

# Balances de elementos en un agroecosistema de caña de azúcar: II. Balance de fósforo

D. López -Hernández <sup>1</sup>, D. Sequera <sup>1</sup> & E. Medina <sup>2</sup>

Keywords: Sugar cane- Phosphorus- Nutrient cycling- Ashes- Mollisols- Venezuela

## Resumen

Se analiza la aplicación del estudio de los ciclos de nutrientes en la determinación de los requerimientos de fertilizantes fosforados en el cultivo de caña de azúcar. El análisis se efectuó en una parcela experimental de 4.5 ha cultivada con las variedades Puerto Rico 1028 y Venezuela 58-4, en el valle del río Yaracuy, en el centro de Venezuela. A lo largo de un año de crecimiento (3<sup>o</sup> soca) se midieron los principales flujos de fósforo en el sistema, así como también las cantidades de este elemento en los componentes suelo-planta. Las entradas por precipitación (húmeda y seca) fueron altas, lo que se asocia con la intensa actividad agrícola (quema de plantaciones) e industrial que se produce en la zona. El balance anual de fósforo en el sistema para ambas variedades es negativo (-17 y - 23.3 kg. ha<sup>-1</sup> para la variedades V 58-4 y PR 1028, respectivamente), asociado principalmente a los altos niveles de P que se exportan vía caña molible. Estas pérdidas deben compensarse con la aplicación de fertilizantes, sin embargo no se encontró respuesta a la fertilización con P, lo que indica que las reservas internas del elemento vía mineralización y solubilización operan de manera eficiente en este mollisol generando niveles adecuados de P disponible. Por otro lado, se encontró que la quema juega en este agrosistema un papel muy importante en el reciclaje del P, ya que reincorpora al suelo a través de las cenizas una cantidad entre el 25-30% de los requerimientos de las variedades estudiadas.

## Summary

### Element Budgets in a Sugarcane Agroecosystem: II. Phosphorus Budget

The paper considers the application of the studies of nutrient cycling on the determination of phosphorus requirements in sugarcane plantations. The work was performed in a 4.5 ha experimental plot located in the valley of Yaracuy river in central, Venezuela. The plot was planted with the varieties Puerto Rico (PR) 1028 and Venezuela (V) 58-4. The principal flows of phosphorus, as well the quantities of this element in the soil-plant components were measured throughout the growing cycle of the crop (second ratoon). The inputs through precipitation (wet and dry) were high, that was associated with the intense agricultural (prescribed burning of sugarcane plantation) and industrial activities occurring in the area. The annual balance for both varieties was negative (-17 and - 23.3 kg.ha<sup>-1</sup> for V 58-4 and PR 1028, respectively). The negative budget is mainly due to the important amounts of P that are exported with the cane stems. The losses must be compensated though fertilisation, nonetheless, preliminary results indicated no response to P dressing, suggesting that in the studied mollisol the internal processes e.g. P mineralization and P solubilization, efficiently operate generating important available P levels. It was also found that the burning of the sugar cane plantation plays an important role in the recycling of phosphorus, since 25-30% of the P requirements of the varieties are reincorporated into the soil from the ashes.

## Introducción

Durante muchas décadas el valle del río Yaracuy en el centro de Venezuela ha sido una zona de producción de caña de azúcar. La misma, sin embargo ha experimentado, al igual que otras localidades del país, una reducción drástica en los niveles productivos de este renglón (24). Tal situación se ha atribuido en parte al abandono de la práctica de fertilización generada por la eliminación de subsidios. No obstante esto, ensayos preliminares de fertilización (NPK), a diferentes variedades de caña de azúcar indican que en la zona no hay respuesta del cultivo, en particular a la fertilización con P (24). Como los

suelos donde se han establecidos estos ensayos son mollisoles, con niveles apropiados de P disponible, los resultados sugieren que es prácticamente innecesaria la fertilización fosforada, sugiriéndose, por tanto, tan solo una fertilización de mantenimiento del orden de 50 kg.ha<sup>-1</sup> de superfosfato triple. Sin embargo, la cosecha anual de caña molible (alrededor de 60- 100 ton.ha<sup>-1</sup>) y los procesos de quema, práctica común de manejo de las plantaciones en Sur América (30), conlleva a la pérdidas de cantidades significativas de nutrientes (N, P, K) en estos sistemas agrícolas; estas pérdidas deben ser renovadas en base a i) fertilización o ii) por

<sup>1</sup>Laboratorio de Estudios Ambientales, IZT, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas 1041-A, Apdo 47058, Caracas, Venezuela y Centro de Estudios para el Desarrollo de la Agroecología Tropical, Universidad Simón Rodríguez, Venezuela.

<sup>2</sup>Centro de Ecología, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Caracas, Venezuela.

Recibido el 20.05.03 y aprobado para su publicación el 17.12.04.

un ciclaje interno de los elementos, vía mineralización y solubilización de adecuadas fuentes internas. En el caso específico del P, la segunda situación estaría fuera de consideración en los suelos altamente meteorizados del trópico (oxisoles, ultisoles) por sus escasas reservas de P total (Pt) y disponible (12, 28) lo que obliga a una mínima fertilización, no así en el caso de los mollisoles de las zonas templadas y tropicales, donde la reserva de P potencialmente aprovechable por mineralización o solubilización son pertinentes y hacen para algunos renglones innecesaria la fertilización (1, 6, 15, 21).

Este trabajo es un intento de cuantificar la distribución del P durante un periodo de crecimiento en una plantación de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) enfocándose en los procesos relacionados con el ciclaje del elemento. Como resultado, se desarrollará un esquema simple que permita la integración de todos los aspectos antes mencionados, que involucre la dinámica del P en el subsistema suelo-planta y permita la predicción de los requerimientos de fertilización en el área estudiada.

#### Area de estudio

La investigación se desarrolló en una parcela experimental ubicada en San Felipe, Edo. Yaracuy, Venezuela, en las coordenadas 10° 28' N y 68° 34' O, situada a 70 m.s.n.m.

Se seleccionaron 4 parcelas de 300 m<sup>2</sup> cada una dentro de un área experimental de 4,5 ha, cultivada con *Saccharum officinarum* L. Dos de las parcelas fueron sembradas con la variedad Puerto Rico (PR) 1028 y las otras dos con la variedad Venezuela (V) 58-4 (24). El clima de la zona se caracteriza como húmedo con una precipitación y una temperatura promedio anual de 1479 mm y 26,8 °C, respectivamente. La época lluviosa se presenta entre los meses de mayo a noviembre y la época seca desde diciembre a abril (20, 25).

El suelo de la parcela experimental pertenece al orden Mollisol, régimen Aquico, familia, Typic Haplaquoll, franca finca, isohipertérmica, muscovítica, montmorrillonítica, caolinitica (J.L. Berroterán, comunicación personal, 1984). Se realizan como practicas común en el cultivo la aplicación de malatión para control de plagas, asimismo se fertiliza anualmente con 500 kg. ha<sup>-1</sup> de urea, 50 kg.ha<sup>-1</sup> de superfosfato triple y 100 kg.ha<sup>-1</sup> de cloruro de potasio.

#### Metodos

##### Muestreo de aguas

Los muestreos de las aguas de lluvia, escurrimiento foliar (agua no interceptada por el cultivo) y percolación se realizaron semanalmente para un total de 17 meses, aunque los resultados se presentan para un periodo de un año. Se instalaron cinco recolectores de lluvia, cuya altura de 4 m garantizaba la recolección por encima del dosel del cultivo. Así mismo se colocaron

veinte recolectores de 30 cm de altura, ubicados bajo el follaje del cultivo para captar las aguas proveniente del escurrimiento foliar. Para la recolección de las aguas de percolación, se colocaron diez lisímetros libres de tensión enterrados a 60 cm de profundidad. La disposición en el campo de los distintos colectores de agua, fue hecha al azar en el área experimental. Las muestras de agua fueron recogidas semanalmente, preservándose con acetato fenil mercúrico 0.01 en dioxano. Posteriormente se trasladaron al laboratorio para la medición de los volúmenes correspondientes, se filtraron al vacío con filtros miliporos de 0.45 μ de diámetro y se almacenaron en la oscuridad a 25 °C para el posterior análisis de fósforo soluble. Mayores detalles de los colectores de lluvia, escurrimiento foliar y lisímetros se describen en Infante *et al.* (8). El volumen de agua por percolación fue estimado mediante balances hídricos diarios elaborados para la zona durante el período de muestreo con los datos climatológicos de una estación que fue instalada para este trabajo.

La evapotranspiración potencial se calculó según la ecuación propuesta por García y López (4), la evapotranspiración real según el método de Thornthwaite y Mather (29) y la cantidad de agua percolada se estimó usando el método propuesto por Sánchez-Carrillo y Quintero (22). El agua interceptada por el cultivo se calculó mediante ecuaciones de regresión múltiple que relacionan el porcentaje de precipitación interceptado por el follaje con la precipitación y edad del cultivo.

##### Muestreo de suelos

En cinco épocas diferentes del desarrollo de la caña se tomaron 40 muestras al azar con barreno, hasta la profundidad de 30 cm. Las mismas se unieron con la finalidad de obtener muestras compuestas a la cuales se les determinaron fósforo total (Pt) y fósforo orgánico (Po) mediante el método de ignición de Legg y Black (10). Adicionalmente se determinaron las formas disponibles de Po de acuerdo al fraccionamiento de Bowman y Cole (2).

##### Muestreo de vegetación

**Parte aérea:** Para la medición del crecimiento del cultivo y la concentración de fósforo total en los tejidos de los diferentes órganos, se realizaron cortes a ras del suelo, a lo largo del periodo experimental; en los mismos, para cada variedad, se cosecharon (por triplicados) 3 m lineales de caña de azúcar de acuerdo a la metodología empleada por San José y Medina (23), el material fue separado en hojas vivas (Material Fotosintéticamente Activo-MFA), tallos y material muerto (hojas y tallos secos tanto en pie como en el suelo). Las diferentes fracciones eran pesadas directamente en el campo con una balanza colgante de 20 kg y se extraía una alícuota para ser trasladada al laboratorio. Una vez en el mismo se mantenía en estufa a 60 °C hasta peso constante. Con

estos datos se calculó la biomasa aérea para cada fracción sobre la base de peso seco por unidad del terreno cultivado. Posterior al secado, las muestras de vegetación fueron molidas, y se almacenaron para su posterior digestión y análisis de P total.

**Biomasa radical:** La biomasa radical, fue estimada a partir del material presente en monolitos de suelo de 1 m<sup>2</sup> (3 réplicas por variedad) hasta 30 cm de profundidad. Este procedimiento se utilizó en los primeros meses de crecimiento de la caña. En los períodos restantes se extrajo la macolla y se tomaban muestras con barreno a 30 cm de profundidad y a 0, 25, 50 y 75 cm de distancia del centro de la macolla de acuerdo a la metodología empleada por Lima (11). En cualquiera de las formas de muestreo, el suelo era separado del material radical mediante lavado con agua. Las raíces eran luego colocadas en estufa hasta peso constante y referido el peso a unidad de área. Para evaluar la desaparición radical del cultivo, se instalaron en el campo, a 20 cm de profundidad, veinte bolsas de plástico de 2 mm de malla, cada bolsa contenía una mezcla de suelo y 20 g de material radical fresco. Al cabo de diferentes períodos de incubación, cuatro bolsas en cada fecha eran retiradas, y trasladadas al laboratorio donde las raíces eran separadas y colocadas en estufa hasta el peso constante y posterior determinación de fósforo total remanente. Los valores de desaparición radical del cultivo fueron ajustados al modelo exponencial negativo descrito por Olson (18). El nivel de confianza establecido fue de  $P < 0.01$ .

**Muestreo de cenizas:** En el cultivo de caña es práctica común realizar una quema previa a la cosecha con el objeto de eliminar las hojas (verdes y secas), así como los tallos secos no comerciales. Con la finalidad de obtener muestras de las cenizas se colocaron en el campo 8 recolectores metálicos distribuidos al azar de acuerdo al protocolo presentado por Pulido y Vallejo-Torres y López-Hernández (20, 30), estas cenizas fueron trasladadas al laboratorio donde se determinó P total.

### Análisis químico de las muestras

El fósforo soluble en las aguas de lluvia, escurrimiento foliar y lixiviación, posterior al filtrado con miliporo, al igual que las muestras de Pt y Po fueron analizadas directamente por el método de Murphy y Riley (17). El fósforo contenido en tejidos de caña de azúcar y cenizas se determinó en base a una digestión ternaria (5 ml HNO<sub>3</sub> + 1 ml HClO<sub>4</sub> 70% + 0.5 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) de un gramo del material vegetal a 200 °C hasta aclaramiento, diluyéndose posteriormente hasta 75 ml. A todas las muestras de vegetación, así como las de los ensayos de desaparición radical del cultivo se les determinó el P mediante el método de Murphy y Riley (17).

### Balances de fósforo en los subsistemas

Los balances se realizaron a nivel de los subsistemas planta y suelo, para luego englobarse en un balance final anual, de los flujos que intervienen en estos procesos, se seleccionaron aquellos que ocasionan un ingreso o una pérdida neta en el ecosistema. La concentración obtenida multiplicada por la cantidad de material (expresado por unidad de peso/área), representa el contenido de P (acumulado) en cada fracción en particular.

**Análisis estadístico:** Se efectuaron análisis de varianza de una vía, una vez comprobada la homogeneidad de las varianzas mediante la prueba de Bartlett (26) mediante el programa SPS (3). El nivel de confianza establecido fue de  $> 0,01$ . Se realizaron ajustes a un modelo de regresión específico a cada caso, entre los valores de biomasa en relación a la edad del cultivo. De la misma manera se ajustaron los valores de concentración de fósforo para cada componente del material aéreo y radical de la vegetación (7).

### Resultados y discusión

#### Producción de biomasa y distribución de P durante el ciclo de crecimiento

En la figura 1 se muestra la biomasa del cultivo y su distribución en los diferentes órganos de las plantas para ambas variedades.

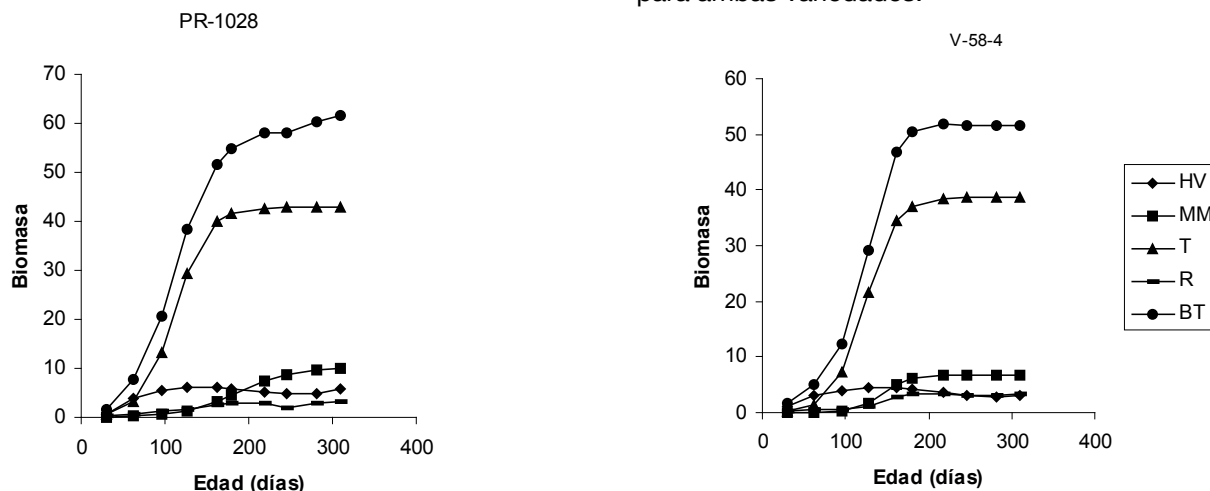


Figura 1: Producción de biomasa (ton ha<sup>-1</sup>) en los diferentes tejidos. HV= Hojas Vivas MM= Material Muerto T= Tallos R= Raíces BT= Biomasa Total.

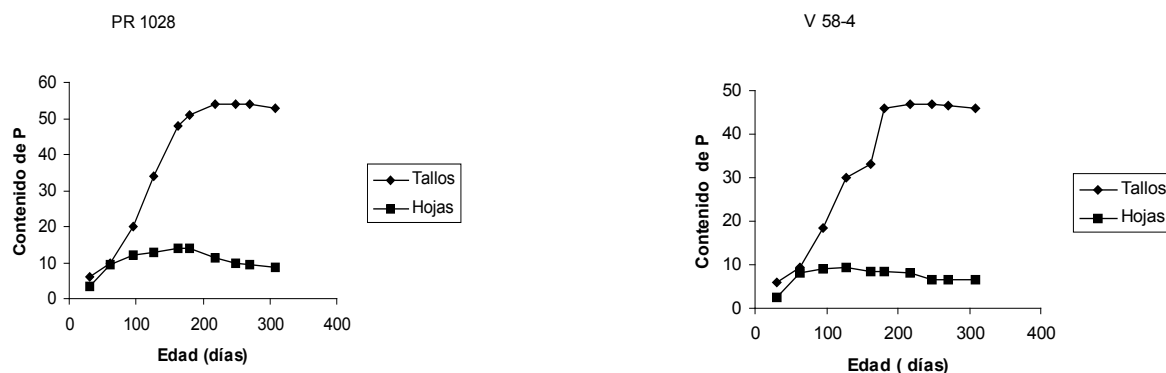


Figura 2: Contenido de P en los tejidos ( kg.ha<sup>-1</sup>).

Como era de esperarse, los tallos (T) representan el mayor porcentaje de la biomasa del cultivo, excepto en los primeros 60 días, cuando es superado por la biomasa de hojas vivas (HV). La producción de tallos incrementa rápidamente en las primeras etapas, por lo cual se observa un incremento de la biomasa total (BT), posteriormente el crecimiento de los tallos y de las hojas vivas se detiene, de manera que la biomasa total permanece prácticamente constante en ambas variedades (Figura 1). La producción medida de raíces (R) fue la más baja de todos los compartimientos de vegetación, aunque por la metodología usada no se descarta una cierta subestimación, ya que es posible que a través del lavado no se logre recuperar todo el material radical. El material muerto (MM) incrementa a lo largo del desarrollo del cultivo llegando a superar en ambas variedades los valores del material verde. La variedad PR-1028 produjo un rendimiento de 10 ton.ha<sup>-1</sup> superior a la variedad V-58. Patrones de crecimiento similares en caña de azúcar, han sido registrados por San José y Medina (23).

La figura 2 muestra la acumulación de P en las diferentes fracciones vegetales para la variedad PR 1028 y V 58-4.

La cantidad de P acumulado en los tallos incrementa rápidamente y casi linealmente durante los primeros 160 días (Figura 2). Después de este intervalo se estabiliza y alcanza una acumulación total de 57 y 48.8 kg.ha<sup>-1</sup> para PR 1028 y V-58, respectivamente, las curvas de desarrollo vegetativo de los tallos presentan un comportamiento similar (23). En las hojas igualmente ocurre una importante acumulación en los primeros 60 días con un máximo hacia los 180 días de crecimiento cuando comienza a disminuir la cantidad de P inmovilizado en el material verde (Figura 2). La distribución del fósforo acumulado para

ambas variedades es aproximadamente la misma y sigue el siguiente orden: 75% en los tallos, 11% se concentran en las hojas, 11% en el material seco y 3% en las raíces. Casi todo el material contenido en los tallos se cosecha (cañas molibles), por lo que son removidos del sistema 43 y 38 kg.ha<sup>-1</sup> para la variedad PR 1028 y V-58, respectivamente.

#### Acumulación de P y distribución en el suelo

La cantidad total de P en el suelo (hasta 30 cm profundidad) alcanzó 2498 kg.ha<sup>-1</sup> de los cuales 1907 kg.ha<sup>-1</sup> (76%) eran inorgánico y 591 kg.ha<sup>-1</sup> P-orgánico, dentro de la fracción inorgánica P-Ca es la principal reserva (13), lo cual, no es sorprendente, por tratarse de un mollisol con cantidades significativas de carbonato de calcio; por otro lado, dentro de las fracciones de Po, la moderadamente labil de acuerdo al método de Bowman y Cole (2) resultó la fracción dominante (Tabla 1).

#### Balace del fósforo en los subsistemas

Los diferentes flujos asociados al ciclo del fósforo serán analizados dentro del contexto de los balances mensuales a lo largo del periodo de crecimiento de la planta.

Las tablas 2 y 3 presentan los balances mensuales y el balance anual del subsistema planta para las variedades PR y V, respectivamente.

Domina dentro de este balance las entradas, tanto por absorción radical como foliar. La absorción radical en el caso de la variedad PR, supera por 10 kg.ha<sup>-1</sup> a la variedad V (Tablas 2 y 3).

Esta absorción ocurre básicamente durante los primeros seis meses de crecimiento, lo cual coincide con resultados presentados para plantaciones de Hawaii (5).

Tabla 1  
Formas del fósforo (mg.kg<sup>-1</sup>) en el suelo estudiado

P inorgánico	P orgánico	P total	Po moderadamente labil	Po mod. resistente
573	256	828	224	29

**Tabla 2**  
**Balance mensual de P en el subsistema planta, valores en (kg.ha<sup>-1</sup>). Variedad PR 1028**

Edad (días)	Absorción radical	Absorción foliar	Desaparición de raíces	Escurrimiento foliar
30	8.80	0.85	0.03	0.00
62	8.89	0.76	0.20	0.00
96	13.52	0.06	0.30	0.00
127	16.36	0.00	0.29	0.10
162	13.52	0.69	0.20	0.00
180	3.29	1.00	0.24	0.00
218	2.73	0.11	0.18	0.00
248	0.00	2.51	0.11	0.00
270	0.00	3.37	0.08	0.00
308	0.00	0.14	0.10	0.00
Suma	67.12	9.49	-1.73	-0.10

Balance 74.78

**Tabla 3**  
**Balance mensual de P en el subsistema planta, valores en(kg.ha<sup>-1</sup>). Variedad V 58-4**

Edad (días)	Absorción radical	Absorción foliar	Desaparición de raíces	Escurrimiento foliar
30	8.32	0.85	0.02	0.00
62	7.45	0.76	0.18	0.00
96	11.20	0.06	0.28	0.00
127	4.45	0.00	0.27	0.10
162	11.41	0.69	0.19	0.00
180	2.19	1.00	0.22	0.00
218	2.13	0.11	0.17	0.00
248	0.00	2.51	0.10	0.00
270	0.00	3.37	0.07	0.00
308	0.00	0.14	0.09	0.00
Suma	57.15	9.49	-1.60	-0.10

Balance 64,96

**Tabla 4**  
**Balance mensual (kg ha<sup>-1</sup>) de P en el subsistema suelo. Variedad PR 1028**

Edad (días)	Precipitación	Desaparición de raíces	Fert.	Quema	Lixiviación	Absorción radical	Cenizas
30	1.56	0.03	11		0.23	8.80	3.29
62	0.30	0.20			0.11	8.89	
96	0.08	0.3			0.00	13.52	
127	0.21	0.29			0.00	16.36	
162	0.24	0.20			0.33	13.52	
180	0.20	0.24			0.01	3.29	
218	0.15	0.18			0.13	2.73	
248	0.25	0.11			0.20	0.00	
270	2.47	0.08			2.07	0.00	
308	0.19	0.10		24.01	0.00	0.00	
Suma	5.64	1.73	11	24.01	-3.07	-67.12	-3.29

Balance  
-31.09

También debe destacarse que la cantidad de P absorbido por las hojas del cultivo fue considerablemente alto (9.5 kg.ha<sup>-1</sup>) (no se hizo discriminación entre las variedades), este valor es

consecuencia de los también significativos niveles de P que se encuentran en las aguas de lluvia de la zona (Tablas 6 y 7), lo que ha sido ampliamente discutido por Sequera *et al.* (25). Los altos niveles de

P en las aguas de precipitación están relacionados con la redistribución de las cenizas proveniente de la quema en el área, al igual que la presencia de una intensa actividad industrial que genera lluvias ácidas con valores de pH de 3.5-4.5 (25).

En el subsistema suelo (Tablas 4 y 5) al igual que en el subsistema planta, el flujo más importante es la extracción por absorción radical, la cual alcanza valores de 57 y 67 kg.ha<sup>-1</sup> para las variedades V y PR, respectivamente.

La recirculación del fósforo a través de las cenizas proveniente de la quema en la época de zafra, resulta en un retorno neto importante, las mismas alcanzan 19.4 y 24.0 kg.ha<sup>-1</sup> para V y PR, respectivamente,

así las quemas devuelven al sistema alrededor del 30% de los requerimientos de la caña de azúcar. Igualmente, de esas cenizas se pierden (no retornan al sistema) 2.28 y 3.29 kg.ha<sup>-1</sup> para las variedades V y PR, respectivamente. La otra pérdida importante de P del agrosistema, corresponde a las salidas por lixiviación, para las mismas, los resultados tampoco se discriminaron por variedad, el monto anual totalizado ascendió a 3.1 kg.ha<sup>-1</sup>, valor que se considera alto de acuerdo a la información de la literatura (14, 16), sin embargo este cifra no es extrañar de acuerdo a las características particulares de este ecosistema; se trata de un mollisol, con altos niveles de P total, con dominio en la fracción de Po, de P potencialmente mineralizable (Tabla 1) y por tanto susceptible de

**Tabla 5**  
**Balance mensual (kg.ha<sup>-1</sup>) de P en el subsistema suelo. Variedad V 58-4**

Edad (días)	Precipitación	Desaparición de raíces	Fert.	Quema	Lixiviación	Absorción radical	Cenizas
30	1.56	0.02	11		0.23	8.32	2.28
62	0.30	0.18			0.11	7.45	
96	0.08	0.28			0.00	11.20	
127	0.21	0.27			0.00	14.45	
162	0.24	0.19			0.33	11.41	
180	0.2	0.22			0.01	2.19	
218	0.15	0.17			0.13	2.13	
248	0.25	0.10			0.20	0.00	
270	2.47	0.07			2.07	0.00	
308	0.19	0.09		19.40	0.00	0.00	
Suma	5.64	1.60	11	19.40	-3.07	-57.15	-2.28
				Balance			
				-24.90			

**Tabla 6**  
**Balance mensual (kg.ha<sup>-1</sup>) de P en el sistema suelo. Variedad PR 1028**

Edad (días)	Precipitación	Fertilización	Lixiviación	Cosecha	Cenizas
30	2.41	11	0.23		
62	1.06		0.11		
96	0.14		0.00		
127	0.11		0.00		
162	0.94		0.33		
180	1.20		0.01		
218	0.25		0.13		
248	2.76		0.20		
270	5.84		2.07		
308	0.33		0.00	42.98	3.28
Suma	15.04	11	-3.07	-42.98	-3.28
		Balance			
		-23.30			

**Tabla 7**  
**Balance mensual (kg.ha<sup>-1</sup>) de P en el sistema suelo. Variedad V 58-4**

Edad (días)	Precipitación	Fertilización	Lixiviación	Cosecha	Cenizas
30	2.41	11	0.23		
62	1.06		0.11		
96	0.14		0.00		
127	0.11		0.00		
162	0.94		0.33		
180	1.20		0.01		
218	0.25		0.13		
248	2.76		0.20		
270	5.84		2.07		
308	0.33		0.00	37.66	2.28
Suma	15.04	11	-3.07	-37.66	-2.28
		Balance			
		-16.98			

lavarse (lixiviación) sino es rápidamente incorporado por absorción radical. El mismo fenómeno ocurriría con las formas de P que sean igualmente susceptibles de ser disueltas de los materiales calcáreos por las abundantes lluvias ácidas (27).

### Balance final y conclusiones

La cuantificación final del balance de fósforo para el agroecosistema estudiado indica que cada hectárea cultivada con la variedad Puerto Rico 1028 pierde 23.3 kg de P anualmente (Tabla 6), mientras que las pérdidas para la variedad Venezuela 58-4 fueron un poco más baja (17 kg.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>), (Tabla 7), por lo que se considera que bajo los niveles de fertilización como los suministrados para mantenimiento (11 kg.ha<sup>-1</sup>, que corresponde a 50 kg.ha<sup>-1</sup> de superfosfato triple), el sistema se encuentra en un proceso de empobrecimiento en fósforo.

Cuando se comparan los balances de fósforo del suelo con relación al sistema global, se observa que el balance neto para el suelo es más negativo, lo que se debe a que la mayor parte del P que entra al sistema por precipitación es recobrada (absorbida) por el follaje del cultivo. No obstante que experimentos preliminares indicaron que la fertilización con P en el

área de experimentación es prácticamente innecesaria (24), los balances indican pérdidas anuales, para compensar estas y evitar un empobrecimiento prematuro en P del agroecosistema, es recomendable una fertilización de al menos 25 kg.ha<sup>-1</sup>. Igualmente, si se prevé una menor incorporación por precipitación, ya que los valores aquí cuantificados fueron muy altos (15 kg.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>), (Tablas 6 y 7), la misma se podría aumentar hasta 35 kg P.ha<sup>-1</sup> (160 kg.ha<sup>-1</sup> como superfosfato triple) y así poder asegurar niveles apropiados de P en el sistema. El monto negativo del balance se debe principalmente a los altos niveles de P que se exportan vía caña molible. Estas pérdidas podrían reponerse con la aplicación de fertilizantes, sin embargo el hecho de no registrarse respuesta a la fertilización con P, indica que las reservas internas del elemento vía mineralización, así como la posible disolución de los fosfatos de calcio, operan de manera eficiente en este mollisol, generando niveles adecuados de P disponible al cultivo.

### Agradecimientos

Se agradece la colaboración técnica de A. Febres y F. Tovar. Este trabajo recibió soporte financiero parcial de CDCH-UCV, CONICIT y CENAZUCA.

### Referencias

1. Aguilar R. & Heil R.D., 1988, Soil organic carbon, nitrogen, and phosphorus quantities in northern Great Plains rangeland. *Soil Science American Journal*, 52, 1076-1081.
2. Bowman R.A. & Cole C.V., 1978, Transformation of organic phosphorus substrates in soils as evaluated by NaHCO<sub>3</sub> extraction. *Soil Science*, 125, 49-51.
3. Buhyoff J.F., Rauscher H.M., Hull R.B., Killeen K. & Kirk R.C., 1982, Statistical processing system version 4,2 for Apple II<sup>+</sup>. User's Manual U.S. Dept. of Agriculture. Forest Service. 115 pp.
4. García Benavides J. & López Díaz J., 1970, Fórmula para el cálculo de la evapotranspiración potencial adaptada al trópico. *Agronomía Tropical*, 20, 335-345.
5. Gómez Alvarez F., 1983, Caña de azúcar. Ediciones FONAIAP, Segunda Edición. Caracas. pp. 661.
6. Haas H.J., Grunes H.J.D. & Riechman G.A., 1961, Phosphorus changes in Great Plains soils as influenced by cropping and manure application. *Soil Science American Proceedings*, 25, 214-218.
7. Heilborn J. (ed), 1981, Science and engineering programs. Apple II. Edition. Osborne/McGraw-Hill. Berkeley. 223 pp.
8. Infante C., López-Hernández D., Medina E. & Escalante G., 1993, Distribución de las formas inorgánicas del nitrógeno en los flujos hídricos de un agroecosistema tropical. *Ecotropicos*, 6, 2, 13-23.
9. Jordan C.F. & Herrera R., 1981, Tropical rainforest: are nutrients really critical? *American Naturalist*, 117, 167-180.
10. Legg J.O. & Black C.A., 1955, Determination of organic phosphorus in soils. II. Ignition method. *Soil Science American Proceedings*, 19, 139-143.
11. Lima M., 1982, The nitrogen cycle in sugarcane in northeastern Brasil. PhD dissertation. University of Saskatchewan. Saskatoon. Canada pp. 171.

12. López-Hernández D., 1977, La química del fósforo en suelos ácidos. 123 p. Casa Editora: Ediciones de la Biblioteca. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
13. López-Hernández D., Espinosa M. & Niño M., 1989, Transformaciones en las fracciones de fósforo orgánico e inorgánico en un suelo calcáreo fertilizado. *Ciencia del Suelo*. Vol. 7, 1-2.
14. López-Hernández D., García M. & Niño M., 1994, Input and output of nutrients in a diked flooded savanna. *J. Applied Ecology*, 31, 303-312.
15. López-Hernández D., Brossard M. & Frossard E., 1998, P-Isotopic exchange values in relation to P<sub>o</sub> mineralization in soils with very low P-sorbing capacities. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 30, 1663-1670.
16. Montes R. & San José J.J., 1987, La capacidad bioproductiva de sabanas. San José J.J. & Montes R. (Eds). Publicación Centro Internacional de Ecología (UNESCO/UNET). pp 545.
17. Murphy J. & Riley J., 1962, A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta.* 27, 31-36.
18. Olson J.S., 1963, Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 44, 322-330.
19. Ovalles O., 1983, Informe técnico sobre aspectos edafológicos, climatológico y agroeconómicos de la zona de caña del área de influencia del Central Río Yaracuy. Mimeografiado. pp.86.
20. Pulido R., 1987, Mineralización de nitrógeno y pérdidas de nutrientes por quema en un campo de caña de azúcar. Trabajo especial de grado. Escuela de Biología U.C.V. pp. 111.
21. Ruiz J. & López-Hernández D., 1977, La mineralización del fósforo orgánico en cuatro series de suelos venezolanos. *Acta Cient. Venez.* 28, 133-137.
22. Sánchez Carrillo J. & Quintero J.O., 1981, Humedad del suelo en el campo experimental del CENIAP-Maracay. X Jornadas Agronómicas. San Cristobal. 9 pp.
23. San José J.J. & Medina E., 1970, Análisis de la productividad de la caña de azúcar. I. Crecimiento desarrollo de la superficie foliar y contenido de clorofila de caña de azúcar PR 980. *Turrialba*, 20, 2, 143-148.
24. Sequera P.E., López-Hernández D. & Medina E., 1984, La producción de caña de azúcar en el Valle del Río Yaracuy. Caracas, EDICANPA. pp. 135.
25. Sequera D., López-Hernández D. & Medina E., 1991, Phosphorus dynamics in a sugar-cane crop. *In: International Workshop: Phosphorus cycles in terrestrial and aquatic ecosystems. Regional Workshop 3: South and Central America. Workshop SCOPE and UNEP.* Tiessen H., López-Hernández D. & Salcedo I. (Eds). Published by the University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada.
26. Sokal R.R. & Rohlf F.J., 1969, *Biometry*. Freeman and Company. San Francisco. 776 pp.
27. Tamm C.D. & Cowling E.B., 1977, Acidic precipitation and forest vegetation. *Water, Air and Soil Pollution*, 7, 4, 503-511.
28. Tiessen H., Stewart J.W.B. & Cole C.V., 1984, Pathways of phosphorus transformation in soil of different pedogenesis. *Soil Science American Journal*, 48, 853-858.
29. Thornthwaite W.C. & Mather J.R., 1957, Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance. *Publications in Climatology*. Volume X. Concerpton, New Jersey. N.Y. USA.
30. Vallejo-Torres O. & López-Hernández D., 2001, Micronutrient content in sugarcane ashes and its effect in a sugarcane agroecosystem. *Comm. in Soil Sci. and Plant Anal.* 32, 409-419.

---

López -Hernández D., Venezuelan, Licenciado en Biología, PhD Soil Science London University, Profesor Titular e Investigador Universidad Central de Venezuela y del CEDAT, Universidad Simón Rodríguez.

Sequera D., Venezuelan, Ingeniero Agronomo, PhD en Ecología, Universidad Central de Venezuela, Investigador Asociado Instituto de Zoología Tropical, UCV.

Medina E., Venezuelan, Licenciado en Biología, PhD Agronomía, Universidad de Hohenheim, Profesor Titular e Investigador IVIC.