cultivos y los animales hasta los organismos del suelo, es decir el equilibrio biológico. Los recursos locales se utilizan reduciendo al mínimo la pérdida de nutrientes, biomasa y energía y evitando la contaminación (Socorro *et al.*, 2004)

La sostenibilidad de un agroecosistema se puede caracterizar por cuatro propiedades básicas:

**Productividad:** Relación entre los productos de un sistema y los insumos para esta producción.

**Estabilidad:** Grado al cual la productividad se mantiene constante, enfrentando distorsiones pequeñas causadas por fluctuaciones del clima y de otras variables ecológicas y económicas.

**Resiliencia:** Capacidad de recuperación del sistema de distorsiones causadas por fuerzas externas, por el estrés continuo o por una perturbación mayor.

**Equidad:** Distribución equitativa de los beneficios y riesgos generados por el manejo del sistema.

Agüero (2006) expone que la exigencia de la sostenibilidad y la mirada hacia el medio ambiente y la perspectiva ecológica son elementos impostergables e insustituibles, muy necesarios en cualquier empeño que hoy se pretenda hacer en función de una mejoría, de una innovación en el campo de la agronomía y de la vida social a nivel de la base productiva.

Para alcanzar la sostenibilidad es importante tener criterios claros acerca de la eficiencia, diversidad de manejo, renovación de recursos y la fragilidad del sistema, para entonces poder hablar de agricultura sostenible sin dañar el medio ambiente (Márquez y Borges 2007).

#### **1.4 SOSTENIBILIDAD Y MEDIO AMBIENTE**

Los problemas de la degradación del suelo que afronta Cuba, en la actualidad, tienen su origen en las características de la expansión azucarera, que a su paso invadió extensas áreas que nunca debieron ser desmontadas para sembrar caña. Hoy se estima que de las tierras cultivables sólo 5,4% se puede considerar como muy productivas y 17,8% como productivas, mientras que 30,8% se clasifican como poco productivas y 46,8% como muy poco productivas (Funes, 2010).

Sin lugar a dudas la tala de los bosques naturales, en la Isla fue indiscriminada, para usar la madera como combustible, para las compañías navieras, la fabricación de muebles y decoración de castillos y palacios, así como la siembra de caña, esta última causa fue la responsable de la mayor cantidad de área boscosa destruida y se prolongó hasta la primera mitad del siglo XX; pero todo no fue en vano, se podría hacer una larga lista de lo que debe la actual Cuba, desde el punto de vista económico, social y cultural al legado del azúcar.

Como si fuera poco el daño causado al medio natural en la primera mitad del siglo XX, después del agotamiento de los suelos, se acudió al uso intensivo de agroquímicos y maquinarias agrícolas, más la quema de rastrojos y residuos de la producción cañera, que predominaron hasta finales del siglo XX, lo cual provocó la degradación del medio ambiente, la caída del rendimiento de los campos cañeros, al tiempo que arraigaron en

los productores conceptos erróneos sobre el manejo de los suelos y el agua y tendencias al abuso en el empleo de insumos (Cuéllar *et al.*, 2003).

En nuestros días se presta mayor atención a la degradación de los suelos y el medio ambiente, así como al manejo sostenible de tierras y se puede afirmar que la situación medio ambiental en la Cuba de hoy es menos grave precisamente por las características del cultivo de la caña de azúcar, una de las pocas especies que es capaz de producir la energía para su procesamiento industrial y la mayor parte de su demanda de nutrientes; defenderse del ataque de plagas y enfermedades, admitir prácticas de laboreo mínimo, y poseer un profuso sistema radical, que junto a la cobertura del follaje y de los residuos de cosecha, ofrece una formidable contribución a la conservación del suelo, la humedad y defensa ante la presencia de malezas, además tiene la capacidad de retoñar, después de cada cosecha, lo cual disminuye el exceso de labranza y de superar a los bosques tropicales en la captura y secuestro de carbono.

Es conocido el efecto favorable de los bosques en la disminución del efecto invernadero; pero poco se habla de la caña de azúcar sobre este tema. No obstante en cada hectárea plantada con caña de azúcar se mantienen almacenadas y por tanto no van a la atmósfera, alrededor de 25 a 30 t de carbono, lo que equivale entre 50 y 70% más de lo que inmovilizan los bosques tropicales. Sólo por la producción de azúcar se origina una captura neta de 36,5 kilogramos de carbono equivalente al secuestro que realizan 83 metros cuadrados de un bosque tropical establecido.

La caña de azúcar, en sus tallos, almacena el alimento máspreciado y más consumido a nivel mundial, prácticamente el 100% de los más de 7 mil millones de personas que pueblan el planeta Tierra, consumen directa o indirectamente, unos gramos de azúcar cada día. Por otra parte, las reservas de combustible fósil, principal responsable del impresionante desarrollo alcanzado por la humanidad, tienden a su agotamiento, siendo la caña de azúcar la única planta capaz de producir la mayor cantidad de energía por unidad de superficie, mediante la obtención de biocombustibles que pueden ser mezclados con los derivados del petróleo, alargando la vida útil de las reservas de los hidrocarburos.

El futuro de la caña como cultivo es impactante y tiene que ver con la obtención de hidrógeno puro, partiendo desde el etanol. Ese hidrógeno puro será el gran combustible del futuro de los próximos 100 años, porque los productos finitos del petróleo y del gas natural, van declinando a medida que pasan los años, y la humanidad va a sufrir un cambio importantísimo en su estándar de vida. Entonces la propia humanidad por medio de la ciencia y de la tecnología tiene que ir dando las herramientas, para que dentro de los próximos 100 años, paulatinamente, la petroquímica pueda ser reemplazada por la alcohólica, siendo la caña de azúcar el cultivo por excelencia primer candidato para el desarrollo alcohólico, así lo expresó Franco Fogliata en entrevista concedida a la revista producción de Tucumán, Argentina (Seidán, 2009).

Independientemente de los estragos que causó; a los bosques, la biodiversidad y los recursos naturales, suelo, agua y el clima de Cuba; el impetuoso desarrollo de la industria azucarera en los siglos XVIII, XIX y XX, debido al empleo de un manejo poco racional e insostenible, existe actualmente la necesidad y voluntad política, así como el capital humano provisto de los conocimientos y posibilidades para continuar desarrollando la agroindustria azucarera en el país; pero de forma sostenible y en armonía con el medio ambiente.

En la actualidad, a pesar de que se produce azúcar de remolacha y otros tipos de azúcares alternativos, la producción de azúcar de caña sigue siendo un factor importante en la economía de muchos países del mundo, entre ellos, Cuba, manteniéndose su consumo y la demanda de la misma en el comercio internacional.

## **CAPÍTULO 2**

### **AGROECOLOGÍA**

***Nelson Cristóbal Arzola Pina***

***Hipólito Israel Pérez Iglesias***

***Irán Rodríguez Delgado***

La biosfera es una fina envoltura de nuestro planeta, que engloba las zonas limítrofes de la atmósfera, la hidrosfera y la litosfera; y que están ocupadas por la sustancia viva, es decir, por el conjunto de organismos que pueblan la Tierra, representa para el hombre la fuente de recursos alimentarios, energéticos y de materias primas, pero en la actualidad la relación entre el hombre y el medio ambiente ha provocado alteraciones del equilibrio "Producción-Naturaleza", lo cual ha conducido a la contaminación del suelo, la atmósfera y sobre todo de la hidrosfera del planeta.

El Manejo Sostenible de Tierras es un asunto muy importante para todos los países, debido a los impactos adversos de la degradación de los suelos en la productividad de la tierra, la seguridad alimentaria, el cambio climático global, el mantenimiento medio ambiental y finalmente en la calidad de vida. Existen extensas áreas consideradas como ecosistemas frágiles, en las cuales los procesos degradativos de los suelos se manifiestan en diferentes magnitudes, siendo la erosión, desertificación, salinización, compactación, contaminación, sequía, exceso de humedad, acidificación y pérdida de materia orgánica, problemas actuales que amenazan con destruir la fertilidad del suelo, recurso natural que requiere de un periodo de formación tan prolongado, que puede considerarse no renovable.

Por esa razón, surgen modelos de agricultura menos agresivos sobre el medio ambiente y aparecen los términos: ***agroecología, agricultura ecológica, agricultura sostenible y agricultura orgánica***, que se basan en el principio del uso sostenible de los recursos en beneficio del medio ambiente, del agricultor y del consumidor, todos esos modelos de agricultura, surgieron después de la Revolución Verde, en busca de una solución a los problemas creados con la industrialización en la agricultura.

#### **2.1 AGROECOLOGÍA**

La Agroecología en un sentido estricto puede considerarse simplemente como la *ciencia de la Ecología aplicada a la agricultura* y se distingue de una manera singular por su reconocimiento de la evaluación social y ecológica y la inseparabilidad de los sistemas sociales y ecológicos. Indispensable para hablar de Agroecología es el cuidado y preservación del medio ambiente, de allí que en los cultivos no se utilicen fertilizantes o plaguicidas químicos, se trabaje consecuentemente en la protección de los suelos y las cuencas hidrográficas, exista comprensión y claridad en el manejo de los recursos naturales y sobre todo, se mantenga la diversidad biológica.

Con el propósito de detener la acelerada degradación que ocasiona el hombre sobre el medio ambiente, han tomado fuerza en las últimas décadas diferentes enfoques o escuelas que proponen un manejo de los agro-sistemas que no sea tan agresivo sobre el medio ambiente, los recursos naturales y la biodiversidad, tales son: la agricultura orgánica, la natural, la ecológica, la biodinámica y la sostenible.

#### **2.2 ALGUNOS MODELOS DE AGRICULTURA EN ARMONÍA CON EL AMBIENTE**

##### **2.2.1 Agricultura sostenible**

La agricultura sostenible, abarca tres aspectos:

**Sostenibilidad ecológica:** Cuando el ecosistema mantiene sus principales características que le son esenciales para su supervivencia a largo plazo.

**Sostenibilidad económica:** Cuando la gestión adecuada de los recursos naturales permite que sea atractivo continuar con el sistema económico vigente.

**Sostenibilidad social:** Cuando los costos y beneficios son distribuidos tanto entre el total de la población actual (equidad intrageneracional) como entre la generación presente y la futura (equidad inter-generacional).

La agricultura, para ajustarse a los principios de la cumbre de Río debe mejorar o al menos conservar la fertilidad de los suelos, evitar la contaminación de la biosfera y minimizar el desgaste de los recursos naturales del planeta, pues hasta el presente la influencia de la agricultura sobre el medio ambiente ha sido negativa, lo cual se resume esquemáticamente en la Figura 2.1.

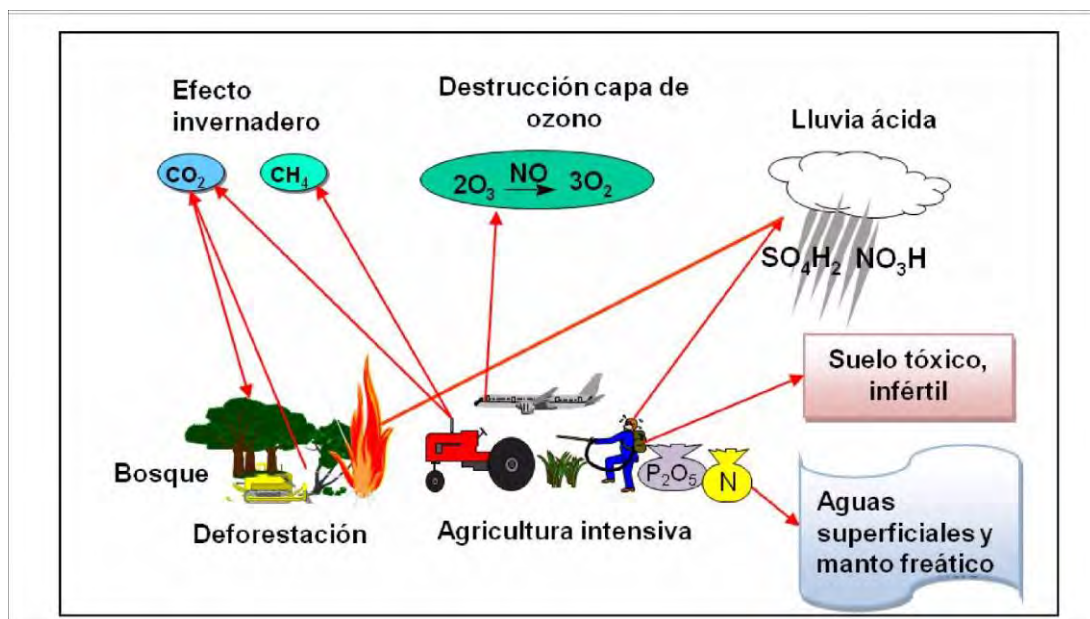


Figura 2.1. La agricultura intensiva y sus consecuencias sobre el entorno.

### 2.2.2 Agricultura orgánica

En la agricultura orgánica se emplean abonos orgánicos, abonos verdes, operaciones de laboreo manual y mecánico, cubiertas vegetales, rotación de cultivos, controles biológicos y preparados naturales contra plagas y enfermedades. Con ella se procura organizar el proceso productivo causando el mínimo daño posible al medio ambiente.

### 2.2.3 Agricultura biodinámica

El sistema biodinámico percibe la tierra como un organismo vivo, en el cual influyen directamente los efectos de las fuerzas cósmicas, en particular la luna. La agricultura biodinámica se basa en una filosofía holística desarrollada por el austriaco Rudolf Steiner y abarca la influencia del cosmos en plantas y animales, al igual orientaciones para la relación del ser humano con la naturaleza. Según la concepción biodinámica, una granja es un organismo vivo que refleja la gran complejidad de la naturaleza, se compone en su forma ideal, de praderas, campos de cultivo, huertos, árboles frutales, lagunas, ríos y bosques.

El calendario agrícola lunar planifica los cultivos en relación con la parte vegetal que desea que se desarrolle (hoja, flor, tallo, raíz) y las fases de la luna en cada mes del año, recomendando días apropiados para cada actividad agrícola.

Descontando el aprovechamiento que algunas personas puedan pretender obtener de convertir esta teoría en algo místico, se debe señalar que existen realidades entre la



atracción ejercida por la luna y las mareas, también el movimiento de la savia de la planta se ve influida, lo que se corresponde con la creencia empírica campesina, de cuando cortar para madera, cuando podar o cuando sembrar, lo que tiene fundamento en fisiología vegetal. La Luna por su cercanía a la Tierra, ejerce atracción, más que ningún otro cuerpo, por ello, su relación con muchos fenómenos podría estar presente, aunque probablemente el empirismo del campesino ha acumulado más, que los estudios científicos (Anliker, 2010).

## **2.3 FACTORES EXTERNOS QUE DETERMINAN EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS**

El crecimiento y rendimiento de un cultivo está determinado por un factor interno (potencial genético) y por un gran número de factores externos, que pueden ser ambientales (abióticos) o de organismos vivos (bióticos).

### **2.3.1 Factores abióticos**

**El suelo:** Desde el punto de vista de su aplicación en el suelo pueden verse académicamente o prácticamente, la existencia de dos líneas fundamentales:

**Pedología:** Considera el suelo como un cuerpo natural cuyas propiedades interesan para establecer su origen y su clasificación, sin importar sus posibilidades de uso.

**Edafología:** El suelo como el soporte para las plantas, es decir, se estudia desde un punto de vista netamente práctico, orientado a obtener los mejores rendimientos agropecuarios posibles. Conservar la fertilidad y capacidad productiva de los suelos no degradados y mejorar los que ya lo están es una necesidad para hacer sostenible la vida del hombre en el planeta.

**El clima:** El clima determina los límites geográficos en que puede vivir una especie vegetal y en que resulta económico su cultivo. La duración y la cantidad de horas luz determinan la floración de la caña de azúcar, aspecto negativo para la producción comercial, no así para la obtención de nuevas variedades.

Las plantas son extremadamente ineficientes en el aprovechamiento de la energía solar. Del 100% de la energía radiante que incide sobre la tierra un 60% no es absorbido debido a que es de grandes longitudes de onda. Del 40% restante un 8% se pierde por reflexión y transmisión otro 8%, se pierde por calor; un 19% constituye pérdida en el metabolismo de las plantas y sólo el 5% de la energía radiante que llega a las plantas es convertida en carbohidratos a través del tejido foliar fotosintético. El coeficiente de rendimiento de la luz, se puede duplicar en el caso de plantas C-4 como la caña de azúcar, el maíz y diferentes especies de pastos y alcanzar el 10% de luz absorbida, pero aún en esos casos el aprovechamiento es muy bajo. Las plantas C-4 se favorecen en condiciones de alta temperatura, iluminación intensa y baja humedad relativa, que son las predominantes en los climas tropicales y subtropicales, relativamente áridos.

### **2.3.2 Factores bióticos**

**Plagas:** Existen posibilidades de combatir plagas y enfermedades de forma menos agresiva sobre el medio ambiente, no resulta efectivo el empleo exclusivo de medios químicos pues los patógenos incrementan su resistencia ante el uso continuado de determinado producto. Por un proceso de selección genética, los insectos desarrollan familias resistentes a los productos químicos, pero el problema más amplio, es el hecho de que el ataque químico está debilitando las defensas inherentes al propio medio ambiente, defensas encargadas de mantener limitadas a varias especies.

**Malezas:** Las malezas interactúan ecológicamente con todos los subsistemas de un agrosistema siendo un elemento valioso en el control de la erosión, mantenimiento de la humedad del suelo, estructuración de la materia orgánica y del nitrógeno,

preservación de los insectos benéficos y la vida silvestre. Las malezas dentro de un sistema de cultivo pueden reducir la incidencia de insectos plagas.

## **2.4 PRINCIPIOS AGROECOLÓGICOS EN EL MANEJO AGRÍCOLA**

Además de los factores bióticos plagas (malezas, enfermedades e insectos), que forman parte de un manejo agroecológico, existen otros que serán tratados a continuación.

### **2.4.1 La rotación de cultivos**

Influye sobre las propiedades del suelo, la erosión, biota, supervivencia de insectos, nematodos, hongos, otros organismos, fitotoxinas y malezas. Dado lo complejo que resultan las interacciones que se presentan en los agrosistemas es necesario el estudio de éstas para evitar lo que frecuentemente ha sucedido hasta ahora, que por desconocimiento se han adoptado prácticas en la agricultura moderna que han ocasionado más daños que beneficios.

Desafortunadamente existe un fuerte rechazo del productor cañero hacia el empleo de estos métodos, lo cual no ha sido posible por diversas causas, donde entran a jugar factores objetivos y subjetivos, establecer un sistema de rotación de cultivos en el proceso de producción de caña.

Sin embargo (Cuéllar *et al.*, 2003) considera que es factible, entre la demolición de la cepa vieja y la nueva plantación, entre abril y septiembre, sembrar un cultivo de ciclo corto como: soya (*Glycine max* (L.)), ajonjolí (*Sesamum indicum* L.), maní (*Arachis hypogaea* L.), canavalia (*Canavalia ensiformis* L.), mucuna o frijol terciopelo (*Mucuna pruriens* (L.) DC.) y caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) además de melón, calabaza y pepino, con los cuales se han obtenido buenos resultados. Este autor considera, que una de las causas por las que ha fallado la rotación de cultivos con caña de azúcar, es porque se piensa, erróneamente que no se necesita atenderlos.

### **2.4.2 Los abonos verdes**

Generalmente son leguminosas que se incorporan al suelo con los propósitos siguientes: aumentar el contenido de materia orgánica (MO), de nitrógeno (N) o de otros nutrientes que los cultivos suelen tomar de formas poco asimilables o de capas más profundas del suelo y cuando se incorporan enriquecen con ellos los horizontes superficiales. Se reportan por su incorporación de N al suelo buenos resultados con el uso de crotalaria (*Crotalaria juncea* L.), entre 75 y 88 kg N ha<sup>-1</sup>.

Los abonos verdes, basados en el uso de leguminosas con alta eficiencia de Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN), son hoy en día una de las principales alternativas viables como fuente de N en diversos sistemas agrícolas, especialmente en la región tropical y particularmente en los pequeños productores. Se debe considerar que los abonos verdes pueden llegar a acumular en promedio, hasta 300 kg N ha<sup>-1</sup>, siendo la mayor parte de éste derivado de la FBN, la cual puede llegar hasta cerca del 90% del total de N acumulado por las plantas especialmente en suelos pobres en N disponible (Urquiaga y Zapata, 2000).

### **2.4.3 La asociación de cultivos**

Consiste en la convivencia de dos o más cultivos en un mismo campo, los cuales, deben presentar características diferentes, que les permita aprovechar mejor la disponibilidad de nutrientes y humedad en los diferentes estratos del suelo, sin competir entre sí. La parte aérea de la planta debe permitir el mejor aprovechamiento de la luz, así como del espacio disponible en lo vertical y en lo horizontal, mientras que el ordenamiento estructural del sistema radical debe buscar una máxima cobertura dentro del suelo.

Por otra parte, el aporte de múltiples excreciones en la rizosfera favorece la vida del suelo y la fijación de N por la leguminosa y los restos de la cosecha benefician las reservas orgánicas y de N del suelo. La cobertura protege al suelo de la erosión, conserva la humedad, la MO y disminuye las malezas, mientras que la asociación de cultivos proporciona mayor diversidad en el agrosistema.

La caña de azúcar se ha beneficiado significativamente por la asociación con bacterias fijadoras de N, atribuyéndose a ello, que no disminuyeran las reservas de N del suelo, en lugares donde se ha establecido este cultivo durante décadas, esta asociación se ha reportado en muchos cultivos y cada día cobra mayor importancia por su magnitud y por abarcar un mayor número de especies. El manejo agroecológico debe tratar de optimizar el reciclaje de nutrientes y de la MO, cerrar los flujos de energía, conservar el agua y el suelo y balancear las poblaciones de plagas y enemigos naturales.

Como las actividades agrícolas comienzan con la preparación del suelo y terminan en la cosecha, se hace necesario tratar cada una de ellas, con el propósito de que contribuyan a mejorar la fertilidad y capacidad productiva de los suelos, disminuir los daños causados por plagas (enfermedades, insectos y malezas), alcanzar elevados rendimientos, calidad del producto agrícola, proteger el entorno de la contaminación y preservar los recursos naturales.

#### **2.4.4 Conservar o reutilizar los residuos de cosecha**

Los residuos de las cosechas o bien deben quedar en el campo para ser incorporados con las labores de preparación del suelo o mantenerse como una cobertura, pero no deben quemarse. Sólo se podrían emplear como material combustible para energía de existir un diagnóstico que demuestre que los mismos pueden ser empleados totalmente o en parte para la combustión sin que se afecte la fertilidad y capacidad sostenible de producción del suelo.

Los restos de las cosechas son MO potencial del suelo y sirven como sumidero de carbono, lo que evita que pasen a la atmósfera gases con efecto invernadero.

Mantener el suelo cubierto con rastrojos (mulch), evita el golpe directo de las gotas del agua de lluvia, disminuye la velocidad de escorrentía y la erosión, mantiene la humedad del suelo, evita el desarrollo de malezas y mejora las propiedades físicas, químicas, físico-químicas y biológicas del suelo.

### **2.5 NUTRICION VEGETAL SOBRE BASES AGROBIOLÓGICAS**

#### **2.5.1 Materia orgánica y empleo de residuos de origen orgánico en la agricultura**

Parece ampliamente aceptado que un umbral importante es el 2% de carbono orgánico del suelo (CO) (3,4% de MO), por debajo del cual puede ser grave la disminución de la calidad del suelo para producir cosechas de alto rendimiento.

Estudios realizados en una amplia gama de tipos de suelo, cultivos y regiones; sugieren que, independientemente del tipo de suelo, si el CO disminuye a cerca del 1% puede que no sea posible obtener rendimiento alguno, probablemente debido a las reducciones en N-mineralizable, incluso con adición de fertilizantes minerales (Loveland y Webb, 2003). Atendiendo a los resultados anteriores, obtenidos en condiciones de clima templado y hasta que se disponga de mayor información, se proponen a modo de orientación los rangos siguientes (Tabla 2.1).

**Tabla 2.1. Rangos de abastecimiento para el contenido de carbono orgánico del suelo y su relación con el porcentaje de materia orgánica.**

Rango de abastecimiento	% de CO	% de MO
Muy pobre	< 1	< 1,7
Pobre	1-2	1,7-3,4
Rico	> 2	> 3,4

**Fuente: Loveland y Webb (2003).**

El contenido de MOS está muy relacionado con el de N del suelo, ya que más de un 95% del N total del suelo es orgánico; influir favorablemente en minimizar las pérdidas de los agrosistemas es de importancia para la fertilidad de los suelos y para atenuar la contaminación ambiental de la biosfera.

La comparación entre un agrosistema de caña de azúcar y un bosque de tecas mostró un contenido de Carbono Orgánico Total (COT) superior en el ecosistema de bosque que en el agrosistema de caña de azúcar, lo que se hace más patente en el horizonte superficial (Tabla 2.2).

La diferencia encontrada, indica a modo de orientación que la tala de los bosques para el cultivo de la caña de azúcar en Cuba, podría haber originado alrededor de 1,5 millones de ha dedicadas a este cultivo (en la década de 1980-1990) y el vertimiento a la atmósfera de 64,7 millones de t de carbono.

**Tabla 2.2. Contenido de carbono orgánico a diferentes profundidades del suelo en un bosque y un agrosistema de caña de azúcar.**

Profundidad (cm)	Carbono orgánico (%)		t de carbono ha <sup>-1</sup>		
	Bosque	Caña	Bosque	Caña	diferencia
0-15	2,81	1,67	52,68	31,31	21,37
15-30	1,97	1,17	36,94	21,94	15,00
30-45	1,25	0,89	23,43	16,69	6,74
<b>Total</b>			<b>113,05</b>	<b>69,94</b>	<b>43,11</b>

**Fuente: Arzola (2005).**

Un menor contenido de COT del suelo, origina: menos reserva de nutrientes, menor capacidad de intercambio catiónico, peor estructura, menor retención de humedad, menor aireación, más compactación, mayor facilidad para la erosión, menor población microbiana y mayor contaminación atmosférica con anhídrido carbónico. Se estima que el 27% del total de carbono almacenado en el suelo desde la era prehistórica ha sido perdido. En este estudio esa cifra alcanzó el valor de 38%, lo que indica la importancia de definir los factores que intervienen en ese proceso e influir en ellos adecuadamente.

De las prácticas agrícolas comparadas en microparcels, el empleo de cachaza mostró como promedio de todos los muestreos realizados los mayores contenidos de COT, mientras los más bajos se encontraron en el suelo que se mantuvo bajo laboreo (Tabla 2.3). Esto se puede explicar por el elevado aporte de carbono de la cachaza, en contraste con la mayor tasa de descomposición de los compuestos orgánicos que posee el suelo bajo laboreo.

El efecto de la cachaza aplicada sobre el COT decrece con el tiempo a partir de su aplicación, en tanto que, con el cultivo de la caña de azúcar aumenta este indicador al transcurrir el tiempo, por ello de forma sostenida sólo se logran incrementos de COT con el cultivo de la caña de azúcar (sin quemas), lo que puede atribuirse al aporte de paja, raíces y otros restos orgánicos que enriquecen el suelo. De ahí el carácter

sostenible de este cultivo y que los suelos bajo caña estén menos degradados, independientemente de la tala indiscriminada de los bosques naturales de Cuba para el establecimiento de los cañaverales.

**Tabla 2.3. Contenido de carbono orgánico en un suelo Pardo sin Carbonatos desnudo (sin labrar y bajo laboreo), cultivado con caña de azúcar y donde se incorporaron 100 t ha<sup>-1</sup> de cachaza.**

Indicador	Suelo desnudo		Caña de azúcar	Cachaza (100 t ha <sup>-1</sup> )
	Sin labrar (sdsI)	Labrado (sdbl)		
Carbono Orgánico Total (%)	1,78	1,66	2,01	2,14
t de carbono orgánico total/ha	39,87	37,18	45,02	47,94
*Relación CFL/CFG	9,81	10,19	12,59	8,51

**sdsI= Suelo desnudo sin labrar. sdbl= Suelo desnudo bajo laboreo.**

**CFL = Fracción de Carbono Ligera. CFG = Fracción de Carbono Gruesa.**

**Fuente: Arzola (2005).**

El suelo cultivado con caña de azúcar mostró la mayor relación de fracción ligera de carbono/fracción gruesa de carbono, lo que se considera podría servir de indicador sobre la calidad de la materia orgánica y resulta favorable para ese tratamiento, pues a la fracción fina se le atribuye gran importancia en la fertilidad del suelo.

Existe tendencia a aumentar en el suelo desnudo sin labrar, el contenido de COT por encima del suelo desnudo bajo laboreo, lo que se podría explicar porque la mayor aireación del suelo bajo laboreo ocasione una mayor tasa de mineralización de los compuestos orgánicos, lo que está en correspondencia con las ventajas atribuidas al laboreo mínimo en ese aspecto.

La utilización de los residuos orgánicos en la agricultura (aportan materia orgánica, nutrientes y agua) permite establecer un ciclo cerrado, similar al que de forma natural ocurre en la naturaleza con los ciclos biogeoquímicos, de esa forma se beneficia el hombre tanto en lo económico, como en lo ambiental, ya que disminuye la contaminación con productos desechables considerados como residuos. La protección del medio ambiente, no se limita a una entidad o al estado, es necesario enfrentarlo por toda la población y para ello es necesario que “cada persona haga en cada lugar y a su nivel lo que le corresponde para proteger el medio ambiente”.

### **2.5.2 Biofertilizantes y bioestimulantes**

Los biofertilizantes pueden definirse como preparados que contienen células vivas o latentes de cepas microbianas eficientes fijadoras de N, solubilizadoras de P o potenciadoras de diversos nutrientes, que se utilizan para aplicar a las semillas o al suelo, con el objetivo de incrementar el número de estos microorganismos en el medio y acelerar los procesos microbianos, de tal forma que se aumenten las cantidades de nutrientes que pueden ser asimilados por las plantas o se hagan más rápidos los procesos fisiológicos que influyen sobre el desarrollo y el rendimiento de los cultivos.

Los éxitos alcanzados con la utilización de los biofertilizantes en Cuba, motivaron su validación e introducción en otros países interesados en aplicar los métodos sostenibles en su desarrollo agrícola.

Entre los biofertilizantes más utilizados en Cuba durante la última década se encuentran aquellos que se preparan a base de bacterias fijadoras de N de forma asociativa y de microorganismos solubilizadores de fósforo del suelo, todos los cuales sintetizan también aminoácidos, vitaminas, citocininas, auxinas, giberelinas y otras sustancias que actúan como estimuladoras del crecimiento vegetal.

La cepa 8 INICA de *Azospirillum* spp., aislada en la rizosfera de la variedad de caña de azúcar Ja60-5, se evaluó en un grupo de experimentos (28) sobre un Vertisol. Los rendimientos alcanzados fueron espectaculares (Tabla 2.4), pues se obtiene una respuesta equiparable al empleo del 100% de N mineral recomendado; de donde se puede inferir que 1 kg de N resultó igual a inocular 1 litro del biopreparado.

**Tabla 2.4. Toneladas de caña ha<sup>-1</sup> obtenidas en 28 cosechas de experimentos de campo donde se comparó la aplicación de 100 litros de *Azospirillum* ha<sup>-1</sup> con 100 kg de N ha<sup>-1</sup> y un testigo sin N. Todos los tratamientos recibieron igual cantidad de PK.**

Tratamiento	t de caña ha <sup>-1</sup>	Rendimiento relativo
N 0 kg ha <sup>-1</sup> + PK (Testigo)	50,12 b	1,00 b
N 100 kg ha <sup>-1</sup> + PK	64,31 a	1,28 a
<i>Azospirillum</i> 100 l ha <sup>-1</sup> + PK	62,08 a	1,24 a

Fuente: Roldós *et al.* (2000).

Este resultado además de las ventajas agronómicas y ecológicas que trae aparejadas, confirma su factibilidad económica, ya que, 1 litro de éste inoculante de *Azospirillum* cuesta 0,09 USD, mientras que 1 kg de N cuesta entre 0,50-0,60 USD.

Existen biofertilizantes que “solubilizan fósforo insoluble” del suelo, con ello no se enriquece el suelo en ese nutriente, pues actúan sobre las reservas. Este proceso puede ser de importancia en aquellas condiciones en que las reservas de este elemento sean elevadas. La solubilización se desarrolla sobre el fósforo inorgánico y orgánico presente en el suelo. Como regla general una sola fosfatasa puede actuar en muchos sustratos diferentes y con esta actividad los microorganismos pueden aportar a las plantas entre el 30-60% de su necesidades de fósforo.

### 2.5.3 Micorrizas

La importancia de la participación de los microorganismos del suelo en los mecanismos de agregación de las partículas del mismo, tanto a través de la producción de sustancias cementantes, como mediante el efecto mecánico del micelio de los hongos y actinomicetos, es un hecho ampliamente aceptado, en la literatura especializada. Las micorrizas son asociaciones entre ciertos hongos del suelo y las raíces de las plantas y se han agrupado sobre la base de la anatomía de las raíces que colonizan en:

**Ectomicorrizas:** Se caracterizan por la penetración intercelular del micelio fúngico en la corteza radical, que forma la llamada “red de Hartich” y el “manto” que se desenvuelve alrededor de los segmentos de raíces colonizadas, provocando cambios anatómicos evidentes que producen el crecimiento dicotómico de esas raíces.

**Ectendomicorrizas:** Son generalmente ectomicorrizas con penetración intracelular. Existen diferencias anatómicas en función de las plantas hospederas, de manera que se diferencian los subgrupos de acuerdo a los géneros de plantas.

**Endomicorrizas:** Se caracterizan por la penetración inter o intracelular, pero sin formación de manto ni modificaciones evidentes en las raíces. Cumplen con esas condiciones algunos tipos de micorrizas, siendo las de amplia distribución las versículo-arbusculares (MVA) por su capacidad biofertilizadora.

Las micorrizas arbusculares (MA) incrementan de forma directa la nutrición de las plantas y también benefician de forma indirecta la planta huésped mejorando la estructura del suelo mediante la formación y estabilización de los agregados.

## **2.6 CONSIDERACIONES FINALES**

El uso contemporáneo del término agroecología data de los años 70, pero la ciencia y la práctica de la agroecología son tan antiguas como los orígenes de la agricultura.

En América Latina y el Caribe, a medida que los investigadores exploran las agriculturas indígenas, las que son reliquias modificadas de formas agronómicas más antiguas, se hace más notorio que muchos sistemas agrícolas desarrollados a nivel local, incorporan rutinariamente mecanismos para acomodar los cultivos a las variables del medio ambiente natural, para protegerlos de la depredación y la competencia.

Estos mecanismos utilizan insumos renovables existentes en las regiones, así como los rasgos ecológicos y estructurales propios de los campos, los barbechos y la vegetación circundante. Hoy resulta totalmente necesario adoptar estas formas de producción agrícola, debido a la situación presente originada por el calentamiento global, el cambio climático, la desertificación, las intensas sequías, la deforestación, la pérdida de biodiversidad, la degradación de los suelos, la contaminación ambiental, la escasez de agua dulce y el incremento de la población. Es indispensable reflexionar sobre estos aspectos, capacitar a los productores para ir hacia una agricultura sustentable y menos dañina, donde el manejo sostenible de tierras, en el sentido más amplio, esté presente, ya que el suelo y el hombre en el manejo de su explotación, son los únicos responsables de alcanzar los niveles de producción de alimentos necesarios para nutrir la humanidad.

En este capítulo se pone a disposición del personal que labora en el sector agrícola y en especial al productor cañero los elementos fundamentales para la utilización de formas de producción más sustentables, económicamente más rentables y socialmente en armonía con el entorno.

## **CAPÍTULO 3**

### **MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS**

***Irán Rodríguez Delgado***

***Hipólito Israel Pérez Iglesias***

***Francisco Javier Arcia Porrúa***

***Ledyá Benítez Puig***

#### **3.1 EL SUELO COMO PATRIMONIO UNIVERSAL**

Para cualquier especialista, el estudio de los suelos puede ser un tema apasionante por la complejidad y la variedad de los procesos que en él ocurren, en su estudio, pueden encontrar motivo de desvelo desde un productor preocupado por su tierra hasta un físico o un biólogo.

Pero como todo en la naturaleza, el suelo está expuesto al conocimiento humano, mediante su estudio pueden establecerse leyes, principios, regularidades y relaciones que permiten, sin dudas, poner este recurso al servicio del hombre, desarrollando sus acciones de una manera armónica con el entorno, sin destruirlo.

El suelo está íntimamente relacionado con el desarrollo de los sistemas agropecuarios, por lo que el conocimiento de los factores edáficos que inciden en la producción agrícola y la acción que el hombre ejerce para superar el límite por ellos impuestos es un paso imprescindible para toda aspiración de obtener altos rendimientos y hacer más rentable y sostenible la producción.

Constituye uno de los cuatro elementos primarios indispensables para la vida, junto a la luz solar, el aire y el agua; nutre la vida vegetal y sustenta a todos los seres vivos. Por tanto constituye un recurso natural de extraordinaria importancia para la vida, siendo considerado "**Patrimonio Universal de la Humanidad**" y no pertenece a ninguna generación en particular, por lo que su explotación se debe realizar utilizando métodos adecuados de conservación y mejoramiento para evitar su acelerada degradación y empobrecimiento y lograr producciones estables y rentables. Es el principal recurso con que cuentan las naciones del mundo y las futuras generaciones.

Desde la antigüedad hay ejemplos de civilizaciones completas que desaparecieron a causa de la degradación paulatina de los suelos, de la América precolombina a la Mesopotámica. Estos casos nos alertan y confirman que la vida del hombre, la comunidad y de un país, pueden depender de la salud de sus suelos (Balmaseda y Ponce de León, 2009).

##### **3.1.1 Concepto de suelo**

Desde el punto de vista agronómico, el suelo es el sitio donde viven y crecen las plantas y los animales, los cuales son extremadamente importantes en el mantenimiento de la vida humana, este debe ser el concepto que predomine para los estudiantes de agronomía y para los productores del campo en general. Es la capa de materiales orgánicos y minerales que cubre la corteza terrestre y en la cual las plantas desarrollan sus raíces y toman los alimentos que le son necesarios para su nutrición.

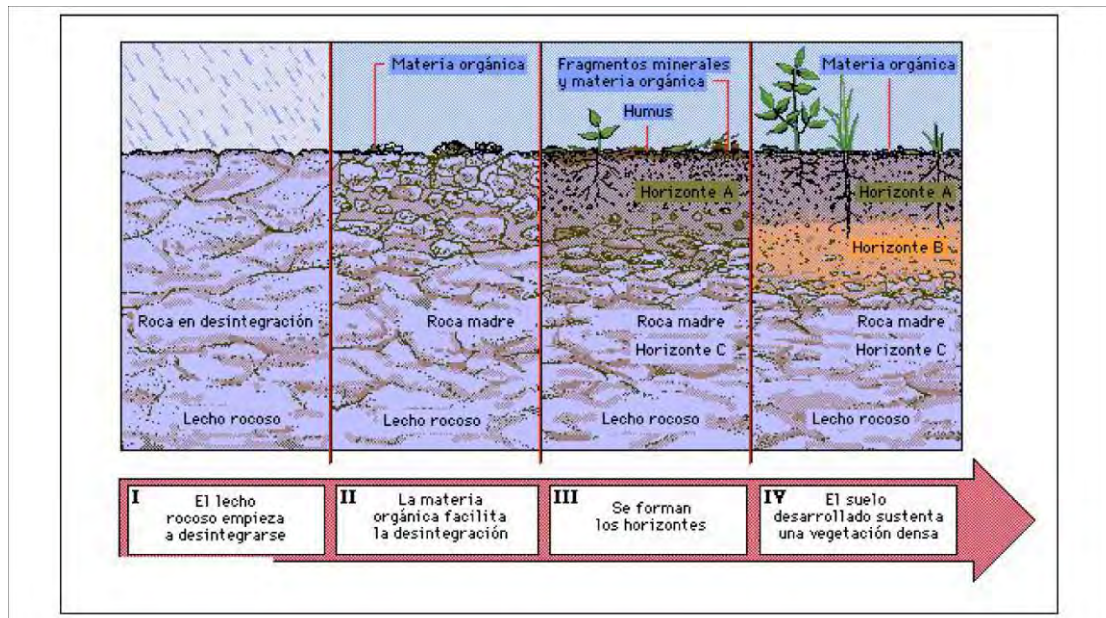
##### **3.1.2 Formación del suelo**

El suelo es el resultado de la interacción de cinco factores: El material parental o roca madre, el clima, los factores bióticos (organismos vivos), la topografía (relieve) y el tiempo.

El material parental es el substrato a partir del cual se desarrolla el suelo. El clima influye en la formación del suelo a través de la temperatura y las precipitaciones, así



como sobre la vida animal y vegetal. Los factores bióticos (plantas, animales, bacterias y hongos) son el origen de la materia orgánica del suelo, y los que facilitan su mezcla con la materia mineral. La topografía afecta a la cantidad de agua que penetra en el suelo y a la tasa de erosión. El paso del tiempo es necesario para un desarrollo completo del suelo. Una representación gráfica de la acción de los factores de formación del suelo se puede observar en la Figura 3.1.

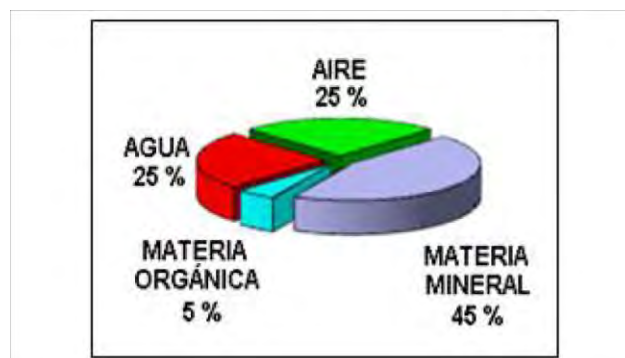


**Figura 3.1. Proceso de formación del suelo, se estima que el tiempo transcurrido de la lámina I a la IV es de millones de años.**

### 3.1.3 Composición del suelo

Los suelos pueden separarse por su composición predominante en suelos orgánicos y suelos minerales, los primeros se conocen en la literatura internacional como Histosoles y se forman siempre en condiciones en que la producción de materia orgánica es superior a su mineralización. Esto ocurre generalmente en medios saturados de agua como las ciénagas o humedales, como también se conocen.

En la composición de los suelos minerales se destacan cuatro componentes fundamentales: materias minerales, materia orgánica, agua y aire. La proporción de estas materias varía en los diferentes tipos de suelos, como consecuencia de los factores de formación a que estuvo expuesto y los procesos que le dieron lugar. Una proporción adecuada es la que muestra la Figura 3.2, donde los espacios porosos ocupan el 50% del volumen del suelo y el otro 50% se encuentra ocupado por la materia orgánica y mineral.



**Figura 3.2. Composición típica en volumen de un suelo mineral.**

Las prácticas de manejo a que esté sometido el suelo modifica la proporción relativa original de sus componentes. Un suelo bajo bosque tendrá un mayor contenido de materia orgánica que uno bajo cultivo intensivo como la caña de azúcar, de igual forma un suelo compactado tendrá un menor volumen de espacios porosos y por lo tanto un menor contenido de agua y aire.

### **3.1.4 Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo**

Las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo ejercen una marcada influencia en el desarrollo y la productividad de la caña de azúcar y por consiguiente, en la rentabilidad y bienestar del productor, éstas se interrelacionan entre sí, por lo que en la explotación de las tierras es muy importante prestarle la atención y el cuidado que dichas propiedades requieren, para evitar cosechas deprimidas debido a la degradación del suelo.

### **3.1.5 Fertilidad del suelo**

Es la capacidad que tiene un suelo para proporcionar elementos nutritivos a las plantas, en porcentajes adecuados y en proporciones convenientes. Su conservación y manejo, son aspectos vitales para el normal desarrollo de los cultivos, por lo que se precisa una proporción adecuada de nutrientes total y asimilable, lo cual asegura las condiciones fisiológicas deseadas para una producción segura y rentable. Se conocen tres tipos de fertilidad, las cuales guardan una estrecha interrelación entre ellas: fertilidad física, química y biológica, las cuales están estrechamente relacionadas con cada una de las propiedades anteriormente mencionadas.

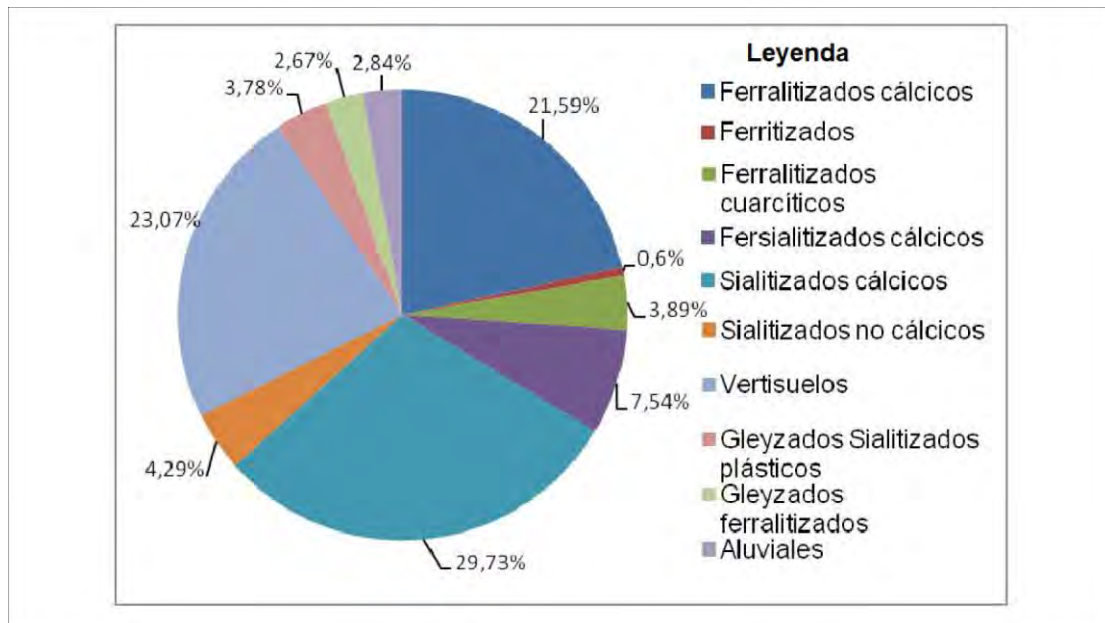
### **3.1.6 Los suelos para la caña de azúcar**

La caña de azúcar se cultiva en una variedad considerable de suelos, siempre que los factores edáficos que afectan los rendimientos no estén presentes en alto número. Los suelos profundos, bien drenados, fértiles, sueltos, no compactados, libres de piedras, con buen contenido de materia orgánica, topografía llana o ligeramente ondulada, no erosionados, con un valor de pH entre 5,5 y 7,0 son excelentes para la caña de azúcar. Generalmente la cubierta de los suelos de las áreas cañeras es heterogénea y compleja, ya que para abastecer de caña un central azucarero se necesitan entre 10 000 y 20 000 o más ha de terreno, en dependencia de su capacidad de molienda, por ello conjuntamente con grandes macizos de gran fertilidad, se encuentran territorios ocupados por suelos de poca profundidad e incluso no es raro encontrar, en áreas de extensión limitada, complejos asociados de suelos diferentes genética y agronómicamente.

El cultivo de la caña de azúcar en Cuba ocupa, actualmente, más del 35% del territorio agrícola nacional y sigue siendo una de las principales fuentes de ingreso de la economía (Cuellar *et al.*, 2002); abarca variados agrupamientos de suelo (Figura 3.3), condiciones de relieve y regiones climáticas, por lo que es afectado por diversos factores, tanto naturales como inducidos por el hombre.

### **3.1.7 Evaluación de la aptitud física de las tierras para el cultivo de la caña de azúcar**

La Evaluación de Tierras es el proceso de determinación y predicción del comportamiento de una porción de tierra usada para fines específicos, considerando aspectos físicos, económicos y sociales. Esta evaluación considera los aspectos económicos del uso propuesto, sus consecuencias sociales para los habitantes del área y del país en general y las repercusiones, benéficas o adversas para el medio ambiente.



**Figura 3.3. Porcentaje de distribución de los agrupamientos de suelos en el área cañera de Cuba.**

Es una de las herramientas necesarias para una planificación racional de los recursos naturales y humanos, de manera tal que cada área provea el máximo beneficio para la sociedad, sin una degradación de los recursos, o sea, hacer sustentable la gestión del recurso tierra. Esta planificación tiene dos aspectos: el político y el racional. La parte política determina los objetivos y arbitra en los conflictos de intereses, mientras el aspecto racional asegura que los planes sean factibles y que una adecuada cantidad de datos hayan sido considerados para respaldar las estimaciones.

En el año 2001 el INICA realizó la primera aproximación del proceso de Evaluación de Tierras, en toda el área geográfica atendida por el MINAZ en el país. Este trabajo por la escala en que se realizó (1:25 000) y la superficie evaluada (2 128 029,9 ha) no tiene precedentes en Cuba. Del mismo se establecieron estrategias y sirvió de información para el proceso de reordenamiento del sector agroazucarero, la Figura 3.4 muestra los resultados obtenidos en dicha evaluación (INICA, 2001).

### 3.2 DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS

La degradación de los suelos por el uso agrícola es un problema global que amenaza el futuro de la humanidad, por lo que el hombre en función de preservar su supervivencia debe tener en cuenta esta situación debido al peligro que representa para las futuras generaciones esta problemática. La degradación de los suelos implica un declive en su productividad biológica con frecuencia importante y escasamente reversible.

Las formas más frecuentes y que más daños causan son: la disminución de la profundidad efectiva por los efectos del laboreo y la erosión, la salinización por el uso de agua de mala calidad para regar o por no realizar obras de drenaje en lugares bajos con manto freático salino y próximo a la superficie, la acidificación producida por el lavado de las sales y la utilización de forma continua y permanente de fertilizantes mineras de efecto residual ácido y la compactación por el uso de equipos pesados y con exceso de humedad.

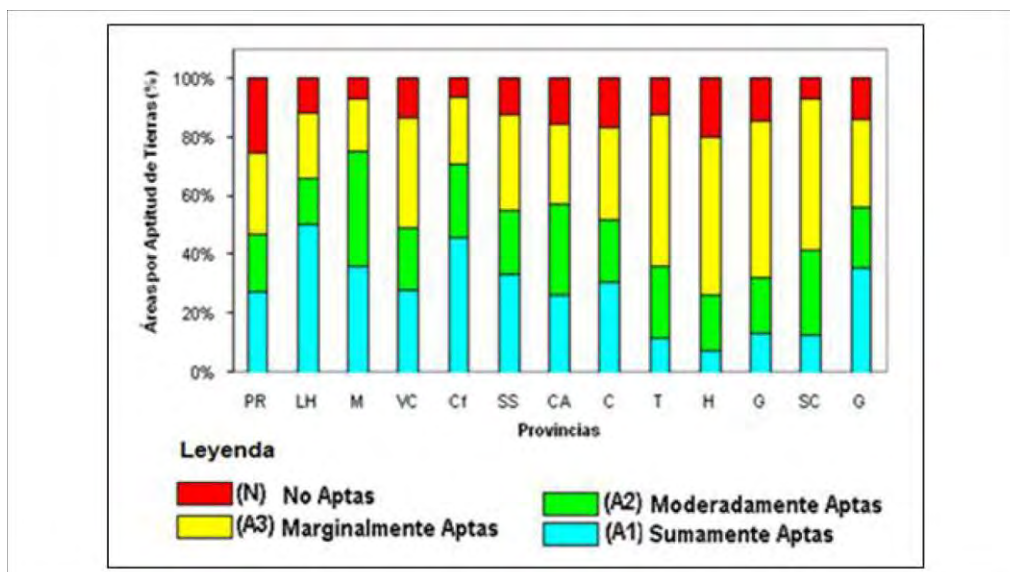


Figura 3.4. Porcentaje de áreas distribuidas en las diferentes categorías de aptitud física de las tierras pertenecientes al extinto Ministerio del Azúcar (MINAZ) por provincia.

La superficie agrícola de Cuba es de 6,6 millones de hectáreas, tres cuartas partes (70%) está afectada por diferentes procesos de degradación (Figura 3.5) que limitan el potencial de rendimiento de los cultivos.

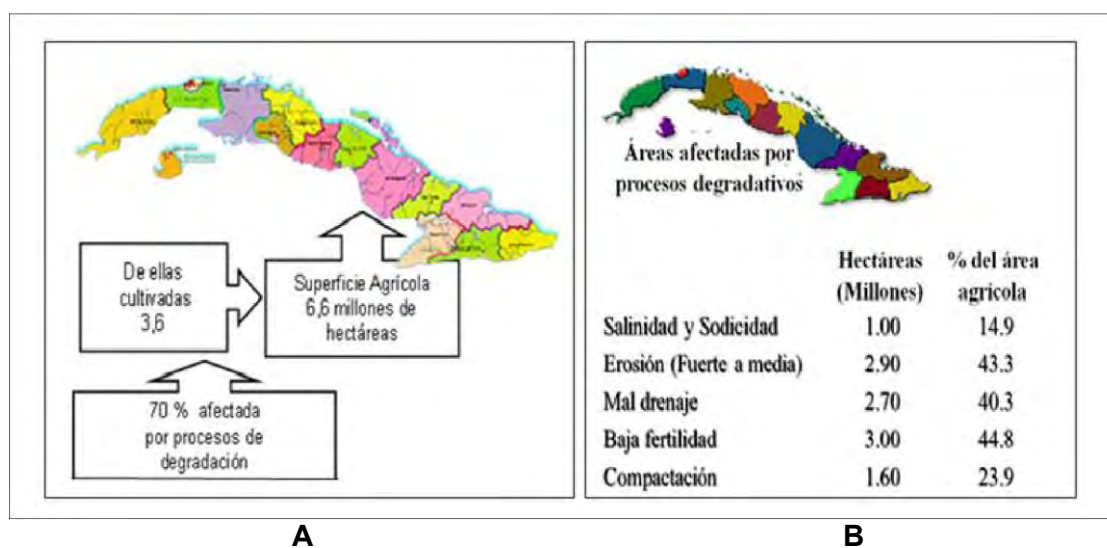


Figura 3.5. A. Superficie agrícola total de Cuba, área cultivada y porcentaje de afectación por los procesos de degradación. B. Principales procesos que influyen en la degradación de los suelos en Cuba, áreas afectadas y porcentaje que representa.

A esta situación crítica, se añade que los pronósticos indican una tendencia al aumento de los niveles de degradación y su intensidad en los próximos años (Tabla 3.1), si no se toman las medidas que frenen esos procesos negativos, a la vez que se crean condiciones para la rehabilitación paulatina de las áreas afectadas (Instituto de Suelo, 2001).

**Tabla 3.1. Porcentaje de áreas afectadas por procesos degradativos en el año 2001 y pronóstico hasta el 2016.**

Proceso degradante	Área afectada (%)	
	2001	Pronóstico 2016
Salinidad y sodicidad	14,9	22,4
Erosión de fuerte a media	43,3	52,3
Mal drenaje	40,3	43,3
Mal drenaje interno	26,9	-
Baja fertilidad	44,8	52,3
Compactación elevada	23,9	28,4
Acidez (pH KCl < 6)	24,8	43,3
Baja retención de humedad	37,3	41,9
Pedregosidad y rocosidad	11,9	13,5
Muy bajo contenido de materia orgánica	69,6	77,7

**Fuente: Instituto de Suelo (2001).**

La degradación de las tierras tiene su raíz en factores económicos, sociales y culturales que se traducen en la sobreexplotación de los recursos y en las prácticas inadecuadas de manejo de los suelos y aguas, que conllevan a la pérdida de la fertilidad del suelo y consecuentemente de su productividad, causando una reducción en los rendimientos de la producción agropecuaria, afectando la calidad de vida de las generaciones actuales y futuras, la información sobre diversas opciones del uso de las tierras es de vital importancia para planificar un desarrollo sostenible y lograr la conservación de los recursos naturales.

Estudios realizados en algunos suelos cañeros de Cuba, tan diferentes como los Ferralíticos y los Vertisuelos, corroboran las aseveraciones anteriores. En el Tabla 3.2 se observa como ambos suelos se acidificaron, a la vez que disminuyeron sensiblemente su contenido de materia orgánica, con el consecuente deterioro de la fertilidad en poco más de seis décadas.

**Tabla 3.2. Cambios ocurridos en el pH y la materia orgánica de los suelos Ferralíticos y Vertisuelos, bajo cultivo continuado de caña de azúcar en el periodo 1928-1994 (66 años).**

Variable	Suelo	1928	1970	1994
Reacción del suelo (pH)	Ferralíticos	6,6	5,7	5,2
	Vertisuelos	6,9	-	6,3
Materia orgánica (%)	Ferralíticos	3,9	3,0	2,6
	Vertisuelos	4,7	-	2,6

### **3.3 EVALUACIÓN DE FACTORES EDÁFICOS LIMITANTES DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN LA UBPC TUINUCÚ**

El conocimiento de los diferentes factores edáficos que inciden sobre el desarrollo del cultivo y su interacción con el clima constituyen la base para un uso y manejo adecuado del suelo. Se agrupan en factores que resultan características edáficas naturales y factores que resultan de procesos de degradación del suelo por influencia antropogénica.

La UBPC Tuinucú de la UEB Melanio Hernández, presenta un área agrícola con condiciones favorables para que se produzca una fuerte degradación de los suelos por

erosión, debido a la pendiente ondulada, la mala orientación de los surcos, el sistema intensivo de explotación que se utiliza, la poca profundidad efectiva y compactación, lo cual favorece la susceptibilidad a la pérdida de suelo (Rodríguez *et al.*, 2010).

### 3.3.1 Categorización de los factores edáficos limitantes en la UBPC Tuinucú

**Profundidad efectiva:** Es la profundidad donde las raíces pueden llegar sin encontrar barreras físicas o químicas. En las condiciones de Cuba, cuando la profundidad efectiva del suelo es menor de 20 cm, hay una brusca disminución de los rendimientos y cuando el espesor del suelo se reduce a 10 cm, la producción baja hasta un 70% (Cuéllar *et al.*, 2003) (Tabla 3.3).

**Tabla 3.3. Categorías de profundidad efectiva y su relación con el porcentaje de pérdida de rendimiento agrícola en la caña de azúcar.**

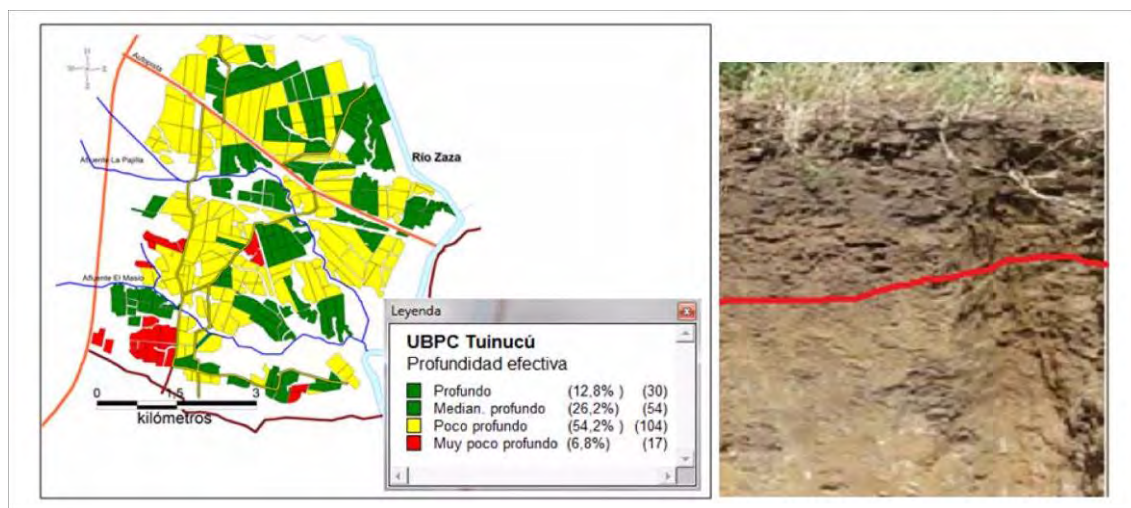
Categoría	Profundidad efectiva (cm)	Pérdida de rendimiento (%)
Muy profundo	>100	0-5
Profundo	60-100	5-15
Moderadamente profundo	40-60	15-30
Poco profundo	20-40	30-50
Muy poco profundo	<20	>50

Fuente: Cuéllar *et al.* (2003).

Si la profundidad efectiva disminuye se requiere aplicar Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) para incrementar el rendimiento agrícola (Pineda *et al.*, 2002).

Los resultados obtenidos en la evaluación de este factor limitante por Unidad Mínima de Manejo Agrícola (UMMA) en la UBPC Tuinucú muestran que en la categoría de profundo se encuentran 252,51 ha (12,8%) y dentro de medianamente profundo se encuentran 521,62 ha (26,2%). En las categorías de poco profundo y muy poco profundo se encuentran 1 017,22 ha (54,2%) y 134,26 ha (6,8%) respectivamente, que representan el 61,0% del área de la unidad perturbada por este factor (Figura 3.6A), donde se afecta el normal desarrollo del sistema radical del cultivo, cuestión que se corrobora con lo planteado por Pineda *et al.* (2002) quien reportó que a medida que disminuye la profundidad efectiva la afectación en el rendimiento agrícola es mayor debido a que las raíces disponen de menor volumen de suelo a explorar en busca de nutrientes. En un perfil realizado, en suelo Pardo Sialítico, que representa el 69,7% del área agrícola de la UBPC Tuinucú, se puede apreciar la poca profundidad efectiva que caracteriza a los suelos en la zona de estudio (Figura 3.6B).

**Pendiente del terreno:** La importancia de la pendiente en los procesos de remoción en masa de los suelos, destacan claramente, la influencia de su inclinación o grado de declive y su longitud. Tomando los demás factores como iguales, es evidente que el agua fluye más rápidamente a medida que aumenta la pendiente y por lo tanto el tiempo de infiltración es menor (Febles y Durán, 2006).



**Figura 3.6. A. Distribución geo-espacial por UMMA de las diferentes categorías de profundidad efectiva del suelo en la UBPC Tuinucú. B. Perfil que muestra la profundidad efectiva (23 cm) del suelo Pardo Sialítico predominante en la unidad evaluada.**

Febles y Durán (2006) al estudiar el efecto simultáneo de la longitud y el grado de la pendiente en parcelas de 42 m de ancho y con una aplicación artificial de lluvia de 78,75 mm/hora durante 45 minutos, en un suelo franco, obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 3.4.

**Tabla 3.4. Pérdida de suelo por escorrentía (kg) en parcelas con pendiente de 4, 8 y 12% y una longitud de 8 y 16 m.**

Longitud de las parcelas (m)	Pendiente de las parcelas (%)	kg de suelo perdidos en la escorrentía (promedio de 6 ensayos)
8	4	5,83
8	4	5,32
8	8	12,50
8	8	13,12
8	12	25,13
8	12	21,73
16	8	41,35
16	8	37,44

**Fuente: Febles y Durán (2006).**

La pendiente del terreno está muy relacionada con la erosión. Los suelos planos o casi planos son menos afectados por los efectos de las corrientes de agua que los ondulados y fuertemente ondulados. Cuando es más pronunciada, el terreno queda más expuesto a la erosión, lo que conlleva a pérdidas progresivas de su fertilidad y capacidad productiva (Cuéllar *et al.*, 2003).

Al caracterizar este factor en la UBPC Tuinucú se evidencia que en la categoría de plano o casi plano (0-2%) se encuentran 567,97 ha (29,5%), en la categoría ondulado (2-8%) aparecen 1 214,06 ha (63,0%), como fuertemente ondulado (8-16%) se encuentran 130,79 ha (6,8%) y dentro de la categoría colinoso (16-32%) 12,79 ha (0,7%), por lo que el 70,5% de las áreas dedicadas a caña de azúcar en la unidad productora presentan condiciones de pendiente favorables para la ocurrencia de escorrentías en el periodo de máximas precipitaciones (Figura 3.7A). En la Figura 3.7B