

# Estabilidad de fitoestimulantes foliares suplementados con urea como fuente de nitrógeno. Influencia de su concentración y del contenido de sólidos totales

Manuel Díaz-de los Ríos\*, Tania García-Martínez, Marlen Lorenzo-Maiquez, Ivis Morales-Pérez, Mercedes Reynosa-Blanco y Sheila Quesada-Pestano

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca).  
Via Banca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.  
\*manuel.diaz@icidca,azcuba.cu

---

## RESUMEN

En el presente trabajo se exponen algunos aspectos a considerar durante el diseño de bioestimulantes agrícolas líquidos, particularmente aquellos que contienen urea como fuente de nitrógeno y partículas en suspensión. La hidrólisis de la urea en medio acuoso favorece la formación de dióxido de carbono y amoníaco, los que generan presión en los envases. Aunque las pérdidas de urea por este concepto son inferiores al 0.2 % en 100 días, aún en formulaciones concentradas, la imagen del producto puede resultar afectada. Sin embargo, el aumento de la concentración de sólidos favorece la homogeneidad de las suspensiones acuosas, pues se reduce la diferencia de densidades entre las partículas suspendidas y su solución madre con la consecuente reducción de la velocidad de sedimentación.

**Palabras clave:** bioestimulantes, urea.

---

## ABSTRACT

Some aspects during the design of agricultural liquids bioestimulants are considered in this work, particularly those which use urea as nitrogen source and have suspended solids. Urea hydrolysis in aqueous medium leads to carbon dioxide and ammonia formation which generate pressure inside storage vessels. Although urea loss because that is lower than 0.2 % in 100 days, even in concentrated formulations, commercial product image may be damage. Nevertheless, products with higher solid concentration lead to more stable suspensions because density difference between solid particles and its mother liquids is reduced consistent with the reduction of gravitational sedimentation speed.

**Key words:** bioestimulators, urea

## INTRODUCCIÓN

El empleo de bioestimulantes y fitoestimulantes de aplicación foliar en la agricultura es una disciplina joven, cuyo primer congreso mundial tiene apenas seis años, y su tercer congreso internacional se celebró en noviembre de 2017, en Miami. El desarrollo de nuevos bioestimulantes alcanza cada día un mayor interés, aunque aun se investigan las bases biológicas de sus modos de acción y se discute acerca del significado o nivel de inclusión en el concepto de "Bioestimulante". Una excelente revisión bibliográfica sobre el tema, donde se analizan aspectos con-

ceptuales, la clasificación de los bioestimulantes, los métodos y tecnologías de obtención y principios activos, entre otros aspectos ha sido presentado por Yakhin, O.I. *et al.* (1).

Muchos bioestimulantes, cuyo principio biológicamente activo fundamental es de origen diverso y responden, por tanto, a un determinado mecanismo de acción que incide en la fisiología del cultivo en cuestión donde se aplique, es suplementado con macronutrientes basados en nitrógeno, fósforo y potasio (N:P:K) para potenciar el efecto de los mismos. Dicha suplementación es efectuada con algunos de los fertilizantes portadores de estos compuestos, usualmente empleados en la agricultura, cuya

selección se fundamenta en factores tecnológicos, económicos y de mercado.

El empleo de urea como fuente de nitrógeno resulta particularmente atractivo, dado el alto contenido en su molécula (46 %), su elevada solubilidad en agua y su relativo bajo precio, en comparación con otros fertilizantes aportadores de nitrógeno. Sin embargo, la relativa facilidad con la que la urea se hidroliza en medio acuoso es un aspecto a considerar en el diseño del producto, así como el envase y estabilidad del mismo, durante el almacenamiento. Otro factor importante radica en la posibilidad de descomposición de la materia orgánica presente en el bioestimulante, particularmente su degradación anaerobia. La ocurrencia de uno u otro fenómeno deberán ser investigados durante el diseño del nuevo producto.

Otros aspectos asociados a las ventajas y desventajas del empleo de la urea y la concentración de sólidos solubles y suspendidos en la formulación son presentados en el presente trabajo.

### Hidrólisis de la urea y reacciones asociadas

Desde inicios del siglo XX se dispone de evidencias sobre la hidrólisis química de la urea en medio ácido y básico y la misma transcurre a través de un mecanismo complejo que involucra la formación de iones cianatos como intermediarios. Sin embargo, la descripción de su mecanismo y cinética por diversos autores no es del todo coincidente. Warner, R.C., (2) investigó la hidrólisis de la urea bajo diversas condiciones de pH a dos temperaturas diferentes y ratifica la presencia del ion cianato como intermediario fundamental, así como su ulterior descomposición en dióxido de carbono y amoníaco. Un segundo intermediario de la reacción es el ión carbamato; sin embargo, bajo las condiciones de reacción investigadas por Warner, su formación no resultó de significancia cuantitativa, ni la naturaleza reversible de la formación de urea a partir del ión cianato debido a la rápida hidrólisis del cianato en medio ácido. Más adelante Shaw, W.H.R. y Bordeaux, J.J. (3), aportaron información adicional sobre la entropía y energía de activación de la reacción.

El reconocimiento de la presencia del ión cianato en el mecanismo de hidrólisis de la urea llevó a varios investigadores a estudiar de forma particular la descomposición de dicho ión en solución acuosa. Kemp, I.A. (4) mediante el estudio de varios cianatos salinos, determinó la cinética de formación simultánea de urea y carbonato, evidenciando el carácter reversible del proceso. Un estudio similar fue desarrollado por Jensen, M.B. (5, 6) sobre la descomposición del ácido ciánico y cianatos en solución acuosa a pH entre 0 y 7, cuya reacción conduce también a la formación de dióxido de carbono y amoníaco.

Un estudio más reciente de Wen, N. y Brokeer, M.H. (7) ratifica el carácter complejo del mecanismo de la hidrólisis del ión cianato para formar carbonato, amonio y la posterior conversión de este en urea, así como la existencia de una reacción de equilibrio entre el carbonato y el ion amonio para formar carbamato.

Khan, Z. (8) investigó el mecanismo de la hidrólisis alcalina de la urea y el cianato de sodio. Plantea que en medio alcalino el ión cianato es un intermediario estable, mientras que la reacción global puede ser expresada en dos pasos de reacción cuyas constantes son independientes de la concentración de urea.

En los últimos años el monitoreo de la composición de la atmósfera ha permitido detectar mediciones de ácido isociánico en la misma, lo que ha reactivado el interés por los factores cinéticos que originan la aparición de este compuesto y su volatilización, donde la hidrólisis de la urea juega un rol fundamental, dada la cantidad de este compuesto empleado por la agricultura a nivel internacional. Por tal motivo, Borduas, *et al.*(9) han realizado una importante revisión de la cinética del ácido ciánico en fase acuosa y su volatilización.

El análisis de esta amplia información cinética es complicado, por cuanto existen varias formulaciones sobre el mecanismo de reacción, su carácter iónico o molecular y la forma de manifestarse la hidrólisis química en dependencia del pH del medio y la fortaleza iónica del medio. En los últimos años la hidrólisis de la urea a altas temperaturas ha venido ganando interés debido a la capacidad del amoníaco para la captación de CO<sub>2</sub> y otros gases contaminantes (10 - 12).

Esta propiedad de las aminas de capturar el CO<sub>2</sub> resultante de la combustión y su empleo en tecnologías de limpieza de gases ha propiciado el interés por el estudio de la termodinámica y química-física del sistema ternario CO<sub>2</sub>-NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O, cuya complejidad se magnifica por la presencia simultánea de especies iónicas como H<sup>+</sup>, OH<sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NH<sub>2</sub>COO<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, así como la formación, ya mencionada, de carbamato y la reacción del CO<sub>2</sub> con el amoníaco (13). La cinética de absorción del CO<sub>2</sub> en solución acuosa de NH<sub>3</sub> ha sido estudiada por Derks, P.W.J. y Versteeg, G.F. (14), mientras que la reversibilidad de esta reacción es reportada por Wang, X. *et al.*, (15).

Para el caso de los fitoestimulantes objeto de estudio, los que constituyen una mezcla de aminoácidos solubles en agua suplementados con N:P:K y donde la presencia de especies salinas de estos macronutrientes es factible, mediante su protonación para lograr un equilibrio iónico, la complejidad del sistema se potencia dada la presencia de un grupo amino reactivo frente al CO<sub>2</sub> (16).

En la tabla 1 se resumen los parámetros cinéticos reportados por cada uno de los estudios referenciados. El análisis de la literatura evidencia que

**Tabla 1.** Resumen de información cinética reportada y/o estimada

<b>R1: Hidrólisis de la urea</b>				
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \text{ -----} \rightarrow \text{OCN}^- \quad (8)$				
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \text{ -----} \rightarrow \text{NH}_4\text{COONH}_2 \text{ <----} \rightarrow 2\text{NH}_3 + \text{CO}_2 \quad (12)$				
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \text{ -----} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OCN}^- \quad (2)$				
<b>R2: Formación de urea</b>				
$\text{NH}_4^+ + \text{OCN}^- \text{ -----} \rightarrow \text{CO}(\text{NH}_2)_2 \quad (4)$				
$3\text{OCN}^- + 3\text{H}_2\text{O} \text{ -----} \rightarrow \text{H}_2\text{NCOO}^- + \text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{CO}_3^{2-} \quad (7)$				
<b>R3: Descomposición del ion cianato</b>				
$\text{OCN}^- \text{ -----} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{CO}_2 \quad (8)$				
<b>R4: Formación de carbonato</b>				
$\text{OCN}^- + 2\text{H}_2\text{O} \text{ -----} \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{NH}_4^+ \quad (4)$				
$\text{OCN}^- \text{ -----} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{HCO}_3^- \quad (9)$				
$\text{OCN} + 2\text{H}_2\text{O} \text{ -----} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{HCO}_3^- \quad (5, 6)$				
<b>R5: Hidrólisis y descomposición del ácido ciánico e ion cianato</b>				
$\text{HOCN} \text{ -----} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{CO}_2 \quad (9)$				
$\text{HOCN} + \text{H}_3\text{O}^+ \text{ -----} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{CO}_2 \quad (17)$				
$\text{HOCN} + \text{H}^+ \text{ -----} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{CO}_2 \quad (9)$				
$\text{HOCN} + \text{H}_2\text{O} \text{ -----} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{CO}_2 \quad (5, 6)$				
$\text{HOCN} + \text{H}_3\text{O}^+ \text{ -----} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{CO}_2 \quad (5, 6)$				
R	Expresión cinética	Ea (J/mol.K)	K0 (min <sup>-1</sup> )	Ref. Bibliog.
R1	$k_1[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$	63730	7.55E5	(8)
	$k_1[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$	60930	4.259E5	(9, 11)
	$k_1[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$		2.05E-3 a 306K 1.147E-1 a 373K Promedios a pH 2-12	(2)
R2	$k_2[\text{OCN}^-]^2$	97552	1.59E14	(4)
	$k_2[\text{OCN}^-][\text{NH}_4^+]$		4.63E-4 a 295K	(7)
R3	$k_3[\text{OCN}^-]$	53340	1.957E5	(8)
R4	$k_4[\text{OCN}^-][\text{H}^+]$	61127	1.594E13	(4)
	$k_4[\text{OCN}^-]$	90512	4.342E10	(9)
	$k_4[\text{OCN}^-]$		2.67E-4 a 295K	(7)
	$k_4[\text{OCN}^-]$	100000	7.2E-9 a 298K	(5, 6)
R5	$k_5[\text{HOCN}][\text{H}]$	49884	2.641E9	(9)
	$k_5[\text{HOCN}][\text{H}^+]$	63000	6.6E-2 a 298K	(5)
	$k_5[\text{HOCN}][\text{H}^+]$	60709	3.151E11*	(17)
	$k_5[\text{HOCN}]$	83000	1.08E-5 a 298K	(5)
	$k_5[\text{HOCN}]$	56250	5.332E8	(9)

Nota: \* Estimados para k a 1.5, 13.1 y 25.5 C

la hidrólisis de la urea en medio ácido o básico (R1) transcurre a velocidades diferentes, pero con la formación de los intermediarios cianato o carbamato según estudios de Sahu (10, 11), así como la formación de amoníaco y su forma disociada  $\text{NH}_4^+$  dicha etapa posee un carácter reversible (R2), aunque la reacción inversa posee una mayor energía de activación y factor de frecuencia, por lo que predomina la tendencia a la descomposición de la urea.

Por otro lado, el ion cianato conduce en paralelo a la generación de  $\text{NH}_3$  y  $\text{CO}_2$  (R3) y a la formación de carbonatos en sus formas de  $\text{CO}_3^-$  o  $\text{HCO}_3^-$  (R4), según estudios de diversos autores.

La presencia de ácido isocianico como forma no disociada del ion cianato conduce a la posible reacción de hidrólisis de este con la consecuente formación de amoníaco gaseoso y soluble en la fase líquida (R5). La diversidad de reacciones posibles, debido a la hidrólisis de la urea y a la presencia de posibles equilibrios químicos entre las especies involucradas en un sistema cuya presión resulta cambiante durante su almacenamiento, ratifica la existencia de un sistema verdaderamente complejo y variable en el tiempo, a pesar de no mostrar un efecto negativo en las características nutricionales y metabólicas del bioestimulante suplementado con urea como fuente de nitrógeno.

## MATERIALES y MÉTODOS

Los bioestimulantes estudiados, compuestos por una mezcla de diversos aminoácidos, suplementados con fósforo, potasio y nitrógeno, este último aportado por urea, fueron formulados a dos concentraciones diferentes. La composición de los mismos se resume en la tabla 2.

Para la evaluación de la estabilidad de los bioestimulantes se planificaron tres tipos de experimentos:

1. Seguimiento en paralelo de muestras de bioestimulantes a dos niveles de concentración de materia seca herméticamente selladas para evaluar

las pérdidas de peso en balanza analítica, debido a la hidrólisis de la urea y el consecuente escape de gases con la apertura de las muestras.

2. Montaje de una muestra única en un recipiente de vidrio de 15 litros de capacidad, para el seguimiento de forma semicontinua de las variaciones en la presión (semanal).
3. Diversas muestras testigos de la producción fueron evaluadas en lo referente al contenido de sólidos totales y pH, con el propósito de medir los cambios sufridos respecto a la caracterización inicial.

Todos los ensayos fueron evaluados mediante el empleo de las mismas técnicas analíticas: determinación de pH, densidad a 20 °C evaluada con densímetros (1,180 -1,240 g/ml), sólidos totales mediante balanza de humedad y secado a peso constante a 60 °C.

Análisis microbiológico mediante la determinación del número de células viables en las muestras: se preparan diluciones decimales seriadas en solución de salina fisiológica o  $\text{H}_2\text{O}$  destilada estéril a partir de la muestra bajo estudio. Se siembran placas, las que se incuban en posición invertida a la temperatura y durante el tiempo requerido para el grupo microbiano bajo estudio.

Bacterias: se incuban a 37 °C, durante 24 - 48 horas.

Hongos o levaduras: se incuban a 30 °C, durante 5 días.

Para el recuento de UFC/mL se seleccionan las placas donde el número de colonias de bacterias se encuentre entre 30-300 y las levaduras y hongos entre 15 y 150, con una distribución adecuada y se leerán bajo un contador de colonias. Fuera de estos rangos el conteo se rechaza por sobre aglomeración o por error estadístico por debajo del límite inferior.

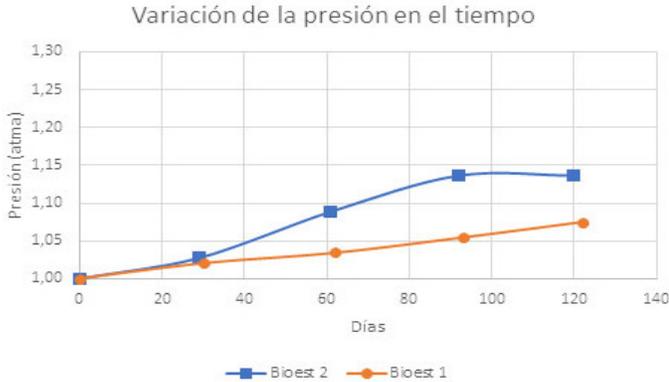
La determinación de la composición de los gases generados se realizó con un analizador de gases GA2000 de Geotechnical Instruments (UK) Ltd.

**Tabla 2.** Composición de los bioestimulantes estudiados **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Propiedad	Bioest. 1	Bioest. 2
Materia orgánica (%)	10.40	16.40
$\text{K}_2\text{O}$ (%)	4.65	7.35
$\text{P}_2\text{O}_5$ (%)	2.70	4.25
N (%)	5.96	9.40
pH	1.87	1.81
Densidad (g/L)	1.15	1.24
Sólidos totales (%)	33	55

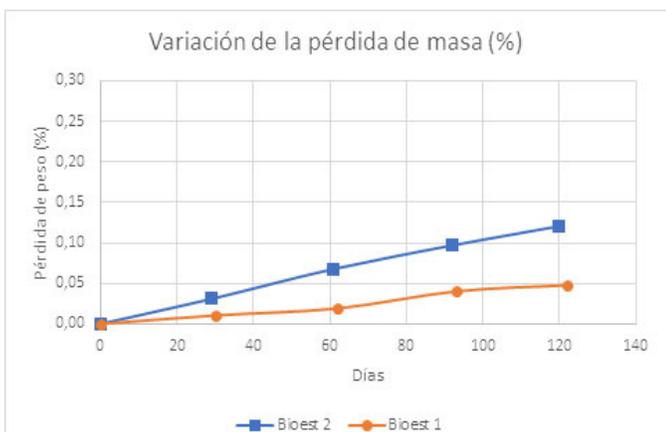
Los ensayos de medición de composición de los gases reportaron la formación de  $\text{CO}_2$  como componente mayoritario, la no formación de metano y trazas de hidrógeno, lo que unido a la evaluación negativa de los ensayos microbiológicos permite concluir que la presencia de gases en los frascos de almacenamiento, no es resultado de una descomposición anaerobia de la materia orgánica presente y sí de la hidrólisis de la urea, a pesar del bajo nivel de pH del medio (<2).

Para la determinación de la variación de la presión se planificaron experimentos de pequeña escala con fitoestimulantes suplementados con urea a dos concentraciones diferentes de contenido de sólidos (33 y 53 %) a los que se le efectuaron determinaciones mensuales de la presión, el pH y el contenido de sólidos; la variación de la presión en los mismos aparece reportada en la figura 1.



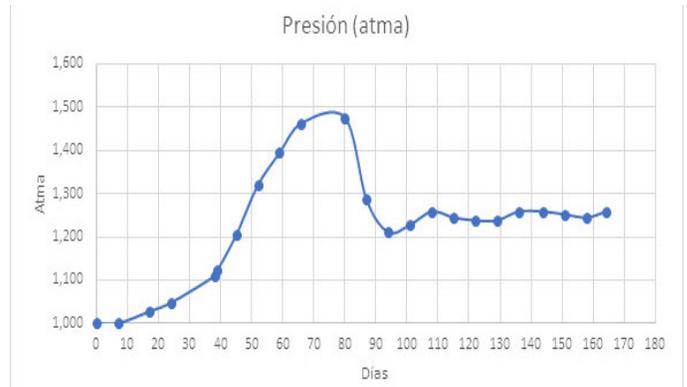
**Figura 1.** Variación de la presión de dos formulaciones de bioestimulantes con concentraciones diferentes de urea y sólidos totales.

En la gráfica se evidencia que en el producto Bioest 2, la presión generada en el recipiente es superior, lo que es indicativo de una mayor formación de gases, correspondiente a una mayor cantidad de urea hidrolizada por disponer esta formulación de un mayor contenido de la misma. Sin embargo, en la figura 2 se muestran los cambios porcentuales de pérdida de materia por concepto de escape de los gases  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_4$  y vapor de agua. Se observa que las pérdidas, aún en las formulaciones concentradas son inferiores al 0.2 % al cabo de los 100 días de producidas, lo que explica que aún cuando el producto se aplique con posterioridad a los 100 día de producido, su efecto sobre las plantas sigue siendo positivo (18), por cuanto las pérdidas de nitrógeno por concepto de la hidrólisis de la urea no son sensibles.



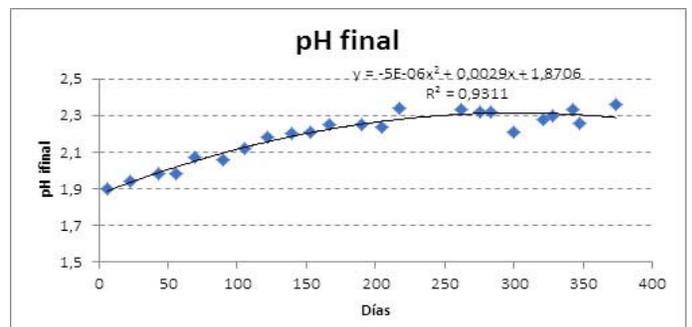
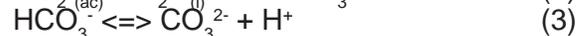
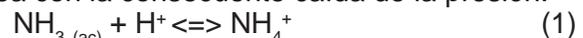
**Figura 2.** Pérdida de peso en el tiempo de bioestimulantes a dos concentraciones diferentes de sólidos totales.

Para disponer de una información más precisa de las variaciones en la presión que sufren estos productos en el interior de sus envases se le dió seguimiento de forma semicontinua a 10 litros de un bioestimulante concentrado (12.24 kg), conectando el mismo a un manómetro diferencial de mercurio. Los resultados de estas mediciones se ilustran en la figura 3.



**Figura 3.** Variación de la presión en un recipiente de Bioest concentrado (53 % de sólidos totales).

En la misma se aprecia una cierta oscilación de la presión, lo cual puede ser explicado a partir de los modelos de equilibrio del sistema  $\text{CO}_2$ - $\text{NH}_3$ - $\text{H}_2\text{O}$  (ecuaciones 1-4). En la medida en que la urea se hidroliza se produce la formación de  $\text{CO}_2$  y  $\text{NH}_3$  (R1) con el consecuente incremento de la presión al ocurrir la hidrólisis en un recipiente herméticamente cerrado. Dicho incremento de la presión favorece la solubilidad del  $\text{NH}_3$  en el medio, desplazando el equilibrio de la reacción R1 hacia la formación del ion  $\text{NH}_4^+$ , el que favorecido por la elevación de la solubilidad del  $\text{CO}_2$  con el incremento del pH, desplaza el equilibrio descrito por R2 hacia la formación de urea con la consecuente caída de la presión.

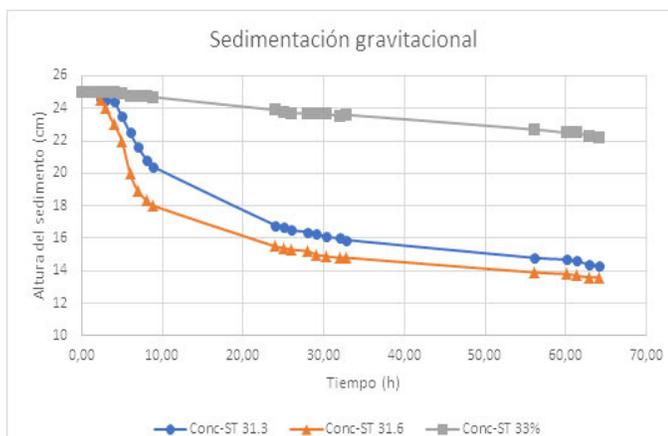


**Figura 4.** Variación del pH en el tiempo de muestras testigos de Bioest 1 almacenadas durante un año.

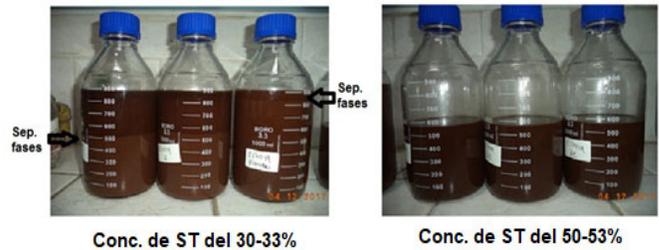
Como se ha mencionado, el pH de estos bioestimulantes, basados en la inclusión de urea como fuente adicional de nitrógeno, cambia durante el tiempo. Estas variaciones se muestran en la figura 4. La variación del pH se asocia a la formación de carbonatos durante la hidrólisis de la urea.

Si bien la presencia de urea y el incremento de la concentración muestran como efecto negativo la formación de  $\text{CO}_2$  y  $\text{NH}_3$  como resultado de su hidrólisis gradual, se debe señalar que, adicionalmente a las ventajas económicas que representa una reducción en el consumo de agua, el incremento de la concentración de sólidos solubles aporta ventajas a la calidad de estos formulados, particularmente en aquellas formulaciones con cierto contenido de materias orgánicas suspendidas, como es el caso de los hidrolizados proteicos de origen vegetal o animal empleados como fuente de aminoácidos en el diseño de bioestimulantes agrícolas.

La elevación de la concentración de sólidos solubles permite reducir la diferencia de densidad entre las partículas sólidas suspendidas y el medio líquido portador, dificultando su precipitación de acuerdo a la ley de Stokes y originando una suspensión estable, lo que favorece la imagen y calidad del producto (figuras 5 y 6). En la figura 5 se observa que cuando las formulaciones de bioestimulantes poseen concentraciones de sólidos totales en el orden del 30 % se produce una sedimentación gravitacional de las partículas sólidas suspendidas con la consecuen-



**Figura 5.** Sedimentación gravitacional de dos formulaciones a concentraciones del orden de 30-33 % de sólidos totales.



**Figura 6.** Formulados al 30-33 % de ST y al 50-53 % de ST.

te separación de fases, lo que afecta la imagen del producto y condiciona la necesidad de su agitación previa al empleo. Sin embargo, la elevación de la concentración de sólidos hasta el 50-53 % garantiza la homogeneidad de la suspensión, proporcionando un bioestimulante de suspensión estable (figura 6).

Aunque la fertilización foliar con bioestimulantes que contienen urea como fuente de nitrógeno ha demostrado ser efectiva (16), pues su hidrólisis garantiza también la presencia de iones  $\text{NH}_4^+$ , que junto al  $\text{NO}_3^-$  constituyen las formas asimilables de nitrógeno por las plantas (19), el empleo de otras fuentes de nitrógeno, cuya disociación en agua favorezca la presencia de estas formas iónicas, pudiera paliar los inconvenientes del empleo de la urea en bioestimulantes foliares acuosos.

## CONCLUSIONES

En el estudio se demuestra que la presencia de gases en los bioestimulantes ricos en materia orgánica y suplementados con urea son el resultado de la hidrólisis de la urea y no de la descomposición de los aminoácidos y otros compuestos orgánicos presentes en el producto. Si bien la presión generada en los envases se incrementa con el aumento de la concentración de urea, la uniformidad de las suspensiones presentes, en caso de existir, se ve favorecida por la disminución en la velocidad de sedimentación de las partículas suspendidas con el aumento de la concentración del licor madre. Se recomienda, durante el diseño de nuevos bioestimulantes foliares, evaluar el empleo de otras fuentes de nitrógeno.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Yakhin, O.I.; Lubyantsev, A.A.; Yakhin, I.A.; Brown, P.H. "Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective", *Frontiers in plant science*, Volume 7, Article 2049, pp.1-32, 2017
2. Warner, R.C. "The kinetics of hydrolysis of urea and arginine", *J. Biol. Chem.*, pp.705-723, 1942
3. Shaw, W.H.R.; Bordeaux, J.J. "The decomposition of urea in aqueous media", *J. Am Chem. Soc.*, 77, pp. 4729-4733, 1955.

4. Kemp, I.A. "The decomposition of cyanate ions in aqueous" solution, PhD Thesis, Durham University, 1956, HYPERLINK "<http://etheses.dur.ac.uk/9024>."
  5. Jensen, M.B. "On the kinetics of decomposition of cyanic acid", *Acta Chem. Scand*, 8, pp.1657-1670, 1958.
  6. Jensen, M.B. "On the kinetics of decomposition of cyanic acid II", *Acta Chem. Scand*, 13, pp.659-664, 1959.
  7. Wen, N.; Brooker, M.H. "Rate constants for cyanate hydrolysis to urea: A Raman study", *Can. J. Chem.*, 72, pp. 1099-1106, 1994.
  8. Khan, Z. "Kinetics and mechanism of alkaline hydrolysis of urea and sodium cyanate", *Indian Journal of Chemistry*, December, pp.116-1119, 1996.
  9. Borduas, N.; Place, B.; Wentworth, G. R.; Abbatt, J. P. D.; Murphy, J. G. "Solubility and reactivity of HNCO in water: insights into HNCO's fate in the atmosphere", *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 703–714, 2016.
  10. Sahu, J.N.; Mahalik, K.; Patwardhan, A.V.; Meikap, B.C. "Equilibrium and Kinetic Studies on the Hydrolysis of Urea for Ammonia Generation in a Semibatch Reactor", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 47, pp.4689–4696, 2008
  11. Sahu, J.N.; Hussain, S.; Meikap, B.C. "Studies on the hydrolysis of urea for production of ammonia and modeling for flow characterization in presence of stirring in a batch reactor using computational fluid dynamics", *Korean J. Chem. Eng.*, 28, 6, pp.1380-1385, 2011.12.
  12. Gargurevich, I.A. "Aqueous urea decomposition reactor: Reaction modeling and scale up", *Journal of chemical engineering & process technology*, 7, 2, pp.288-290, 2016.
  13. Darde, V.; van Well, W.J.M.; Erling, H.; Stenby, E.; Thomsen, K., "Modeling of Carbon Dioxide Absorption by Aqueous Ammonia Solutions Using the Extended UNIQUAC Model", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 49, pp. 12663–12674, 2010.
  14. Derks, P.W.J.; Versteeg, G.F. "Kinetics of absorption of carbon dioxide in aqueous ammonia solutions", *Energy Procedia*, 1, pp.1139-1146, 2009.
  15. Wnang, X.; Conway, W.; Fernandes, D.; Lawrance, G.; Burns, R.; Puxty, G.; Maeder, M. "Kinetics of reversible reaction of CO<sub>2</sub> (aq) with ammonia in aqueous solution", *J. Phys. Chem. A*, jun 23, 115, 24, pp-6405-6412, 2011.
  16. Van Holst, J.; Versteeg, G.F; Brillman, D.W.F.; Hogendoorn, J.A. "Kinetic study of CO<sub>2</sub> with various aminoacid salts in aqueous solution", *Chemical Engineering Science*, 64, pp.59-68, 2009.
  17. Lister, M.W. "Some observations on cyanic acid and cyanates", *Canadian Journal of Chemistry*, 33 (2), pp. 426-440, 1955.
  18. Gallego, R.F. "Comportamiento de la caña de azúcar (*Saccharum spp*) ante la aplicación de un fitoestimulante de producción nacional", Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, La Habana, Instituto de Ciencias Agrícolas, 2016.
  19. Chávez, M. "El nitrógeno, fósforo y potasio en la caña de azúcar", Liga agrícola industrial de la caña de azúcar; dirección de investigación y extensión de la caña de azúcar –DIECA, Sep 1999, San José, Costa Rica.
-