

Figura 8.22. Efecto de la fertilización potásica sobre el contenido de potasio, cloruros, cenizas y acidez en el jugo. (Experimento VKn-55, niveles de K, suelo Ferralítico Amarillento, deficiente en K asimilable, 2do retoño).

Cuando a los mismos jugos en los que se determinó pol, se aplicó el concepto, de pol cristalizabile, se observó en esta última variable, un efecto depresivo a causa de la fertilización potásica (Figura 8.23).

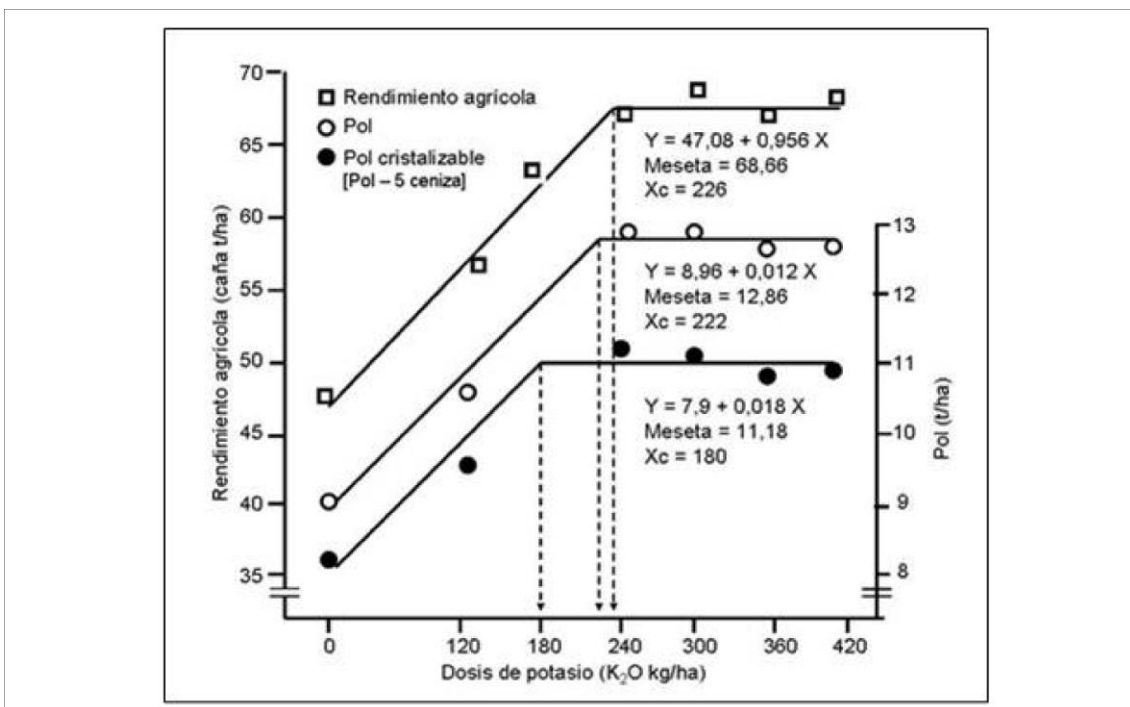


Figura 8.23. Efecto de la aplicación de diferentes niveles de fertilización potásica sobre el rendimiento agrícola, las t de pol ha⁻¹ y el pol cristalizabile, en un segundo retoño de caña de azúcar, plantado en un suelo Ferralítico Amarillento, deficiente en K asimilable.

La dosis de potasio, estimada a partir de la pol cristalizable, pueda conducir a resultados más prácticos (Figura 8.24).

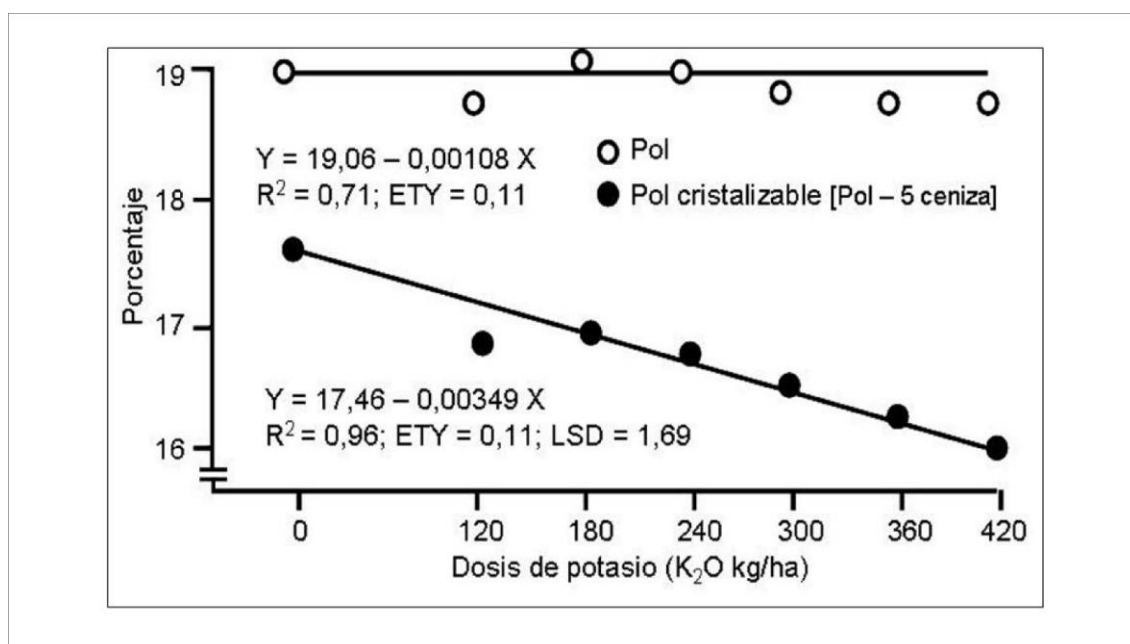


Figura 8.24. Efecto del contenido de ceniza en el jugo de caña, sobre el porcentaje de pol total y cristalizable, en dependencia de la aplicación de diferentes niveles de fertilización potásica, en un segundo retoño plantado en suelo Ferralítico Amarillento deficiente en K asimilable.

Es de destacar que los niveles de K en el jugo de cañas cultivadas sobre suelos deficientes en K asimilable, con aplicaciones de este elemento de hasta 420 kg de K₂O ha⁻¹, fueron inferiores a los niveles de K en el jugo de cañas cultivadas, sobre suelos bien abastecidos de este nutriente, incluso cuando no recibieron fertilizantes potásicos. El análisis de un tercer retoño, en el que la plantación tuvo un desarrollo menor, manifestó respuesta del rendimiento agrícola ante la fertilización potásica, con resultados similares a los del segundo retoño, pero con contenidos mayores de cenizas, cloruros, potasio y acidez en el jugo, lo que está dado por el efecto de la cepa. Sin embargo, en esta cepa (tercer retoño), en contraposición a los principios que actualmente rigen la fertilización potásica, se observó un efecto negativo de la misma sobre la riqueza del jugo (Tabla 8.14) lo que unido a lo antes citado, así como a la disminución de la pureza de los jugos, conduce a reconsiderar aspectos de los criterios actuales sobre las recomendaciones de la fertilización potásica. La acumulación de sales en el jugo provoca disminución de la pureza e incrementa las cenizas totales en el jugo.

Tabla 8.14. Resultados de brix, pol en jugo y pureza de un tercer retoño de caña de azúcar, donde se aplicaron diferentes niveles de K (desde cero y hasta 420 de kg de K₂O ha⁻¹), plantado en suelo Ferralítico Amarillento deficiente en K asimilable.

Tratamiento (K ₂ O kg ha ⁻¹)	Brix		Pol jugo		Pureza	
	%					
0	23,60	a	20,90	a	88,57	a
120	22,21	bc	18,89	b	85,00	b
180	21,84	bc	18,57	b	84,99	b

240	22,09	bc	18,66	b	84,42	b
300	22,48	b	18,98	b	84,22	b
360	21,91	bc	18,50	bc	84,36	b
420	21,65	c	17,88	c	82,46	c
F calculada	5,16	**	5,12	**	3,47	**

8.3.3.8 Recomendaciones de potasio para la caña de azúcar vigentes en Cuba.

Las recomendaciones de K para la caña de azúcar en Cuba se realizan desde el año 1997 a través del Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y enmiendas (SERFE), el cual se basa, en los criterios siguientes: formas asimilables del elemento en el suelo (extraídas con SO_4H_2 0,1N), tipo de suelo según el agrupamiento agroproductivo (separados en Grupo 1 y Grupo 2) y rendimiento esperado (Tabla 8.15).

Tabla 8.15. Recomendaciones de K en función del contenido de K asimilable del suelo, el rendimiento esperado y grupos de suelos cañeros cubanos.

Rendimiento esperado	Grupo de suelos 1					Grupo de suelos 2				
	Categorías de potasio asimilable (Extracción con H_2SO_4 0.1 N) I)									
	Med. bajo	Bajo	Medio	Alto	Med. alto	Med. bajo	Bajo	Medio	Alto	Med. alto
	K meq/100 g									
	< 0.17	≥ 0.17 < 0.23	≥ 0.23 < 0.33	≥ 0.33 < 0.55	≥ 0.55	< 0.13	≥ 0.13 < 0.19	≥ 0.19 < 0.29	≥ 0.29 < 0.68	≥ 0.68
	K ₂ O mg/100 g									
< 7.9	≥ 7.9 < 10.9	≥ 10.9 < 15.5	≥ 15.5 < 25.7	≥ 25.7	< 6.2	≥ 6.2 < 8.8	≥ 8.8 < 13.8	≥ 13.8 < 32.0	≥ 32.0	
Caña t ha ⁻¹	Dosis (K ₂ O kg ha ⁻¹)									
< 30	65	60	55	45	0	125	75	40	0	
> 30 - ≤ 40	75	70	65	50		145	90			
> 40 - ≤ 50	80	75	70	55		160	110			50
> 50 - ≤ 60	90	85	75	60		175	125			65
> 60 - ≤ 70	95	90	80	65		190	140			80
> 70 - ≤ 80	105	95	85	70		205	150			90
> 80 - ≤ 90	110	105	90	75		220	165			105
> 90 - ≤ 100	115	110	95			235	180			115
> 100 - ≤ 110	125	115	100	80		245	190			125
> 110 - ≤ 120	130	120	105	85		260	200			135
> 120 - ≤ 130	135	125	110			270	210	145		50
> 130 - ≤ 140	140	130	115	90		280	220	155		55
> 140 - ≤ 150	145	135	120			290	230	160		60
> 150 - ≤ 160	150	140		95		300	240	170		65
> 160 - ≤ 170	155		305			245	175	70		
> 170 - ≤ 180	160	145	125	315		250	180	75		
> 180 - ≤ 190	165	150		130		320	260	185		80
> 190 - ≤ 200	170		325			265	190	85		
> 200 - ≤ 210		155	135	100		330	270			195

Grupo de suelos 1: Ferralitizados Cálcidos, Ferralitizados Cuarcíticos y Gleyzados Ferritizados. Grupo de suelos 2: Sialitizados Cálcidos, Sialitizados no Cálcidos, Vertisuelos, Fersialitizados Cálcidos, Gleyzados Sialitizados Plásticos y Aluviales.

Nivel crítico para el grupo de suelos 1=0,24 meq de K/100 g (11,77 mg de K ₂ O/100 g)
Nivel crítico para el grupo de suelos 2=0,26 meq de K/100 g (12,47 mg de K ₂ O/100 g)
Grupo de suelos 1: Ferralitizados cálcidos, Ferralitizados Cuarcíticos y Gleyzados ferralitizados.
Grupo de suelos 2: Sialitizados cálcidos, Sialitizados no cálcidos, Vertisuelos, Fersialitizados cálcidos, Gleyzados Sialitizados plásticos y Aluviales.

8.3.3.9 Síntomas visuales de deficiencia de potasio

Cuando el K se torna deficiente los bordes y ápices de las hojas presentan clorosis amarilla-anaranjada, lesiones cloróticas entre las nervaduras de las láminas foliares, las hojas más viejas toman coloración marrón y apariencia de quemaduras y los tallos son más finos. Las hojas más jóvenes generalmente permanecen con el color verde oscuro, pero pueden presentar manchas rojas por el haz de la nervadura central. El estrés prolongado por deficiencia de potasio afecta el desarrollo del meristemo apical y origina la distorsión del verticilo central.

La Figura 8.25 muestra de izquierda a derecha: (A) en las hojas viejas afectadas por deficiencia de potasio los efectos son localizados con moteado y clorosis; (B) de coloración roja de la parte superior de la nervadura central (esta característica de la deficiencia de potasio puede confundirse con daños causados por insectos en la nervadura central); (C) cuando la deficiencia es moderada las hojas jóvenes permanecen verde oscuras y los tallos delgados y (D) la deficiencia prolongada puede afectar el desarrollo del meristemo apical, lo que distorsiona a las hojas apicales y la planta adquiere una apariencia de abanico (Anderson y Bowen, 1994).

8.4 EL pH Y LA DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES

No es posible terminar este capítulo sin hacer referencia al pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes para los cultivos, ya que el mismo tiene marcada influencia en el grado de solubilidad e insolubilidad tanto de los nutrientes que contiene el suelo como los que se aplican con los fertilizantes minerales. Normalmente el rango de pH de los suelos varía entre 3,5 y 9,0; la razón por la que no se alcanzan valores extremos de 0 o 14, se debe a que la solución del suelo no es una solución verdadera, sino que constituye una solución coloidal.

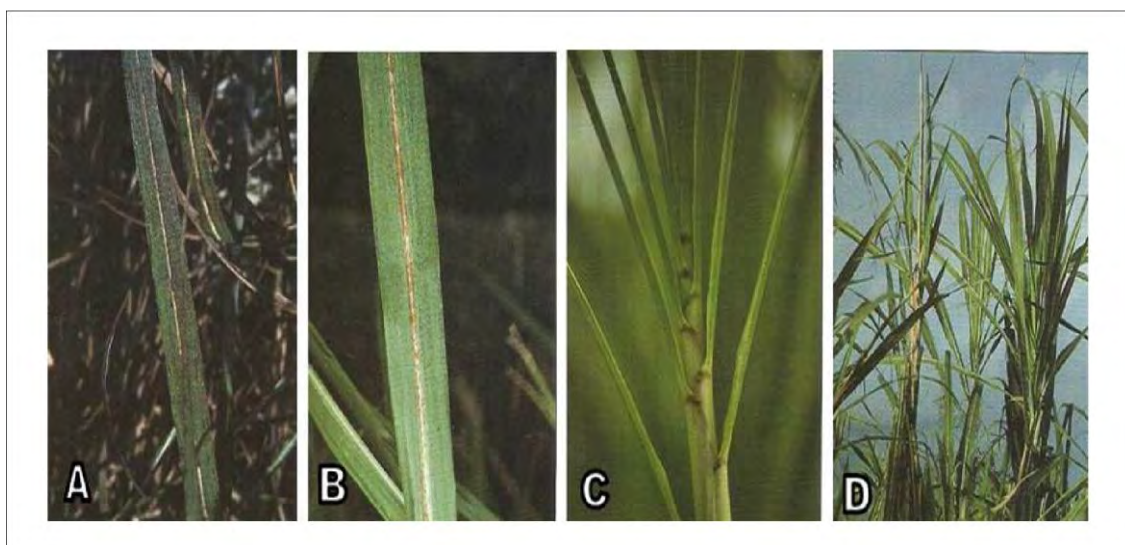


Figura 8.25. Síntomas de deficiencia de potasio presentes en hojas y tallos de caña de azúcar.

En la Figura 8.26 se expone de forma resumida el rango de pH óptimo para la solubilidad de los diferentes macro y microelementos esenciales para el normal crecimiento y desarrollo de las plantas (García, 2005).

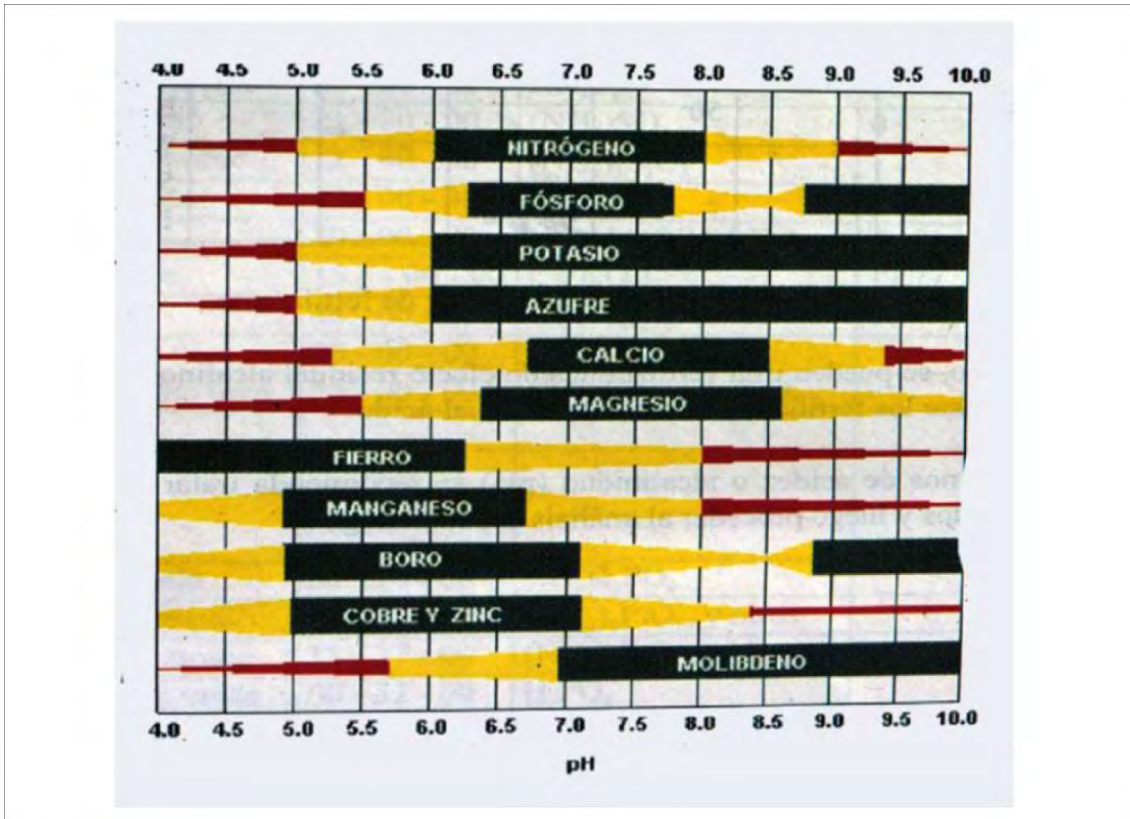


Figura 8.26. Rangos de pH para la solubilidad de los elementos nutritivos.

8.5 MICROELEMENTOS

Si falta mucho por investigar y conocer de los macro-elementos primarios (NPK) y secundarios (Ca, Mg, y S), de los microelementos o elementos menores prácticamente no se ha realizado nada o casi nada en nuestro país.

Recientemente Muñiz (2008) en su libro «Microelementos en la Agricultura», brinda de forma actualizada y abarcadora, los principales aspectos relacionados con los microelementos y su incidencia en la nutrición de los cultivos tropicales. Se consideran microelementos esenciales para las plantas: el hierro, el manganeso, el zinc, el cobre, el boro, el molibdeno y el cloro. Se espera que otros sean agregados a esta lista en el futuro. Según Mortvedt (2001) y Fageria *et al.* (2002), citados por Muñiz (2008) la deficiencia de microelementos se ha generalizado en los últimos tiempos por todo el mundo debido a:

- Empleo de variedades altamente productivas y exigentes para la nutrición.
- Incremento de la explotación de áreas con suelos marginales, con bajos niveles de microelementos.
- Mayor uso de fertilizantes minerales concentrados más puros, que contienen menor cantidad de microelementos como impurezas.
- Menor empleo de abonos orgánicos.
- Uso de suelos con baja reserva nativa de microelementos.
- Desarrollo de factores naturales y antropogénicos, que limitan la adecuada bio-disponibilidad de los microelementos para las plantas y originan desequilibrios entre los nutrientes del suelo.

En este capítulo se aborda de forma sintetizada el papel protagónico de los 3 elementos primarios (NPK) sobre los rendimientos, agrícolas, industriales y la calidad

de la materia prima, como vía para lograr producciones altas y rentables, pero en armonía con el medio ambiente.

Mucho se ha investigado y escrito en el mundo y en particular en Cuba, sobre la nutrición de la caña de azúcar y los factores principales, que intervienen en los procesos de asimilación de nutrientes, acumulación y respuesta del cultivo a las aplicaciones de fertilizantes minerales (NPK). No obstante aún quedan aspectos no evaluados con profundidad como la respuesta de diferentes variedades a los fertilizantes, el efecto residual de aplicaciones altas y tardías de N y su interrelación con las diferentes técnicas de riego por citar solo algunas.

Con relación a los macro-elementos secundarios y los microelementos existe, para las futuras generaciones de profesionales, investigadores, productores, estudiantes y directivos que se dediquen al cultivo de la caña de azúcar, en el país, un campo prácticamente virgen, sin explorar. Con la edición de este material queremos llamar la atención de la necesidad de abrir nuevas investigaciones sobre estos importantes aspectos relacionados con la nutrición y la fertilización de la caña de azúcar en las condiciones edafoclimáticas de Cuba.

El uso de técnicas más precisas como la agricultura de precisión, el empleo de máquinas modernas para la aplicación de fertilizantes y el uso de técnicas con isótopos radiactivos pueden ayudar a hacer un mejor uso de los fertilizantes, a esclarecer algunos aspectos que todavía se conoce poco o muy poco sobre ellos e ir hacia una agricultura cañera basada en los principios del manejo sostenible de tierras.

CAPÍTULO 9

ABONOS ORGÁNICOS Y VERDES. ROTACIÓN DE CULTIVOS Y ENCALADO

Nelson Cristóbal Arzola Pina

Hipólito Israel Pérez Iglesias

Irán Rodríguez Delgado

Además de los fertilizantes químicos de fabricación industrial comúnmente usados, especialmente, en la agricultura intensiva, existen numerosas fuentes alternativas de abonos tales como: residuos de industrias agrícolas, residuos de animales, compost vegetal, aguas cloacales, abonos verdes y otros. Estas fuentes de nutrientes vienen teniendo importancia especial en los últimos años, debido al alto costo ascendente de los fertilizantes químicos que limita su acceso a los pequeños agricultores y campesinos y como apoyo de la agricultura sostenible, buscando racionalizar el uso de los insumos agrícolas en equilibrio con el medio ambiente.

Cuba al igual que muchos países de la región no produce fertilizantes químicos siendo necesario importarlos con la correspondiente fuga de divisas, actualmente se invierten algo más de 70 millones de dólares en la compra de fertilizantes químicos, solamente para la fertilización de la caña de azúcar, por tanto resulta extremadamente importante aprovechar los residuos orgánicos de la agroindustria azucarera, desarrollar el uso de abonos verdes y la rotación de cultivos, para mantener los niveles de materia orgánica del suelo, mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de éstos, contribuir al secuestro de carbono y proteger el medio ambiente.

9.1 APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN LA AGRICULTURA CAÑERA

En Cuba la industria ha venido produciendo años tras años residuales del proceso de destilación de la miel para la producción de alcohol, de la producción de levadura torula y de la producción de azúcar, los que tradicionalmente se acumulan en las lagunas destinadas para ellos y aunque se fertirriegan en los campos de caña, generalmente la capacidad para el riego no es suficiente para asimilar los volúmenes generados durante el proceso productivo. Los volúmenes que no son utilizados, van a parar a las fuentes de agua subterráneas, lagunas, bahías y a los diferentes sistemas de drenaje natural de las áreas aledañas a las fábricas, contaminando las fuentes que garantizan el suministro de agua a la población o que son útiles para la pesca, turismo o recreación. Estos residuos líquidos, no son los únicos; existen además sólidos como la cachaza y la ceniza.

9.1.1 Residuos de la producción de azúcar

El reciclaje de los residuos del procesamiento agroindustrial de la caña de azúcar, ha mostrado generalmente efectos positivos sobre la producción de caña.

9.1.2 Residuos de la elaboración de alcohol y levadura torula

En la actualidad las materias primas empleadas para la síntesis biológica de etanol a partir de la caña de azúcar son: las mieles y el jugo de la caña (guarapo). En la agroindustria de la caña de azúcar las vinazas constituyen el principal residuo líquido de la fermentación de la fabricación de alcohol. Las vinazas de destilería son los residuales de mayor agresividad y carga orgánica que genera la agroindustria de la caña de azúcar en su conjunto, son muy agresivos por su elevada carga orgánica que

varía entre 60 000 a 150 000 mg DQO/l, casi mil veces mayor que la permitida por las normas ambientales vigentes.

9.1.2.1 Vinaza

Por cada litro de alcohol producido, se obtienen 13 litros de vinaza, por tanto, una destilería que produzca 1 000 hectolitros de alcohol por día, originará 13 000 hectolitros de vinaza, con una carga contaminante equivalente a la de 1,7 millones de habitantes. Aunque no contienen virus o bacteria patógenas, su gran efecto se debe a la materia orgánica que ocasiona una alta Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).

Su composición química es variable en dependencia de factores, como: el origen de los materiales y el tipo y operación del proceso de destilación. El K inorgánico es el componente más abundante. La mayoría del N se encuentra en forma coloidal y es lentamente mineralizado. Tanto el K como el Ca y el Mg se encuentran en forma soluble. Las vinazas también contienen P así como otros elementos, como Mn, Ca y Zn. El contenido de MO es elevado fluctuando entre 19 y 45%.

Incrementos de hasta 30% en t de caña ha⁻¹, con dosis de 150 m³ ha⁻¹, tanto en suelos arenosos como arcillosos, se han obtenido en Copersucar, Brasil. La causa de esta respuesta se debe a aumentos de la MOS y de los nutrientes, así como a la conservación de la humedad del suelo. La necesidad de complementar la vinaza de destilería (VD) con determinado nutrimento, dependerá del tipo y dosis de vinaza y de los contenidos de nutrientes presentes en el suelo. Aplicaciones de 90 a 100 kg de N ha⁻¹ como complemento son frecuentes.

Los residuos de la destilería son particularmente ricos en K, por ello, podrían emplearse conjuntamente con la cachaza, en los suelos insuficientes en ese nutriente para lograr un abonado más balanceado, mientras que desde otro punto de vista, el efecto tan pronunciado que posee sobre el contenido de K cambiabile del suelo, sugiere que su análisis podría servir para diagnosticar la necesidad de priorizar su empleo, en áreas pobres en ese elemento o de rotar aquellas que han alcanzado un contenido muy elevado del mismo.

Las dosis de vinaza que se aplican con camiones cisternas a las áreas cañeras de Brasil, varían entre 50 y 200 m³ ha⁻¹ dependiendo esto de la concentración de K. Uno de los factores que se considera en Brasil importante para definir la dosis de vinaza a emplear es la materia prima utilizada en la fabricación del alcohol, ya que con ella varía el aporte de nutrimentos y en particular el potasio de la vinaza (miel o guarapo).

El K no se requiere como complemento de la vinaza y debe servir como indicador sobre la posibilidad de continuar aplicando la misma en las áreas cañeras, lo que se explica por las elevadas cifras que de este nutrimento se suministran al suelo.

Un exceso de K, puede originar insuficiencia de Ca y Mg en el cultivo, así como mayor cantidad de sales y almidón en el jugo de la caña, lo que afecta la calidad de ésta como materia prima para la industria, por lo cual, deben regularse las dosis de VD atendiendo a ese indicador.

La aplicación de vinaza origina en primer lugar un aumento del contenido de potasio cambiabile del suelo, por ello esta determinación podría servir para diagnosticar su empleo, no solo por la importancia del potasio cambiabile, sino porque ningún efecto negativo secundario (acidez, salinidad) podría presentarse, hasta tanto el nivel de potasio cambiabile del suelo alcance determinado valor.

9.1.2.2 Levadura torula

La vinaza se utiliza con buenos resultados para sustituir la miel en la elaboración de la levadura torula, que es un microorganismo unicelular que en presencia de oxígeno puede reproducirse muy rápidamente consumiendo azúcares reductores, contenidos en la miel final o en la vinaza. Para este consumo se hacen aportes de N y de P asimilable mediante fosfato de amonio, sulfato de amonio y urea. El producto final es

un sólido pulverulento de color beige claro, con un contenido de proteína bruta base seca de 47,8% mínimo.

Los resultados obtenidos por Arzola (2000) con el empleo del residuo de torula en el cultivo de la caña de azúcar muestran que incrementa el nivel de materia orgánica, los agregados estables, el contenido de N, P y en especial de K cambiante del suelo, mientras que el pH disminuye.

En tres cosechas efectuadas a un experimento realizado en un Ferralsol, se encontraron los mayores incrementos de rendimiento con el empleo de este residuo con dosis de 1 000 a 3 000 m³ ha⁻¹ en cada cosecha, además el rendimiento fue superior que cuando se regó con agua y se aplicó fertilización mineral completa. Para un segundo ciclo de 3 cosechas de la misma plantación, durante el cual no se fertirrigó con Residual de Levadura Torula (RLT), continuó existiendo un efecto residual beneficioso. Las elevadas normas de riego con que se alcanzaron los mayores rendimientos en el estudio anterior coinciden con el insuficiente abastecimiento de K de ese suelo, pero aun así, desde el punto de vista de la aplicación sistemática de este residuo en una misma área no sería aconsejable sobrepasar la dosis de 500 m³ ha⁻¹ por cosecha, y sería preferible diagnosticar su empleo en dependencia del contenido de K cambiante del suelo.

9.1.2.3 Enfriamiento de los residuos

El residuo de elaboración de levadura torula sale de la fábrica a temperatura ambiente, no necesita enfriarse y puede fertirrigarse sin proceso alguno. La vinaza sale a elevada temperatura, para enfriarla, es conveniente utilizar el sistema empleado en Brasil, el cual representa un ahorro de energía y una condición necesaria para garantizar que este residuo que será fertirrigado no dañe las plantaciones por su elevada temperatura.

En Brasil, el residuo se traslada en camiones, con cisternas de 30 m³ cada una, desde el embalse hasta los campos de caña donde es aplicado (Figura 9.1).



Figura 9.1. Camión con dos cisternas, utilizado en Brasil para aplicar los residuos de las destilerías de alcohol en los campos de caña de azúcar, cargando la vinaza en el punto de abastecimiento del embalse. Actualmente Cuba está adquiriendo equipos de este tipo para usarlos en el riego de residuales.

Cada camión mueve dos cisternas y un enrollador (equipo para regar el residual por aspersión). A partir de las lagunas se suministran vinazas por gravedad al punto de

abastecimiento de los camiones (Figura 9.2). El tiempo para cargar las cisternas es de 6 a 8 minutos.



Figura 9.2. Mecanismo de llenado y traslado de las cisternas con vinaza hasta los campos de caña de azúcar que serán fertirrigados con el residual.

Cuando la distancia es grande y ocasiona gran número de viajes, se trabaja 24 horas y se realizan de 30 a 32 viajes, para un rendimiento por aspersor de 20/ha/día. Cuando no es limitante la distancia de abastecimiento y no existen interrupciones, se puede llegar a unas 30 ha por jornada. La dosis de aplicación oscila entre 80 y 100 m³ ha⁻¹ (Figura 9.3).



Figura 9.3. Instalación del equipo de riego (enrollador) en la cisterna y fertirriego de la vinaza en un campo de caña de azúcar recién cosechado, mediante un aspersor de los utilizados en Brasil, los cuales presentan características específicas de fabricación para evitar que el residual los dañe.

Para determinar la dosis de vinaza o residuo de levadura torula que se debe aplicar para una cosecha, se debe tener en cuenta el contenido de K del residuo y de K cambiante del suelo, la exportación por la cosecha en kg de K₂O t de tallo molido (C) y el rendimiento en t de caña ha⁻¹ (TCH), como aparece en la Tabla 9.1.

Tabla 9.1. Categorías de K intercambiable de los suelos y dosis de potasio a emplear con el fertirriego de residuales de destilerías de alcohol y fábricas de torula.

Categoría	Descripción	K Intercambiable* ($\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$)	Dosis de K_2O ha^{-1}	Valores de C
I	Alto	> 0,45	(TCH)(C1)	C1 = 1,00
II	Medio	>0,30 – 0,45	(TCH)(C2)	C2 = 2,15
III	Bajo	0,15 – 0,30	(TCH)(C3)	C3 = 2,25
IV	Muy Bajo	< 0,15	(TCH)(C4)	C4 = 2,75

*Extracción con acetato de amonio 1N de pH 7, rangos de abastecimiento de K cambiabile del suelo.

La multiplicación de TCH por C será la exportación en kg de K_2O ha^{-1} , cifra que es inferior al valor de exportación medio de una cosecha de caña ($2,15 \text{ kg}$ de K_2O ha^{-1}) para la categoría de alto y superior en las categorías de bajo y muy bajo contenido de K cambiabile del suelo. Una vez que se conoce el valor de la exportación en kg de K_2O ha^{-1} , se procede a determinar la dosis de residuo a utilizar para suministrar esa cantidad de K, para ello se debe conocer el contenido de K del residuo y aplicar la fórmula siguiente:

$$m^3 . \text{ha} / \text{cosecha} = \frac{(TCH) . (C)}{\text{kg de } \text{K}_2\text{O} \times m^3 \text{ de residuo}}$$

En suelos con una CIC < $15 \text{ cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ no se aplicará ninguno de estos residuos si posee un contenido de K_2O superior a $1 \text{ cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$, entre $15\text{-}30 \text{ cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ de CIC no se aplicaran si el suelo posee un contenido de K_2O superior a $2 \text{ cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ y en suelos con una CIC > $30 \text{ cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ no se aplicaran estos residuos si el suelo posee un contenido de K_2O superior a $3 \text{ cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$.

9.1.3 Residuos sólidos

9.1.3.1 Cachaza

Composición: La cachaza está formada por un conjunto de sólidos que sedimentan durante la clarificación del guarapo y que incluyen: fibra, cera, grasa, materia terrosa, azúcares, fosfatos de calcio y compuestos nitrogenados. En su composición elemental se presenta gran variedad de nutrimentos requeridos por el cultivo, que abarca tanto macro como microelementos (Tabla 9.2).

Tabla 9.2. Contenido de materia orgánica y nutrientes de cachaza fresca proveniente de los filtros y de los camiones y de cachaza vieja almacenada expresada en % en base seca.

Componente	Tomada en los filtros	Tomada en los camiones	Almacenada (Cachaza vieja)
Materia orgánica	48,67	45,52	42,81
Sílice	11,53	11,45	17,72
N	2,35	3,30	2,18
P_2O_5 (P)	1,99 (0,87)	1,94 (0,85)	2,37 (1,03)
K_2O (K)	0,37 (0,31)	0,43 (0,36)	1,04 (0,86)
Ca (Ca)	4,94 (3,53)	4,67 (3,34)	8,08 (5,77)
MgO (Mg)	0,57 (0,83)	0,62 (0,41)	0,09 (0,06)
SO_3	0,47	0,73	0,92

Cl ⁻	0,07	0,10	0,16
Na ₂ O	0,04	0,03	0,19
Fe ₂ O ₃	0,40	0,06	0,30
Al ₂ O ₃	5,59	6,75	6,46

Como se puede apreciar en la Tabla 9.3 dentro de los macroelementos primarios predominan N y P con respecto al K.

Tabla 9.3. Contenido de los macroelementos primarios (NPK) de la cachaza procedente de diferentes centrales azucareros de Cuba y la relación N:P₂O₅:K₂O.

Procedencia (CAI)	% N	% P ₂ O ₅	% K ₂ O	Relación N:P ₂ O ₅ :K ₂ O
Guillermo Moncada	2,38	2,95	0,46	5,2:6,4:1
Unidad Proletaria	2,20	3,44	0,45	4,9:7,6:1
Julio Reyes Cairo	3,28	2,56	0,45	7,3:5,7:1
Benito Juárez	3,08	4,26	0,60	5,1:7,1:1
Guatemala	3,50	4,20	0,40	8,8:10,5:1
Promedio	2,89	3,48	0,47	6,2:7,4:1

Efectos sobre propiedades del suelo: Con la aplicación de cachaza incrementa el contenido de MO, P asimilable, N total, Ca cambiante y K acuosoluble, en tanto que disminuye la acidez del suelo (Tablas 9.4 y 9.5).

Tabla 9.4. Efecto de la de cachaza sobre algunas características del suelo Ferráltico Rojo después de transcurridos uno, dos y tres meses de su aplicación (diferencia cachaza–testigo).

Característica	Tiempo transcurrido desde la aplicación (meses)		
	1	2	6
Materia orgánica (%)	0,78 **	0,78 **	1,43 **
Valor T (cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)	-0,8	0,5	1,8
pH en KCl	-0,1	0,0	0,1
N hidrolizable (mg N/100 g)	0,6	3,4 **	7,5 **
P asimilable por Olsen (mg P/100 g)	6,49 **	6,43 **	2,05 **
K acuosoluble (mg K/100 g)	1,31 **	1,36 **	1,95 **
K cambiante (mg K/100 g)	0,06 *	0,08 *	0,11 **
Ca cambiante (mg Ca/100 g)	2,49 **	0,77	2,0 **
Mg cambiante (mg Mg/100 g)	0,70	1,62	1,59
Na cambiante (mg Na/100 g)	0,06 **	0,02	0,06 **

***Diferencia significativa con el testigo. **Diferencia altamente significativa.**

La mayor efectividad de la cachaza se presenta en aquellos casos donde los factores edáficos que se modifican con su aplicación, son precisamente los que limitan el rendimiento, por lo que debe priorizarse su uso en suelos ácidos, de malas propiedades físicas, pobres en MO y P asimilable; pero bien abastecidos de K.

Tabla 9.5. Efecto de la cachaza sobre algunas características del suelo Pardo Grisáceo después de transcurridos uno, dos y tres meses de su aplicación (diferencia cachaza–testigo).

Característica del suelo	Tiempo transcurrido desde la aplicación (meses)		
	1	2	6
Materia orgánica (%)	0,82 **	0,74 **	1,08 **
Valor T (cmol(+).kg-1)	2,2	1,8	1,3
N hidrolizable (mgN/100 g)	6,3	5,1	12,2
pH KCl	0,5 **	0,6 **	0,4 **
P asimilable por Olsen (mg P/100 g)	8,23 *	9,91 **	4,17 **
K acuoso soluble (mg K/100 g)	0,89 **	0,94 **	0,69 **
K cambiante (mg K/100 g)	-0,05	0,06 **	0,02
Ca cambiante (mg Ca/100 g)	2,38 **	5,27 **	1,61
Mg cambiante (mg Mg/100 g)	2,10	-0,44	0,38
Na cambiante (mg Na/100 g)	0,00	0,16 *	0,01

*Diferencia significativa con el testigo. **Diferencia altamente significativa.

Efectos sobre la composición foliar: La cachaza incorporada con toda la masa del suelo antes de la plantación aumenta en primer lugar los contenidos de P, en segundo, los de N, existiendo un efecto residual no inferior a 4 cosechas. El nivel de K en las hojas no se incrementó con las aplicaciones de cachaza (Tabla 9.6).

Tabla 9.6. Influencia de la aplicación de diferentes dosis de cachaza sobre el contenido de NPK de la hoja + 1 de la caña de azúcar.

t de cachaza ha ⁻¹	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	Relación N:K ₂ O
0	1,70	0,515	1,37	1,24
45	1,80	0,596	1,31	1,37
60	1,83	0,569	1,23	1,49
75	1,82	0,631*	1,35	1,35
81	1,99*	0,701*	1,09	1,83
162	1,97*	0,740*	1,22	1,61
243	1,98*	0,730*	1,12	1,77

*Significativamente superior al testigo al 5% de probabilidad.

Efectos sobre la germinación: La cachaza fresca posee 70% de humedad y su temperatura es elevada, estos factores, conjuntamente con las mejoras que su empleo ocasiona en diferentes propiedades del suelo, podría ser la explicación de la mayor y más rápida germinación de la caña, que ocurre con su empleo (Tabla 9.7). Este efecto resulta de gran importancia para la futura plantación, pues una mayor población es básica para alcanzar más producción de caña e invertir menos recursos en el control de malezas. Se ha constatado que si la cachaza se aplica directamente sobre el esqueje la germinación ocurre, aunque el suelo no posea la humedad necesaria.

Tabla 9.7. Comparación del efecto que producen diferentes dosis de cachaza aplicada sobre el esqueje de semilla e incorporada al suelo sobre la germinación de la caña plantada en el período seco y sin riego de agua contra un testigo sin cachaza y un tratamiento con fertilización mineral NPK (plantas/parcela).

Tratamiento	Conteo		
	1er.	2do.	3er.
I. Sin cachaza	25. c	94 d	106 d
II. 75 t de cachaza incorporada ha ⁻¹	38 bc	128 bcd	144 cd
III. 150 t de cachaza incorporada ha ⁻¹	56 bc	123 cd	152 abc
IV. 225 t de cachaza incorporada ha ⁻¹	104 a	164 b	183 ab
V. 25 t de cachaza localizada ha ⁻¹	70 d	153 abc	149 bc
VI. 50 t de cachaza localizada ha ⁻¹	86 ab	153 abc	168 ab
VII. 75 t de cachaza localizada ha ⁻¹	102 a	169 a	189 a
VIII. Fertilización mineral	11 c	108 d	115 cd

Como se puede apreciar la mayor cantidad de plantas germinadas, se obtuvo con la aplicación de 75 t de cachaza aplicada sobre el esqueje de caña, sin mostrar diferencia estadística con la dosis de 50 t de cachaza aplicada de la misma forma, por lo que se recomienda esta última dosis para condiciones similares a la del estudio.

Efectos sobre los rendimientos del cultivo: La cachaza beneficia las propiedades químicas, físicas, físico-químicas y biológicas del suelo, razón por la cual se presentan incrementos de rendimiento con su aplicación dentro de un amplio rango de variación de características de los suelos. En ocasiones los incrementos de rendimiento con el empleo de la cachaza pueden superar el 100%, lo que significa que esta enmienda es imprescindible si se desea producir caña en tales localidades, aunque por lo general los incrementos se encuentran alrededor del 25%. Las dosis de cachaza necesarias para alcanzar máximos rendimientos con el método de incorporarla antes de la plantación, resultan muy elevadas, aunque variables dentro de ciertos límites (125-285 t ha⁻¹) atendiendo a las características de cada lugar (Tabla 9.8).

Tabla 9.8. Comparación de diferentes dosis de cachaza para máximos rendimientos de caña en tres tipos de suelos cañeros de Cuba.

Tipo de suelo	Dosis máxima (t ha ⁻¹)	Incremento de rendimiento (%)
Ferralítico Rojo	125	24
Ferralítico Rojo	141	21
Oscuro Plástico gris amarillento	265	25
Gley Ferralítico laterizado	285	163

La cachaza, mejora la germinación de las yemas, el desarrollo del sistema radical y la asimilación de nutrimentos de N y P, sustituyéndose con su empleo la fertilización mineral fosfórica y nitrogenada durante no menos de cuatro cosechas. La producción de azúcar que se obtienen por t de cachaza aplicada, pueden servir de guía con el propósito de valorar el efecto económico de su empleo. En el ejemplo de la Tabla 9.9 los mejores resultados se alcanzan en el suelo Ferralítico bien abastecido de potasio.

Tabla 9.9. Producción de azúcar (en kg) por cada tonelada de cachaza aplicada incorporada al suelo antes de la plantación y sobre la paja de caña de azúcar en retoños recién cosechados en tres tipos de suelos cañeros de Cuba.

Tipo de suelo	Dosis para máximo rendimiento (t ha ⁻¹)	kg de azúcar producido por t de cachaza aplicada		Método
		Con la dosis de máximo rendimiento	Con 50 t ha ⁻¹	
Ferralítico Rojo	125	70	112	Incorporada antes de la plantación
Ferralítico Rojo	141	57	93	
Oscuro Plástico gris amarillento	265	27	48	
Gley Ferralítico laterizado	292	18	64	Sobre la paja

Las ventajas del método localizado (Figura 9.4), consisten en requerirse solo la mitad o la tercera parte de la dosis que por el incorporado para alcanzar similar producción, lo que disminuye gastos de transporte y aplicación y permite beneficiar mayor área con la cachaza que se obtiene en una zafra.

Las dosis con la que se obtiene el mayor provecho económico (óptimas) así como las ganancias, disminuyen al aumentar la distancia hasta el lugar de aplicación, no obstante, el empleo de cachaza localizada a razón de 50 t ha⁻¹, resulta generalmente una buena opción. Con esa dosis, debido a la alta retención de agua de la cachaza, es posible realizar la plantación en lugares sin regadío, aun cuando falte algo más de un mes para el comienzo de la época de lluvia.

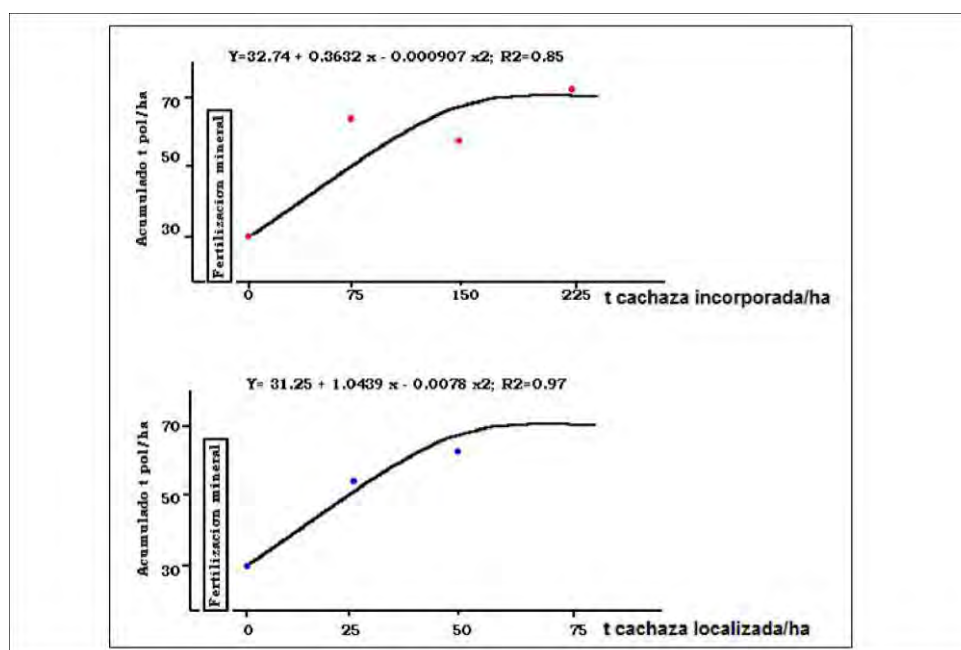


Figura 9.4. Influencia de la dosis de aplicación de cachaza sobre las t de pol ha⁻¹ acumuladas en 4 cosechas de caña efectuadas en un suelo Gley Ferralítico laterizado con la variedad Ja60-5, comparada con la fertilización mineral de NPK. En la parte superior de la figura se muestra el efecto de la cachaza incorporada al suelo y la inferior se corresponde con la aplicación de dosis tres veces inferiores de cachaza localizada sobre el esqueje de caña al momento de realizar la plantación.

9.1.3.2 Ceniza

Durante la combustión del bagazo y de la paja de la caña, se pierde el carbono y el N, destruyéndose así el carácter orgánico de estos materiales; queda entonces la ceniza que está compuesta por sílice, bases, fósforo y otros elementos.

En un experimento realizado en suelo Ferralítico Rojo típico, insuficiente en potasio ($0,1 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ de suelo) en el que se compararon diferentes abonos orgánicos (turba, bagazo, guano de murciélago y estiércol vacuno) con la ceniza de los hornos del ingenio reportaron mayores rendimientos con esta última. Esto se asoció a que la ceniza aportó los mayores incrementos en los contenidos de potasio cambiante del suelo y los más bajos de la relación Ca/K cambiables (Figura 9.5).

9.1.3.3 Compost

El proceso de compostaje acelera las transformaciones que ocurren en los materiales orgánicos, obteniéndose finalmente productos con mejores propiedades que los iniciales, por tal razón su empleo favorece tanto la fertilidad de los suelos como el rendimiento de los cultivos, con respecto a otras fuentes orgánicas. La agroindustria azucarera, brinda una serie de residuos o subproductos que pueden utilizarse para el proceso de compostaje, como son: cachaza, ceniza, residuos agrícolas (cogollo y paja) y residuos líquidos de diferentes tipos.

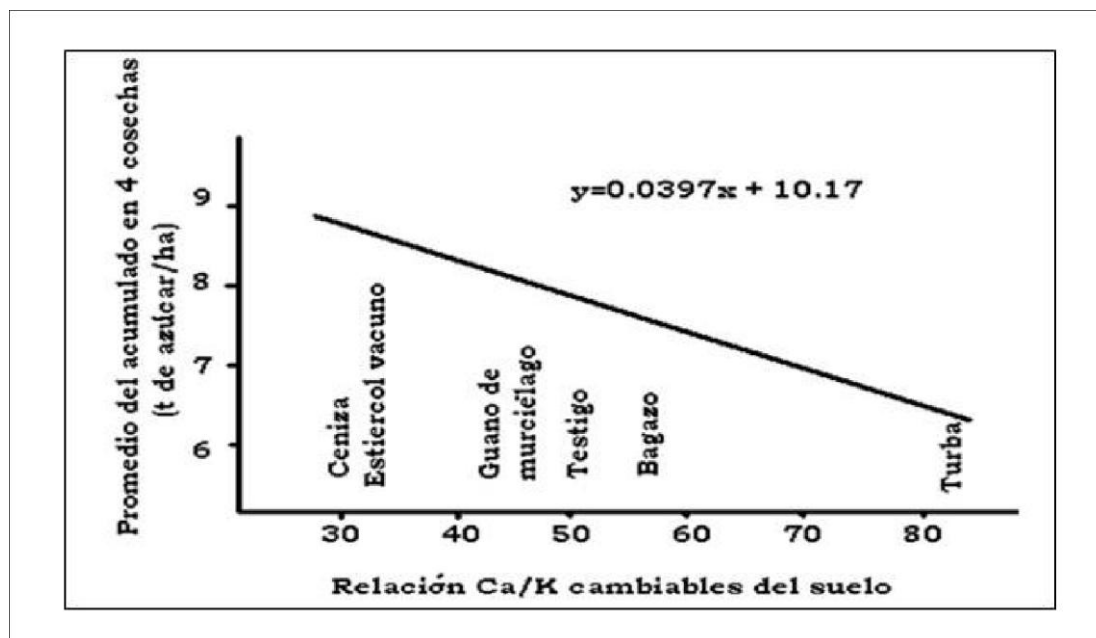


Figura 9.5. Variación de la relación Ca/K cambiante del suelo con el empleo de diferentes abonos orgánicos y ceniza y su influencia sobre el rendimiento de azúcar t/ha.

El compost se elabora utilizando como materia prima fundamental la cachaza, la que se deja descomponer sola o formando un 85% de la mezcla inicial. El 15% restante se completa con bagazo, ceniza o estiércol vacuno. El compost elaborado contiene alrededor del 25% de humedad, reacción de neutra a alcalina, abundante materia orgánica, predominio de ácidos húmicos sobre los fúlvicos y elementos mayores y menores (Tabla 9.10).

Tabla 9.10. Composición del compost elaborado en el INICA (base peso seco).

Componente	Rango de valores
pH	6,5 – 8,4
Materia orgánica (%)	5,2 – 9,6
N (%)	1,2 - 23
P (%)	0,3 - 34
K (%)	0,3 – 0,7
Ácido Húmico/Ácido Fúlvico	1,4 – 2,5
Ca (ppm)	3 697 – 34 400
Mg (ppm)	574 - 2100
Cu (ppm)	21 - 40
Zn (ppm)	57 - 149
Fe (ppm)	318 - 495
Mn (ppm)	75 - 387

Beneficios del compost sobre las propiedades del suelo y la eficiencia de la fertilización: La formación de humus y en especial del ácido húmico, tiene efecto altamente beneficioso en los suelos. Entre sus principales características se encuentran las siguientes:

- Son estables y resistentes a la biodegradación en el suelo y consecuentemente a la descomposición microbiana.
- Le imparten buenas propiedades físicas al suelo que implican mejor aireación y menos compactación.
- Eleva la capacidad de intercambio catiónico del suelo, lo que influye grandemente en la nutrición de las plantas.
- Contiene cantidades balanceadas de los principales elementos de la nutrición de las plantas: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

Beneficios del compost sobre el rendimiento del cultivo: En experimentos de campo, se estudió el efecto de diferentes dosis y métodos de aplicación de compost y la necesidad de complementarlo con fertilizantes minerales. Se evaluaron en la cosecha el rendimiento agrícola y el porcentaje del pol en caña y con ambos indicadores se calculó la producción de azúcar.

En el suelo Ferralsol, el compost aplicado localizado en el surco, en plantación, a razón de 5 t ha⁻¹ (compost elaborado sin añadirle inoculo), duplicó la producción de caña por unidad de superficie agrícola y sustituyó la fertilización mineral. En retoños, el efecto de la aplicación de compost, sobre el rendimiento, también resultó favorable en un Gleysol, aunque los incrementos no fueron tan pronunciados como en caña planta. Desde el punto de vista ambiental, el aprovechamiento de los residuos para elaborar compost, resulta favorable, por evitarse que los mismos contaminen las aguas y mejorarse la fertilidad del suelo.

9.1.4 Síntesis de algunos resultados obtenidos, con el uso de residuos agroindustriales de la caña de azúcar

En resumen puede señalarse que con el empleo de cualquiera de los residuos mencionados se alcanzó igual o mayor rendimiento, que mediante la aplicación de fertilizantes minerales completos y el riego con agua (para el caso de los residuos líquidos), lo que se corresponde con mejoras en la fertilidad y capacidad productiva de los suelos, además, estos pueden sustituir fertilizantes minerales y representan una nueva fuente de agua para el riego (Tabla 9.11).

Tabla 9.11. Incremento del rendimiento agrícola, expresado en %, obtenido con la aplicación de diferentes residuos de la agroindustria azucarera, en el cultivo de la caña de azúcar en Cuba.

Tipo de material utilizado	Forma de aplicación	Dosis	Incremento de rendimiento * (%)
Cachaza	Incorporada con la capa arable	45 t ha ⁻¹ en base seca	126
Cachaza	Sobre los esquejes en plantación	15 t ha ⁻¹ en base seca	104
Compost	Sobre los esquejes en plantación	3,5 t ha ⁻¹ en base seca	118
Residuo de torula	Fertirriego por aspersión	1000 m ³ /ha/cosecha	19
Residuo de la fabricación de azúcar crudo	Fertirriego por aspersión	1 750 m ³ /ha/cosecha	0

*Incremento = (Tratamiento-Testigo)/Testigo x 100.

9.2 ABONOS VERDES

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 fuentes de N en diversos sistemas agrícolas, especialmente en la región tropical. En esta región, donde los suelos son mucho más pobres en N disponible, el concepto de abonos verdes como fuentes de N en los sistemas agrícolas, debe ser extendido inclusive al uso de leguminosas de grano de rápido crecimiento y alta eficiencia de fijación biológica de nitrógeno (FBN) como, la soja (*Glycine max* (L.)) y caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). En un ciclo completo, los abonos verdes pueden llegar a acumular en promedio, hasta 300 kg N ha⁻¹, siendo la mayor parte de éste derivado de la FBN (Urquiaga y Zapata, 2000).

Según estos autores las especies más utilizadas en el trópico son: crotalaria (*Crotalaria juncea* L.); mucuna o frijol terciopelo (*Mucuna pruriens* (L.) DC.); canavalia (*Canavalia ensiformis* Adams); sesbania (*Sesbania sesban* (Jacq) W. Wight); Dolichos lablab, kudzu (*Pueraria phaseoloides* DC.); siratro (*Macroptilium atropurpureum* (Benth) Urb); estilosantes (*Stylosanthes guianensis* Sw.1806) y maní forrajero (*Arachis pintoi* Krapov. & W. C. Greg. 1994). Estas son incorporadas al suelo, o empleadas como cobertura (mulch) muerta o viva.

En la Tabla 9.12 se muestra la cantidad de N que pueden fijar algunas de estas especies de leguminosas usadas como abono verde en la región tropical. Los datos de la tabla indican que la FBN puede aportar hasta cerca del 90% del total N acumulado por las plantas, especialmente en suelos pobres en N disponible.

Cabe señalar que los abonos verdes se pueden usar para la rotación de cultivos y que en Cuba no se ha desarrollado su empleo, por desconocimiento de los agricultores de los beneficios que aporta esta práctica, imperando el uso de los costosos y contaminantes fertilizantes químicos.

Tabla 9.12. Contribución de la FBN en algunas leguminosas tropicales usadas como abonos verdes, creciendo en condiciones de campo.

Espece	FBN (%)	Técnica	Localidad
Arachis pintoi	68	Delta 15N	Río de Janeiro
	87	Dilución Isotópica 15N	San Carlos Costa Rica.
<i>Crotalaria Juncea</i>	95	Delta 15N	Río de Janeiro
<i>Crotalaria ensiformis</i>	87	Delta 15N	Río de Janeiro
<i>Crotalaria ensiformis</i>	96	Delta 15N	Río de Janeiro
<i>Mucuna deringiana</i>	96	Delta 15N	Río de Janeiro
<i>Macroptilium atropurpureum</i>	87	Delta 15N	Río de Janeiro
<i>Pueraria phaseoloides</i>	67	Delta 15N	Río de Janeiro
<i>Stylosanthes guianensis</i>	68-79	Delta 15N	Campo Grande
<i>Stylosanthes scabra</i>	52-70	Delta 15N	Campo Grande
<i>Stylosanthes macrophala</i>	74-84	Delta 15N	Campo Grande
<i>Stylosanthes capitata</i>	73-88	Delta 15N	Campo Grande

9.3 ROTACIÓN DE CULTIVOS

La caña de azúcar ha sido en Cuba un monocultivo por cerca de 2 siglos, cuando todavía este fenómeno negativo no era tan notorio, Álvaro Reynoso (1962) señaló, “la tierra explotada sin interrupción alguna, en el propio sitio por la misma planta, concluye por empobrecerse”. Más del 90% del tiempo el suelo está ocupado con caña, lo que se agrava cuando una sola variedad ocupa un alto porcentaje del área, y como se conoce, cuatro variedades de caña (Cristalina, POJ2878, B4362 y Ja60-5) han ocupado en sus momentos, la mitad o más de la superficie cañera, durante los últimos 200 años.

Conceptualmente rotación es la sucesión recurrente y más o menos regular de diferentes cultivos en el mismo terreno, y es una práctica que contribuye de modo eficaz a controlar la degradación de los suelos, regular la humedad y mantener la productividad de éstos, a la vez que aumenta la rentabilidad de los agricultores. En caña de azúcar se denomina a la práctica de sembrar un cultivo de ciclo corto, preferiblemente una leguminosa, entre la demolición de la cepa vieja y la nueva plantación y tiene lugar generalmente entre abril y septiembre.

Una de las causas por las que muchas veces ha fallado la rotación de cultivos es porque se piensa que no se necesita atenderlos. Una premisa importante que no se debe olvidar es que los cultivos que se usen para la rotación se deben manejar técnicamente. En Australia se ha observado que el caupí con manejo tradicional fijó 31,00 kg de N ha⁻¹ y produjo 2,0 t ha⁻¹ de materia seca, mientras con manejo técnico la fijación se elevó a 140,00 kg de N ha⁻¹ con una producción de 4,7 t ha⁻¹ de materia seca.

El cambio a un cultivo diferente, aunque sea cada cinco o seis años, interrumpe el ciclo de las malezas y es más efectivo si es capaz de cubrir toda el área y ahogar el crecimiento de las malezas. Además, se mejoran el contenido de materia orgánica y las condiciones físicas de los suelos y se aportan cantidades considerables de N.

En Cuba, en el período de abril a septiembre, antes de la siembra de frío, se pueden sembrar soya, maní, caupí, girasol, ajonjolí, canavalia, mucuna, melón calabaza y boniato que ayudan a controlar malezas y además tienen alto valor alimenticio y económico (Cuéllar *et al.*, 2003). Independientemente de los beneficios, que se conocen, originados por la rotación de cultivos, hoy en día, no es una práctica muy generalizada en la agricultura cañera cubana.

9.4 ENCALADO

El encalado es una enmienda mineral y se puede definir como la aplicación a los suelos ácidos de materiales que posean dos requisitos:

1. Disminuir la acidez del suelo.
2. Aportar calcio o calcio y magnesio.

Como materiales encalantes se pueden mencionar, los óxidos, hidróxidos y carbonatos de calcio y magnesio, pues solamente ellos reúnen los dos requisitos inicialmente considerados.

En el trópico, las respuestas al encalado han sido contradictorias y poco concluyentes, unas veces la respuesta es positiva y otras ha sido perjudicial.

Frecuentemente los efectos negativos se han atribuido a que ha provocado deficiencias de elementos menores, por ejemplo Fe y Mn; otras, a que en lugar de favorecer la estructura del suelo la ha empeorado al estimular la rápida descomposición de la MOS y aunque haya aumento la capacidad de cambio catiónico por cargas inducidas, a la vez hay pérdidas de la misma con la materia orgánica.

En este lugar las condiciones climáticas han originado una mayor acidificación de los suelos, por ello, los cultivos se han adaptado o han sobrevivido por selección natural los más resistentes a tales condiciones. En la mayoría de los suelos altamente meteorizados de los trópicos el encalado hasta pH 7 origina más daño que bien, resultando tal práctica en un sobre-encalado. La respuesta positiva al encalado es consecuencia, en la mayoría de los casos, de haberse contrarrestado los niveles tóxicos de aluminio y de otros elementos.

Por ello las investigaciones al respecto, debían estar encaminadas a:

1. Agrupar los cultivos según su susceptibilidad al aluminio.
2. Agrupar los suelos según su necesidad de encalado, la que dependería de su contenido en aluminio cambiante y de su valor V (% de saturación de bases cambiables del suelo), pues la toxicidad tiende a disminuir con el aumento en la concentración de otros cationes.

9.4.1 El encalado y la reacción del suelo

9.4.1.1 La acidez del suelo

La acidez o reacción del suelo es una propiedad de gran importancia para el desarrollo y crecimiento de las plantas. El pH o reacción del suelo tiene una influencia significativa en los procesos químicos, disponibilidad de nutrientes, procesos biológicos y la actividad microbiana. Normalmente el rango de pH de los suelos varía entre 3,5 y 9,0; la razón por la que no se alcanzan valores extremos de 0 o 14, se debe a que la solución del suelo no es una solución verdadera, sino que constituye una solución coloidal.

9.4.1.2 El pH y los cultivos

La mayoría de los cultivos son favorecidos por rangos de pH entre 5,0 a 7,5; sin embargo, cada especie se acoge o desarrolla mejor dentro de un rango específico (García, 2005) (Figura 9.6). La caña de azúcar admite un rango de pH bastante amplio, que puede oscilar entre 3,5 y hasta 7,5, siempre que no exista aluminio soluble en el suelo que pueda producir toxicidad, no obstante el rango óptimo de pH para este cultivo se encuentra entre 5,5 y 6,8.

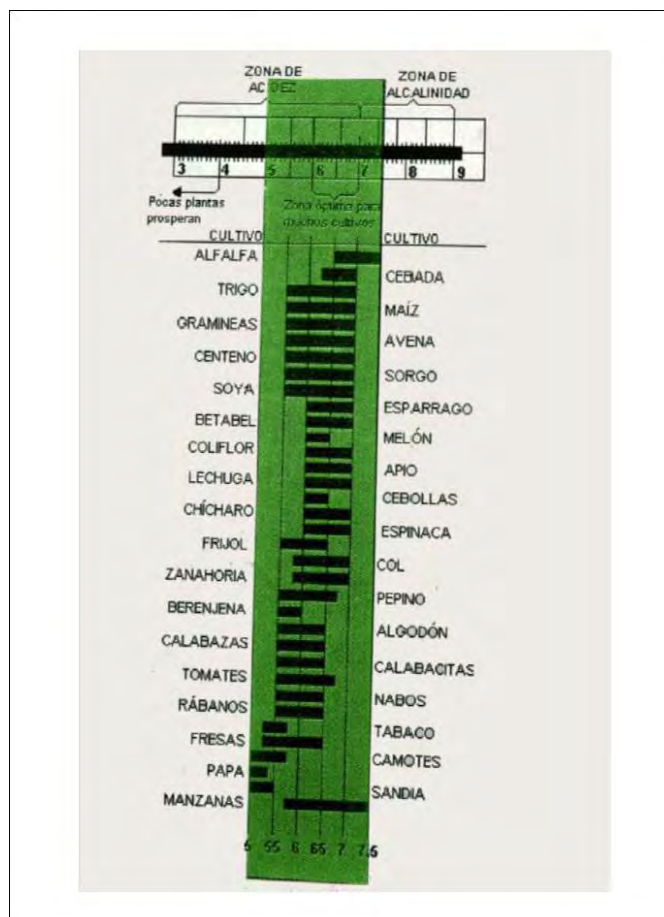


Figura 9.6. Rangos de pH óptimos para diferentes cultivos.

La acidez del suelo se clasifica en actual (solución del suelo) y potencial que es aquella que se encuentra intercambiable en el complejo de cambio del suelo y que es de mucha mayor cuantía que la actual.

9.4.1.3 Método para calcular la dosis de cal a emplear

La caña de azúcar admite un rango de pH amplio, por tanto las aplicaciones de cal están función de la saturación por Al y los tenores de Ca y Mg cambiables del suelo y del poder neutralizante del material encalante estableciéndose diferentes dosis (Tabla 9.13).

Tabla 9.13. Recomendación de encalado para la caña de azúcar en función del contenido en el suelo de los cationes canjeables (Al, Ca, Mg) y el poder neutralizante del material encalante.

Análisis de suelo (cationes cambiables)			Poder neutralizante del material encalante			
Aluminio	Calcio	Magnesio	65	80	100	130
Porcentaje	cmol l ⁻¹		t de material encalante por ha ⁻¹			
>70			5,0	4,0	3,2	2,5
70-50			4,0	3,2	2,6	2,0
49-30			3,0	2,4	2,0	1,5
<30	< 1,0 Ca ²⁺ y < 0,4Mg ²⁺		2,0	1,6	1,3	1,0
<30	> 1,0 > 0,4		0,0	0,0	0,0	0,0

El objetivo fundamental de un encalado no es elevar el pH, sino eliminar los factores limitantes del crecimiento. Ese sistema integra aquellos factores que en las investigaciones realizadas internacionalmente sobre la necesidad de encalado en caña de azúcar han sido generalmente aceptados.

La caña de azúcar presenta una tolerancia media a la saturación por Al (20-40%). Es evidente que la dosis de material encalante a emplear debe ser menor en las especies de planta más resistentes ya que no es necesario neutralizar todo el aluminio, sino disminuir su contenido hasta un valor, que no afecte el cultivo en cuestión, ello es de importancia económica, pero a su vez garantiza que no se sobre encale.

CAPÍTULO 10

RIEGO Y DRENAJE

Reynaldo Roque Rodés

Carlos José Lamelas Felipe

El riego y el drenaje constituyen factores importantes para incrementar y estabilizar el rendimiento agrícola de la caña de azúcar. Sin embargo para lograr estos resultados, no basta con la aplicación de determinado volumen de agua, sino que es preciso garantizar una adecuada estrategia técnico-organizativa en las plantaciones a beneficiar. El desarrollo y disponibilidad de las tecnologías de riego en las últimas décadas han facilitado a los agricultores integrar el riego a las actividades agrotécnicas, contribuyendo positivamente junto al adecuado drenaje, a un manejo sostenible de las tierras cultivadas.

Las limitaciones que más frecuentemente afectan la sostenibilidad de los sistemas de riego son aquellas asociadas con las actividades de operación y mantenimiento del sistema. La posibilidad de regular la distribución del agua de acuerdo a las necesidades ha sido posible solo en los últimos años con el diseño de sistemas flexibles y adaptables a diferentes condiciones y cultivos.

En los trópicos húmedos donde caen anualmente entre 1500 y 2000 mm de lluvia, hay necesidades de regadío, debido a la distribución no uniforme de las precipitaciones en el transcurso del año y el ciclo del cultivo. Las lluvias en Cuba, se encuentran desigualmente distribuidas, tanto espacial como temporalmente, existiendo lugares que no superan los 660 mm anuales. El período de sequía dura de noviembre a abril y solo precipita como promedio alrededor del 20% de la lluvia anual en esta etapa (Pérez *et al.*, 2004).

La recuperación de las áreas con posibilidades de riego, la introducción de nuevas tecnologías, la rehabilitación del drenaje, y la capacitación del capital humano, son factores determinantes para el incremento de la producción de caña de azúcar del país.

10.1 POTENCIALIDADES PRODUCTIVAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR BAJO RIEGO

Con las técnicas tradicionales como el riego por surcos, por aspersión o por máquinas se obtienen incrementos de rendimiento entre 20 y 50% y con otras más modernas como el riego localizado o por goteo se logra duplicar la producción de caña. Sin embargo, un buen sistema de riego mal utilizado significa malgastar dinero y esfuerzo sin llegar a obtener el beneficio y la ganancia esperados, siendo necesario cumplir con la exigencia de varios principios básicos para maximizar su eficiencia tales como:

1. Regar cuando la caña de azúcar lo necesita sin esperar que esta sufra estrés y se afecten los rendimientos.
2. Aplicar en cada riego la cantidad de agua que el suelo y las plantas realmente necesitan, ni más ni menos. Si regamos menos no abastecemos bien el suelo y si regamos más podemos crear encharcamientos que afecten la caña y desperdiciar agua y dinero.
3. Operar correctamente la técnica de riego disponible y realizar el mantenimiento sistemático para mantener su eficiencia y alargar la vida útil de tan costosa inversión.

El límite superior de producción de un cultivo está determinado por las condiciones edafoclimáticas, por el potencial genético del mismo y las prácticas de manejo que se apliquen. Para alcanzar esta meta el suministro de agua es importante y los aspectos técnicos del riego deben estar bien identificados con las necesidades de agua del cultivo para alcanzar producciones altas, sostenidas y rentables. No por gusto *Don Álvaro Reynoso, en la segunda mitad del siglo XIX expresó, “La caña de azúcar es planta de regadío”*

10.2 COMPORTAMIENTO DE LAS PRECIPITACIONES Y LAS CONDICIONES DEL SUELO

10.2.1 Importancia del comportamiento de las precipitaciones

El conocimiento del comportamiento de las precipitaciones en determinada zona o región es un factor determinante para la producción de caña, del cual los productores deben tener buen dominio. Para las condiciones de Cuba (isla larga y estrecha) la media histórica de oriente a occidente oscila entre 1072 y 1355 mm/año, como resultado de mediciones realizadas en las diferentes estaciones pluviométricas del territorio. Entre el 22 y el 30% de la lluvia ocurre en el período seco o invierno (noviembre a abril) y entre el 70 y el 78% en el período lluvioso o verano (mayo a octubre), de manera general los meses más críticos son diciembre, enero y febrero con menos de 50 mm, y los de mayor precipitación mayo, junio, julio, agosto y septiembre con más de 100 mm (Figura 10.1).

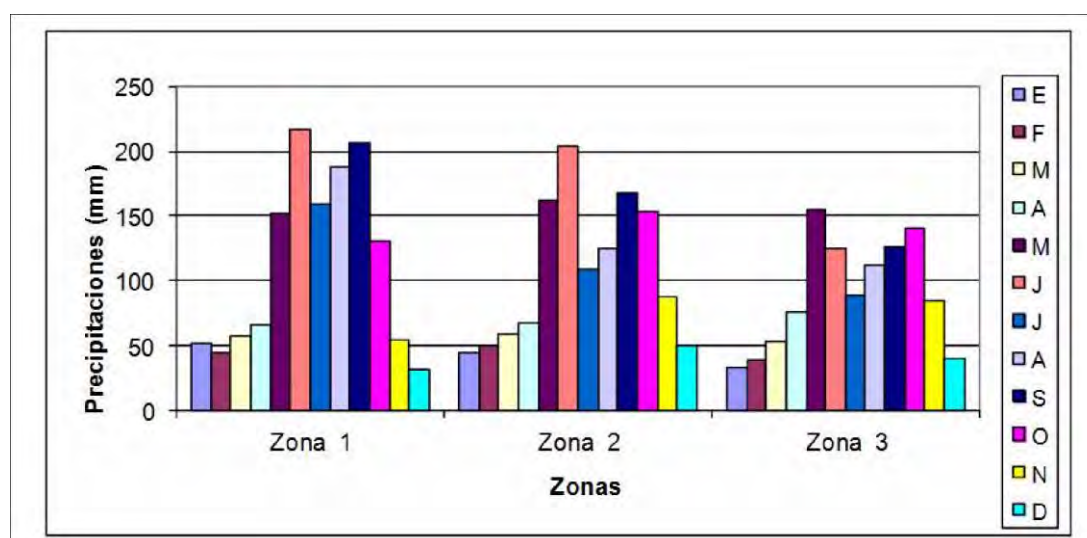


Figura 10.1. Media histórica de las precipitaciones mensuales, registradas en Cuba por zonas: 1. Occidental, 2. Central, 3. Oriental.

10.2.2 Propiedades del suelo que influyen en el manejo del agua de riego

Las principales propiedades hidrofísicas del suelo son: Densidad aparente, percolación, humedad del suelo, velocidad de infiltración, conductividad hidráulica y elevación capilar, todas de una forma u otra intervienen y rigen el movimiento del agua en el suelo, por lo que se deben tener muy en cuenta durante el manejo del riego (Tablas 10.1 y 10.2).

10.3 RÉGIMEN DE RIEGO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Para la determinación del régimen de riego de un cultivo es necesario considerar: los efectos del clima, el tipo de suelo y sus características, las exigencias de agua y la dinámica de desarrollo del cultivo, las técnicas de riego y el manejo del agua. Estos

factores hay que conjugarlos de tal forma que durante el desarrollo de la plantación no se produzca estrés hídrico. Para lograr este objetivo es preciso realizar un balance hídrico para calcular las necesidades de agua del cultivo. La información que brinda el balance hídrico es usada no solamente en términos de planificación, si no con fines operativos, que incluyen la toma de decisiones, el monitoreo de las condiciones actuales del cultivo y la predicción de los rendimientos (Lamelas, 2004).

Tabla 10.1. Propiedades hidrofísicas de los principales suelos cañeros.

Agrupamientos de suelo	% arena gruesa	% arena fina	% limo	% arcilla	Cc (%PSS)	Dr (g/cm ³)	Da (g/cm ³)	% PT
F. Cálcidos	-	5,9	10,9	83,2	33,4	2,73	1,06	56,0
F. Cuarcíticos	2,1	77,3	9,6	11,0	21,8	2,68	1,35	49,6
Fers. Cálcidos	0,18	7,9	27,7	63,6	34,9	2,7	1,05	61,0
S. Cálcidos	0,5	19,8	18,5	61,2	30,9	2,67	1,18	56,0
Vertisuelos	0,3	13,2	14,0	72,5	53,6	2,82	0,95	69,1
G. Ferralitizados	-	5,9	13,7	80,4	32,5	2,64	1,15	56,5
G. Sialitizados	0,1	7,8	10,4	81,7	64,6	2,68	0,89	66,8
Ferritizados	2,1	41,7	18,4	37,8	28,9	2,8	1,12	65,8

Cc= Capacidad de campo. %PSS= % de humedad en base a volumen o peso de suelo seco. Dr= Densidad real. Da= Densidad aparente. PT= Porosidad total.

Tabla 10.2. Propiedades hidrofísicas del suelo en dependencia de la textura.

Textura del suelo	Cc (%PSS)	PMP (%PSS)	Dr (g/cm ³)	Da (g/cm ³)	PT (%)
Loam-arcillo-arenoso	25,3	12,9	2,88	1,58	44,2
Arcillo-arenoso	31,0	19,5	2,95	1,6	45,4
Franco-arcilloso	38,9	21,4	2,67	1,32	49,5
Loam-arcilloso	38,0	19,7	2,71	1,43	47,3
Arcilloso	49,3	20,4	2,65	1,17	55,9

Cc= Capacidad de campo. PMP= Punto de marchitez permanente. %PSS= % de humedad en base a volumen o peso de suelo seco. Dr= Densidad real. Da= Densidad aparente. PT= Porosidad total.

10.3.1 Variables que afectan el balance hídrico

Para calcular el balance hídrico es necesario conocer las variables siguientes:

Transpiración: Agua que expulsa la caña de azúcar a la atmósfera en forma de vapor a través de los estomas.

Profundidad radical: Máxima profundidad que alcanzan las raíces de la caña de azúcar en dependencia de las condiciones del suelo.

Capa activa de raíces (Hr): Se refiere a la profundidad hasta donde se encuentran el 80% del total de las raíces de la caña de azúcar. En la Figura 10.2 se aprecia que la mayor cantidad de raíces se distribuyen en los 40 cm de profundidad y a cada lado del centro de la cepa.

Capacidad de campo: Contenido de humedad presente en el suelo luego de ser eliminada el agua en exceso por la acción de la gravedad. Varía de acuerdo a las características de los suelos. También la capacidad de campo (Cc) se refiere a la cantidad máxima de agua que retiene el suelo sin afectar la porosidad de aireación después que ha cesado la percolación (se mide en % de humedad en base a volumen o peso de suelo seco, mm, m³/ha o l/m²).

Límite productivo: Es el valor de humedad en el suelo, al cual se considera que debe aplicarse el riego. El Límite productivo (Lp), será el límite mínimo de humedad del