

# La estruvita: el problema que puede convertirse en solución

Antonio Bell-García\* y Caridad Suárez-Machín

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).

Vía Blanca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón. La Habana, Cuba.

\*antonio.bell@icidca.azcuba.cu

## RESUMEN

Los residuos han sido tradicionalmente considerados un problema, tanto para quien los genera, como para la sociedad en general. Los residuales derivados del proceso de la industria azucarera contienen elevadas concentraciones de fósforo y nitrógeno. Actualmente, estos nutrientes se pierden tras la depuración, pero existe la posibilidad de recuperarlos gracias al mineral estruvita, también conocido como fosfato de amonio y magnesio, y que puede ser obtenido de forma controlada.

El objetivo de este trabajo es estudiar los factores que influyen en la cristalización de la estruvita en los residuales de la industria azucarera, para la recuperación del exceso de potasio, fósforo, magnesio y nitrógeno amoniacal y su posterior utilización como fertilizante, ya sea aplicado de forma directa o con la obtención de fertilizantes, que significaría alternativas a otros productos comerciales similares.

**Palabras clave:** estruvita, residuales, obtención, factores, influencia.

## ABSTRACT

Wastes has traditionally been considered as a problem, both for those who generate it and for society as a whole. The residuals derived from the process of the sugar industry contain high concentrations of phosphorus and nitrogen. Currently, these nutrients are lost after the purification, but there is the possibility of recovering them thanks to the struvite mineral, also known as ammonium and magnesium phosphate, and that can be obtained in a controlled manner. The objective of this work is to study the factors that influence the crystallization of struvite in the residuals of the sugar industry for the recovery of excess potassium, phosphorus, magnesium and ammoniacal nitrogen and its subsequent use as fertilizer, whether applied directly or with obtaining fertilizers, which would mean alternatives to other similar commercial products.

**Key words:** Struvite, residuals, obtaining, factors, influence.

## INTRODUCCIÓN

Los residuales resultantes de los procesos industriales azucareros contienen elevadas concentraciones de fósforo y nitrógeno. Actualmente, estos nutrientes se pierden tras la depuración, pero existe la posibilidad de recuperarlos gracias al mineral de estruvita, que se puede obtener de forma controlada. Se trata de un cristal que puede emplearse directamente como fertilizante sobre nuestros campos de cultivo y, que supone ventajas con respecto a los fertilizantes habituales, sobre todo desde el punto de vista económico.

La Asociación española de fabricantes de agronutrientes (AEFA) afirma que la estruvita es un fosfato amónico magnésico que se encuentra asociado a la materia orgánica y cristaliza en condiciones anaerobias por la acción bacteriana. Se encuentra en los estiércoles, lodos de depuradoras, fracción orgánica de residuos domésticos, efluentes de industrias alimentarias, mataderos, etc.

La cristalización de la estruvita ( $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  o  $\text{KMgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) se forma por un proceso espontáneo, que ocurre de forma habitual en las depuradoras, tras el proceso de digestión que, de hecho, constituye un problema técnico, pues se acumula en tuberías y depósitos y causa obstrucciones e inutiliza las instalaciones que, a su vez, provoca aumentos importantes en los costos de mantenimiento Struvia™ (1).

El control de la cristalización de la estruvita en los residuales de la industria azucarera (recuperando el exceso de K, P, Mg y amoníaco) y su posterior utilización como fertilizante, ya sea aplicado de forma directa o con la obtención de un producto fertilizante de liberación lenta, debido a la baja solubilidad en el agua, junto a la posibilidad de elaborar pre-mezclas minerales, para la formulación de alimento animal, pueden constituir soluciones alternativas a otros productos comerciales similares para estos fines y abaratar los costos en el sector agropecuario y azucarero.

El objetivo de este trabajo es estudiar los factores que influyen en la cristalización de la estruvita en los residuales de la industria azucarera, para la recuperación del exceso de potasio, fósforo, magnesio y nitrógeno amoniacal.

## DESARROLLO

La estruvita se forma a partir de una concentración equimolar de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Mg}_2^+$  y  $\text{PO}_4^{3-}$ , de acuerdo con la siguiente reacción:



La precipitación de estruvita es controlada por el pH, grado de sobresaturación, temperatura, presencia de otros iones (Ca, Fe), velocidad de agitación, relación  $\text{Mg}^{2+}:\text{PO}_4^{3-}$  y tiempo de reacción (2, 3).

### Factores que influyen en el proceso de formación de la estruvita

- pH: El control del pH del cristalizador se logra adicionando un álcali que neutralice la generación de hidrogeniones, para ello se suele utilizar NaOH. Para aquellas corrientes de aguas con alto contenido en dióxido de carbono disuelto, como las procedentes de reactores anaerobios metanogénicos o digestores de lodos, se puede realizar la neutralización de los hidrogeniones formados mediante la progresiva desorción del dióxido de carbono disuelto en dichas corrientes de agua, usando para ello sistemas de desorción o stripping, mediante aireación del agua residual a tratar, en la corriente de entrada de agua residual, antes de su introducción en el cristalizador o en el propio sistema de cristalización. Este debe oscilar entre 6.8-8.2 (4).
- Grado de sobresaturación: La sobresaturación es la fuerza impulsora que provoca la formación y posterior crecimiento de los cristales en una disolución. El grado de saturación de nitrógeno, fósforo y magnesio, debe ser la adecuada.
- Relación molar  $\text{Mg}^{2+}:\text{PO}_4^{3-}$ . Se ha demostrado que aumenta la eficiencia en la eliminación del fósforo si aumenta la relación Mg/P. Se plantea que la relación óptima Mg/P es 1.3 y que un exceso de magnesio en el medio no tiene un efecto significativo en la mejora del proceso de cristalización.
- Temperatura: La estruvita es térmicamente inestable a temperaturas superiores a los 50 °C y puede perder parte o todas las moléculas de amonio y agua en función de la temperatura alcanzada. Este factor influye tanto en la constante de solubilidad como en la velocidad de reacción, por lo que la precipitación de la estruvita es más difícil de obtener a altas temperaturas (5).

- Presencia de iones extraños: Se puede citar, por ejemplo, que la presencia del ion calcio puede perturbar la morfología y pureza del producto final, aunque no afecta a la precipitación del fósforo (6).

La interacción entre los iones calcio y magnesio puede inhibir la formación del fosfato de calcio o de la estruvita, en dependencia de las concentraciones relativas de estos iones (7).

Las vinazas de destilería son los efluentes líquidos más contaminantes del sector azucarero, por su gran volumen de generación, alta carga orgánica y color oscuro, lo que hace muy difícil su degradación.

La tabla 1 muestra la composición química promedio de las vinazas de destilerías en Cuba.

**Tabla 1.** Composición media de los residuales de alcohol, a partir de diferentes sustratos (8). Fuente: (9)

Determinación	Vinaza-Mieles	Vinaza-Jugos
DQO (g/l)	71. 20	35. 06
DBO (g/l)	30. 00	18. 00
pH	4.47	3.78
ST (g/l)	52. 67	24. 86
STF (g/l)	12. 61	4. 20
STV (g/l)	40.06	20.66
Sulfatos (g/l)	2.9	1.56
Nitrógeno (g/l)	0.21	0.38
Potasio (g/l)	2.5-4.3	0.13-1.5
Fósforo (g/l)	0.21	0.27
Calcio (g/l)	0. 55	0. 59
STV/ST(g/l)	0.75	0.83
Volumen (m <sup>3</sup> /t)	1.2	1.2

La composición de la vinaza reflejada en la tabla anterior, es una medida del potencial nutricional que presenta este residuo para la precipitación de estruvita. Según esta composición se puede determinar la posible precipitación espontánea en condiciones normales o, si por el contrario, debe añadirse magnesio en concentraciones adecuadas, que permita la precipitación de la estruvita.

La vinaza puede tratarse por diferentes métodos, biológicos o químicos; sin embargo, por ninguno de estos métodos se obtiene un producto realmente reutilizable, porque con la eliminación de los residuales también se eliminan minerales valiosos como el fósforo y el magnesio.

### Ventajas del proceso ESTRUVIA

1. Recupera parte del fósforo de las aguas residuales y consigue, de esta forma:
  - Reducir el volumen de lodo que se produce
  - Reducir el contenido de fósforo en los lodos (ideal para aquellas zonas saturadas con fósforo y en riesgo de eutrofización).
2. Reduce costos de operación en las instalaciones.
  - Se evitan interrupciones en la operación, sobre costos y paradas no planificadas causadas por la precipitación no controlada de la estruvita en las tuberías.
  - Reduce el consumo de reactivos empleados para el tratamiento de las aguas residuales, como las sales de hierro y aluminio.
3. Es una solución para efluentes con alto contenido en fósforo.

## Aplicaciones

- Tratamiento de efluentes ganaderos.
- En la industria de alimentación y bebidas, industrias lácteas, destilerías, mataderos, industria de procesamiento de la papa y, en general, en aquellas industrias donde se tratan los efluentes fermentados para su regeneración.
- En la industria agroquímica, fabricación de fertilizantes y biocombustibles.

## CONCLUSIONES

La precipitación de la estruvita es un proceso apropiado para mitigar el efecto medioambiental de la vinaza y, a su vez, contribuir a aumentar el valor agregado de la agroindustria azucarera, con la obtención de un excelente fertilizante de liberación lenta.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. STRUVIA™. Recuperación sostenible de fósforo de las aguas residuales Veolia Water Technologies Spain. [www.veoliawatertechnologies.es](http://www.veoliawatertechnologies.es).
2. Doyle, J. D.; & Parsons, S. A. (2002). Struvite formation, control and recovery. *WaterResearch*, 36, 3925-3940.
3. Ariyanto, E.; Sen, T. K.; & Ang, H. M. (2014). The influence of various physico-chemical process parameters on kinetics and growth mechanism of struvite crystallisation. *Advanced Powder Technology*, 25, 682-694.
4. Fotidis, I. A.; Laranjeiro, T. F., & Angelidaki, I. (2016). Alternative co-digestion scenarios for efficient fixed-dome reactor biomethanation processes. *Journal of CleanerProduction*, 127, 610-617.
5. Lapeña, A. Recuperación de fósforo en forma de Estruvita a partir de la orina y el Agua de mar. 2014. Valencia. España.
6. Le Corre, K.S.; Valsami-Jones, E.; Hobbs, P.; Parsons, S.A. *Impact of calcium on struvite crystal size, shape and purity*. *Journal of Crystal Growth*. Vol. 283, No. 3-4, 2005, p. 514-522.
7. Battistoni, P.; Pavan, M.; Prisciandaro and F. Cecchi. *Water Res.* 2000, 35:3033.
8. Chanfón, J.M.; Yaniris Lorenzo, Y. Alternativas de tratamiento de las vinazas de Destilería. Experiencias nacionales e Internacionales. 2014. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. ICIDCA. *Centro Azúcar Vol 41, No. 2, (pp. 56-67)*.