



Universidad Centroamericana José Simeón Cañas

INVESTIGACIÓN SOBRE FERTILIZANTES EN CENTRO AMÉRICA

Su clasificación de acuerdo al Tipo de Fabricación o Mezcla y su clasificación de acuerdo al Reglamento Técnico Centroamericano de “Fertilizantes y enmiendas de uso agrícola” *RTCA 65.05.54:15*.

Documento elaborado en el Departamento de Ingeniería de Procesos y Ciencias Ambientales de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas para Grupo Fertica, Fertilizantes de Centroamérica (El Salvador) S.A.

Enero 2019

Documento elaborado por:



Carmen Elena Menjívar Benítez

Docente e investigadora del Departamento de Ingeniería de Procesos y Ciencias Ambientales
Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.

Formación profesional:

Doctora en Química e Ingeniería Química

Tesis Doctoral: “Corrosión del Acero al carbono y del Aluminio en diferentes tipos de atmósferas de El Salvador”. Universidad Ramon Llull (Barcelona) (2016)

Máster en Investigación en Química e Ingeniería Química

Tesis: “Estudio del Efecto de Diferentes Inhibidores de Corrosión del Acero al Carbono en Aguas de El Salvador”. Universidad Ramon Llull (Barcelona) (2009)

Licenciada en Química Agrícola

Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (1998)

Contenido

- Definición de fertilizante 3
- Historia de los Fertilizantes. 5
- Fabricación de Fertilizantes NPK de acuerdo a su Formulación Química o Mezcla Física. 9
- Fabricación de Fertilizantes, Formulas Químicas NPK producidos en FERTICA Acajutla. 20
- Análisis sobre la Reglamentación sobre fertilizantes aplicable a El Salvador. 27
- Conclusión 29
- Bibliografía 31

- **Definición de fertilizante**

Según la investigación realizada y Bibliografía consultada, se tiene las siguientes definiciones de Fertilizante:

“Un fertilizante es un material que suministra uno o más de los elementos necesarios para el adecuado desarrollo y crecimiento de las plantas. Los más importantes son los fertilizantes químicos o minerales (inorgánicos), abonos y residuos de plantas. Un producto fertilizante se obtiene por un proceso industrial con el propósito específico de ser empleado como fertilizante. Estos productos son esenciales en el sistema de agricultura actual para reemplazar los elementos extraídos del suelo por los cultivos” [1].

“Un fertilizante es un producto de origen natural o sintético, que aplicado al suelo, sustrato o al follaje, le suministra uno o varios elementos nutrientes disponibles a la planta, y que puede ser utilizado como componente de la formulación de otro fertilizante” [2].

“Los fertilizantes son comúnmente conocidos como abonos químicos u orgánicos: son toda sustancia o mezcla de sustancias que se incorporan al suelo o a las plantas en cualquier forma. Con el fin de promover o estimular el crecimiento o desarrollo de éstas o aumentar la productividad del suelo” [3].

Un fertilizante es un material que posee uno o más elementos necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Las materias primas de fertilizantes más importantes son de origen químico y mineral. También existen fertilizantes que se obtienen de origen orgánico y residuos de plantas. Los fertilizantes son esenciales en la agricultura de hoy, para reponer los elementos del suelo en forma de comida, por medio de los diferentes tipos de cultivos [4].

“Fertilizante es un producto que, aplicado al Suelo o a las plantas, suministra a estas uno o más nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo” [5].

Durante la primera mitad del siglo XIX Liebig y Lawes descubrieron que las plantas requieren de ciertos elementos químicos para la formación de sus tejidos y para el desarrollo de sus funciones fisiológicas. Elementos como el carbono, hidrógeno y oxígeno son los llamados “constituyentes

masivos” y la planta los obtiene del aire y del agua. El nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre, son obtenidos del suelo y son requeridos en cantidades relativamente grandes, por lo que se les conoce como “macronutrientes”. Mientras que otros elementos tomados también del suelo, como hierro, manganeso, boro, molibdeno, cobre, cinc y cloro, son requeridos en cantidades pequeñas y son conocidos como “oligoelementos o micronutrientes”, lo cual no significa que no cumplan importantes funciones fisiológicas.

Debido a su fuente, el carbono, oxígeno e hidrógeno no se consideran nutrientes limitantes en el desarrollo de las plantas, mientras que el resto de nutrientes que son incorporados a las plantas al ser absorbidos por las raíces desde el agua del suelo donde se hallan disueltos, se agotan por su constante extracción, por lo que sí son considerados como limitantes.

Los nutrientes limitantes llamados también esenciales, pueden reponerse rápidamente por adición de fertilizantes o puede permitirse que estos sean lentamente liberados en el suelo de forma natural al mineralizarse los rastrojos y las reservas del suelo, esto último requiere que se renuncie al cultivo durante un período de tiempo importante.

Además de superar la limitante de los nutrientes, la fertilización también persigue conseguir un adecuado crecimiento de las plantas, aumentar la producción, mejorar la calidad y resistencia de la planta y sus frutos. Debe además ser una fuente poco costosa de nutrientes y tener propiedades físicas y químicas que le permitan ser usado de manera segura y fácil.

Al incorporar los fertilizantes al terreno, estos deben encontrarse en forma soluble. En el caso del nitrógeno se adiciona como ion nitrato (NO_3^{-1}), como ion amonio (NH_4^{1+}), como amoníaco (NH_3) o en forma de amida ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ o CaCN_2). El fósforo se incorpora en forma de hidrógeno fosfato (HPO_4^{2-}) o dihidrógeno fosfato ($\text{H}_2\text{PO}_4^{1-}$). El potasio es adicionado en forma de ion potasio (K^{1+}) [6].

- **Historia de los Fertilizantes.**

Con el resurgimiento de la revolución industrial y el crecimiento de las ciudades a gran escala, junto con la concentración de poblaciones urbanas en el mundo comenzó a ejercerse una fuerte presión sobre la demanda de alimentos.

Devastada por las guerras napoleónicas en 1815, Europa estaba a punto de afrontar una catástrofe natural que en la realidad fue más destructiva que ficción, mientras que Estados Unidos, la mayoría de los cultivos se perdieron debido al cambio climático ocasionado por la una mega erupción del volcán Tambora en Indonesia, ocurrida ese mismo año.

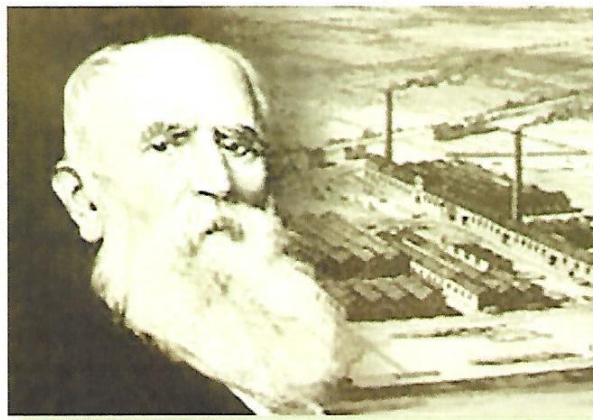
En 1816, fue reconocido como el año sin verano o año de la pobreza, la ceniza volcánica se transformó en un velo estratosférico sobre los cielos del hemisferio norte y las latitudes tropicales, como consecuencia de la baja temperatura del planeta. La escarcha malogró las cosechas, los precios de los granos subieron de forma escandalosa y una terrible hambruna generalizada prevaleció en varios lugares del mundo.

A finales del siglo XVIII, el químico francés Antoine Lavoisier realizó estudios sobre la conservación de la materia, la oxidación de los cuerpos y análisis del agua. En sus investigaciones del aire, llamó “azoe” al **nitrógeno**, que significa inerte. Su consideración obedece a las diferencias que observó con el oxígeno, elemento vital para la respiración de los seres vivos.

En 1839, Jean Baptiste Boussingault, que puede considerarse como el padre de la química agrícola, descubrió la riqueza del **fósforo** y nitrógeno en los abonos tradicionales de ese época, comprobó la fijación del nitrógeno atmosférico por las plantas y aplicó en sus experimentos el análisis químico al medio natural, junto con su colega Julius Sachs, formuló la ecuación clásica de la fotosíntesis. Estas investigaciones constituyeron durante décadas las guías científicas más utilizadas por los agricultores europeos.

Durante el siglo XIX el mundo desarrollado se abasteció del nitrógeno extraído de las costas de Perú, océano Pacífico, Norte de África y yacimientos de Chile. A fines de este siglo, las existencias se estaban agotando, lo que representó un nuevo y enorme desafío para la comunidad científica: obtener nitrógeno a partir del aire, su fuente más abundante y accesible.

En su pequeño laboratorio el Alemán Fritz Haber logró **sintetizar el amoníaco anhidro** a partir del nitrógeno atmosférico e hidrógeno obtenido de la reacción de agua y carbono. El proceso que revolucionó la industria química mundial fue adquirido luego por la compañía **BASF de Alemania**, fundada por Friedrich Engelhorn (Figura 1), la cual confió en Carl Bosch su producción en gran escala. El Proceso fue implementado en forma industrial en 1913 y se convirtió en la piedra angular de la fabricación industrial de fertilizantes sintetizados, requeridos como insumo determinante para lograr las demandas planteadas por las tendencias demográficas.



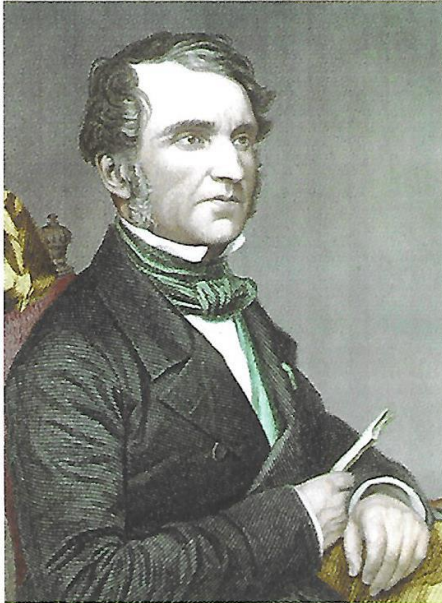
El alemán Friedrich Engelhorn, comenzó, en 1861, a producir fucsina y anilina, a partir del alquitrán de hulla. Cuatro años más tarde fundó la sociedad Badische Anilin & Soda-Fabrik, actualmente conocida como BASF.

Figura 1. Fiedrich Engelhorn, fundador de la Compañía BASF

El problema del suministro del nitrógeno se había convertido en el principal obstáculo para el desarrollo de las economías mundiales, por lo que el desarrollo de la síntesis de Amoníaco por Haber fue reconocido por la Academia Sueca de Ciencias con el Premio Nobel de la Química en 1918. Los científicos pudieron demostrar que las deficiencias de nutrientes en los suelos podían compensarse con la utilización de **Fertilizantes**. Así de inicio a la fabricación del **superfosfato**, insumo básico en el proceso de producción de fertilizantes complejos.

El invento del superfosfato fue adjudicado a Von Liebig (Figura 2), sin embargo, los resultados esperados no fueron del todo satisfactorios porque a pesar de dicho descubrimiento. Von Liebig no logró convertir el fósforo en asimilable por la planta. Fue hasta que el químico agrícola John Bennet Lawes, sobre la base de los descubrimientos de Von Liebig , desarrolló un método que involucraba el tratamiento de los fosfatos de minerales (Roca fosfórica) con **ácido sulfúrico** para

producir un superfosfato simple y de esta manera, el fósforo fue rápidamente liberado en los suelos donde podía ser absorbido por las plantas.



Los conceptos de von Liebig establecieron los principios de la producción de fertilizantes complejos, basados en fórmulas químicas que contienen combinaciones apropiadas de nutrientes para diferentes tipos de suelos y cultivos.

EL SUPERFOSFATO SIMPLE

El invento de von Liebig no dio los resultados esperados porque el proceso de fabricación no logró convertir el fósforo en un nutriente asimilable por las plantas.

El químico agrícola John Bennet Lawes, sobre la base de los experimentos de Boussingault y von Liebig, desarrolló un método que involucraba el tratamiento de fosfatos minerales con ácido sulfúrico para producir superfosfato. De esta forma, el fósforo es rápidamente liberado en los suelos donde puede ser absorbido por las plantas. El fertilizante fue publicitado para su venta el 1º de julio de 1843.

Figura 2. Von Liebig, inventor del superfosfato simple

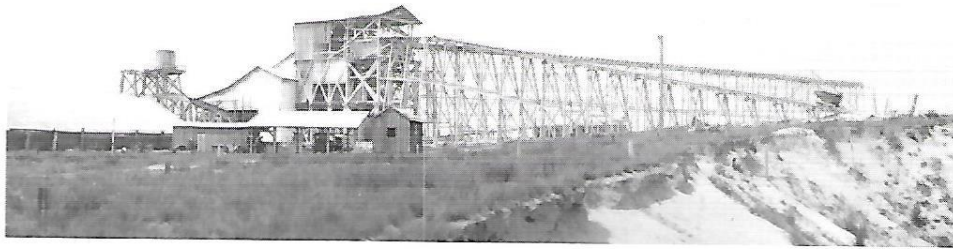
Posteriormente al invento del superfosfato simple, muchas fábricas fueron montadas a nivel mundial, obteniendo la Roca Fosfórica de minas y produciendo superfosfato simple y superfosfato triple a partir del ácido sulfúrico y al ácido fosfórico. En la figura 3 se muestra una vista de la Mina y la planta Buttengenbach en Florida [4].

La Tennessee Valley Authority (TVA) fue creada bajo la administración del presidente de los Estados Unidos, Franklin Delano Roosevelt, con la finalidad de desarrollar el valle del Rio Tennessee, una región particularmente afectada por la gran depresión de esa época. En la figura 4 se presenta una vista de la planta de fertilizantes TVA en Tennessee.

Cerca del 75% de los fertilizantes y la tecnología utilizada en el mundo para producirlos, son resultados de los científicos e ingenieros de la TVA. La invención del **amoniador – granulador** hizo posible la fabricación industrial de los fertilizantes NPK granulares y homogéneos en todo el mundo. A esta nueva tecnológica de fertilizantes químicos se les conoció como **“Compound Fertilizer”** o **“Granulation Formulas”** [4].



Hard rock phosphate mine of Buttgenbach & Company, 1919. (*R.W. Stone--USGS*)



View of Buttgenbach's phosphate washing plant, 1923. (*G.R. Mansfield--USGS*)

Figura 3. Vista de la mina y planta de superfosfato de Buttengenbach en Florida



Figura 4. Planta de fertilizantes TVA

- **Fabricación de Fertilizantes NPK de acuerdo a su Formulación Química o Mezcla Física.**

De acuerdo a la presente investigación bibliográfica, la fabricación de Fertilizantes se puede clasificar de la siguiente manera:

Formulación Químicas: Por aglomeración o por acreditación.

Mezclas físicas: Granulares, líquidas o compactadas.

FORMULACIÓN QUÍMICA: Conocida mundialmente como Complejos Químicos, Fórmulas Químicas, Granulations Fórmulas, Fórmula Fertilizer, Complex o Compounds, son Fertilizantes con un complejo proceso de producción. La granulación se obtiene por reacción de amoníaco con ácido fosfórico, ácido nítrico o ácido sulfúrico. También puede usarse una solución concentrada de urea o nitrato de amonio y otras materias primas como el superfosfato simple y superfosfato triple.

Un fertilizante de formulación química, es aquel que garantiza al menos dos de los nutrientes nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) obtenido mediante **reacción química**, además puede contener elementos secundarios o micronutrientes [5].

De acuerdo al Fertilizer Manual, elaborado por UNIDO (United Nations Industrial Development Organization) y IFDC (International Fertilizer Development Center) [4] las principales materias primas utilizadas para la fabricación de Fertilizantes, se indican de la siguiente manera:

Materias Primas Origen Mineral:

Cloruro de Potasio Estándar (KCl / MOP)

Roca Fosfórica (Fosfato de calcio $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)

Calcios con contenido de magnesio.

Algunos Minerales Elementos Menores

Materias Primas de Origen Químico:

Amoniaco Anhidro

Azufre

Ácido Sulfúrico
Ácido Fosfórico
Fosfato de Amonio
Superfosfato Simple o Triple.
Sulfato de Amonio Standard 21%N
Urea 46% N prillada
Nitrato de Amonio 33.5% N

Un Fertilizante obtenido de formulación química y en donde existen una o más reacciones químicas involucradas se puede **conocer comercialmente** de diferentes maneras, dependiendo de los países o regiones en que se vendan, por ejemplo en los países con más consumo de fertilizantes en el mundo se conocen de la siguiente manera [4]:

Fertilizante Complejo:	Colombia
Complex Fertilizer :	EEUU
Granulation Formulas:	EEUU
Formula Fertilizer:	EEUU
Formulas Químicas:	Centro América
Compounds:	Australia
Complex Fertilizer:	Malaysia
Compound or Complex Fertilizer:	India
Formula Fertilizer:	Todo el Mundo

La palabra **FÓRMULA** está descrita en la literatura [4] como los “Fertilizantes NPK que se producen mediante el proceso químico”.

Desde que se desarrolló el proceso de granulación del fosfato de amonio para los procesos de manufactura de fertilizantes de diferentes grados, estos se llevan a cabo con mayor eficiencia. El proceso TVA utiliza un preneutralizador y un amoniador-granulador de diseño propio y ofrece flexibilidad, facilidad de operación y eficiencia en el uso del calor de reacción.

Aproximadamente el 75 % de la tecnología de fabricación de fertilizantes a nivel mundial empleada actualmente fue desarrollada entre las décadas de 1950 y 1970 por científicos e ingenieros de la TVA, quienes desarrollaron fertilizantes con alto contenido de nutrientes, así como procesos de mayor eficiencia [7].

Algunos procesos además incluyen una reacción química entre amoníaco y superfosfato simple o triple. Gran parte de la reacción entre el amoníaco y el ácido frecuentemente ocurre en un paso previo en un tanque de pre-neutralización o en un Pipe Reactor. En muchos casos, el vapor de agua, el amoníaco y el ácido alimentan el granulador para optimizar las características de granulación de cada fórmula particular.

Los fertilizantes conocidos como “Formulación Química” se usan con frecuencia debido a su conveniencia para transportarse, almacenarse y aplicar un único producto en lugar de varios fertilizantes puros. Es importante hacer notar que un fertilizante compuesto tiene un mayor costo que un fertilizante con un nutriente único, aunque el ahorro de otros costos debe ser considerado.

Los fertilizantes del tipo Formulación Química resultan ser una buena opción para la aplicación de macro y micronutrientes al suelo, ya sea antes o durante la siembra. Debido a que los cultivos requieren mayores dosis de nitrógeno que del resto de nutrientes, la aplicación inicial de un fertilizante generalmente debe ser seguida por subsecuentes dosis de nitrógeno. Contrario a las mezclas, los fertilizantes compuestos, especialmente los productos de granulación homogénea permiten realizar una distribución uniforme de los nutrientes presentes en pequeñas cantidades, disminuyendo el riesgo de segregación o pérdida de los mismos. Otra de las cualidades de este tipo de fertilizantes es que es menos susceptible a la hidroscopia.

La granulación de las materias primas para la fabricación de fertilizantes, puede llevarse a cabo a través de dos mecanismos: por **aglomeración** (agglomeration) o por **acreción** (accretion).

La formación de gránulos por aglomeración consisten en unir las partículas por compactación mecánica y empleo de agentes cementantes. La acreción consiste en formar capas sobre las partículas sólidas, por la adición repetida de películas de material fluido.

Los gránulos formados por acreción son más duros, más esféricos y más durables que los formados por aglomeración, sin embargo, este último es más adaptable y manejable en los diferentes tipos de suelo. La forma de los gránulos puede verse en la Figura 5.

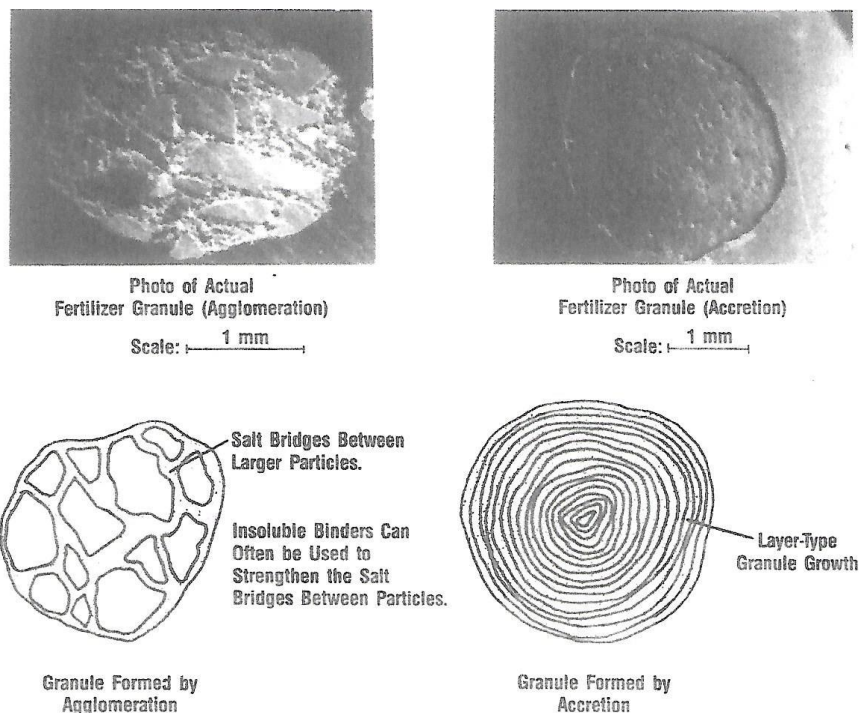


Figura 5 Forma de los gránulos de acuerdo al mecanismo de granulación química.

El adecuado control de la fase líquida en los **procesos de acreción** permite obtener una mejor granulación. Idealmente, después del secado, la fase líquida forma enlaces cristalinos entre las partículas del aglomerado, manteniendo a las partículas entrelazadas. La cantidad de fase líquida empleada durante la granulación es crucial; se ha encontrado que una proporción de 300 kilogramos de fase líquida por tonelada de producto ha dado óptimos resultados para la mayoría de las formulaciones NPK. Este proceso es conocido en Europa como PEC. Esta tecnología es bastante limitada debido a que su proceso solo admite materias primas líquidas o diluidas [1].

En general la granulación en los procesos de formulación química libera calor, debido a las reacciones que ocurren entre las materias primas. La cantidad de calor generado influye positivamente en la solubilidad del fertilizante, en la cantidad de fase líquida formada y las

características de los gránulos formados. La reacción productora de calor más importante es la neutralización de materiales ácidos con amoníaco dentro del granulador.

En la figura 6 se muestra el diagrama de una planta de fertilizantes formados químicamente, en donde se puede apreciar el ingreso de las materias primas antes mencionadas: ácido sulfúrico, ácido fosfórico, amoníaco anhidro, urea y otras materias primas y elementos menores.

Así mismo se muestra los principales procesos para la fabricación de los fertilizantes, los cuales son el **reactor granulador** (rotary drum granulation), el **secador** (rotary dryer), el **enfriador** (rotary process cooler) y tanque preneutralizador o Pipe Reactor.

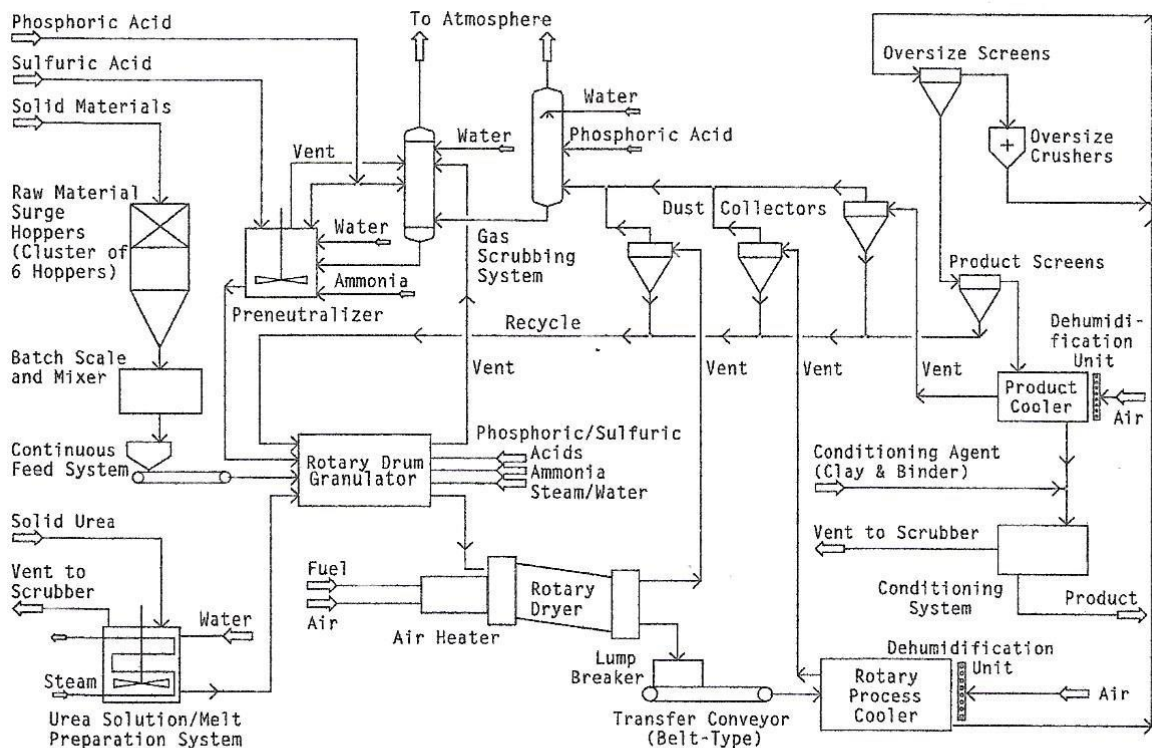


Figura 6 Planta de granulación de fertilizantes NPK diseñada para la máxima flexibilidad en el uso de materias primas, incluyendo urea

La Formulación Química es el método más complejo de preparar un fertilizante NPK y se obtiene haciendo reaccionar el amoníaco anhidro con ácido fosfórico y/o ácido sulfúrico y puede utilizarse ácido nítrico también en la reacción. En algunos casos puede utilizarse una solución de urea con

nitrate de amonio. En algunos procesos existe más de una reacción química, como la que ocurre entre el amoniaco y el superfosfato simple o superfosfato triple (SSP o TSP). Mucho de la reacción entre el ácido y el amoniaco puede suceder fuera del reactor granulador en un tanque de pre-neutralización o con la utilización de un reactor de pipa (pipe reactor). En algunos casos introducir más vapor, amoniaco o ácido al sistema puede optimizar la granulación.

En muchas plantas de NPK por proceso químico, se utiliza materias primas sólidas estándar o prilladas sobre todo cuando son procesos de granulación por aglomeración. La relación entre el consumo de materias primas sólidas y líquidas está determinado por muchas variables, incluyendo la fórmula química a obtener (fertilizer grade), la solubilidad requerida, requerimientos de fase líquida, limitantes de temperatura y calor, capacidad de los equipos y condiciones de operación. El proceso de granulación que se muestra en la Figura 6 también incorpora el diseño recomendado para la producción de NPK's utilizando Urea y otras materias primas solubles y materiales higroscópicos.

En algunos procesos de producción química, las materias primas sólidas como el MOP (KCl o cloruro de potasio estándar) son disueltas junto con el fosfato de amonio (DAP) o nitrate de amonio (NAM), haciendo un proceso de Spray en una cama o en un cilindro rotatorio.

Es recomendable aplicar un acondicionador del producto a través de un cilindro rotatorio estándar. Se recomienda además emplear Caolín, diatomita, aminas y polímeros para evitar la compactación del producto.

MEZCLAS FÍSICAS EN SECO: La principal característica de este tipo de fertilizante es que no incluye reacciones químicas entre las materias primas. En la Figura 7 se presenta un diagrama del proceso de elaboración de mezclas físicas.

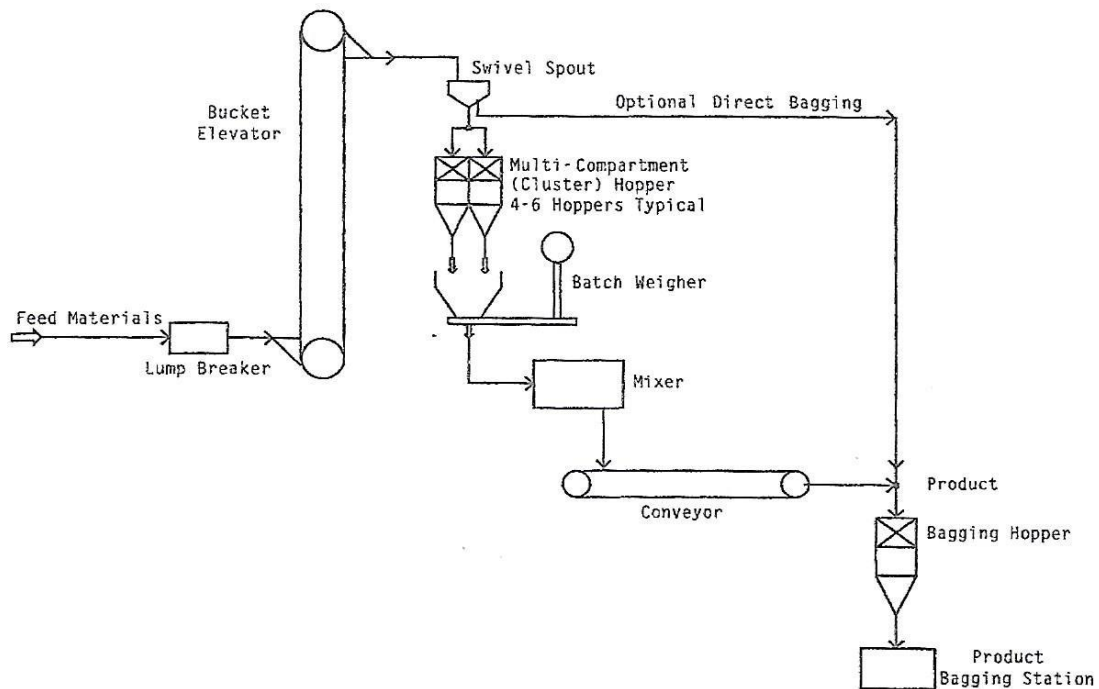


Figura 7 Producción de un lote de mezcla física en una planta de fertilizantes [1].

Las principales materias primas utilizadas para la fabricación de Mezclas físicas son:

DAP Granular

Cloruro de Potasio Granular (KCl / MOP)

Sulfato de Amonio Granular

Filler o Relleno origen cálcicos

Kieserita Granular

Algunos otros elementos menores Granulares

En el caso de las Mezclas Físicas, para poder mezclar este tipo de fertilizante, es necesario que las materias primas sean **Granulares** para evitar la segregación y que sus granos sean lo más parecido posible, así mismo es necesario el uso de **Fillers o Rellenos** para poder completar la mezcla requerida, debido a que las materias primas utilizadas son muy concentradas (DAP: 46% fósforo / KCl : 60% potasio), y para poder reducir su contenido de nutrientes , es necesario la utilización de estos rellenos de origen cálcico como Carbonato de Calcio o Yeso. Estos rellenos no proveen ningún tipo de nutrimentos porque normalmente son insolubles.

Las materias primas para la fabricación de Mezclas Físicas y Compuestos, Complex o Formulas Químicas son muy diferentes desde su origen y esta situación es normal debido a que para la elaboración de los fertilizantes de formulación química se utilizan **materias primas básicas** de forma sólida, líquida o gaseosa, y se utilizan materias primas extraídas directamente de las minas y de forma estándar para poder ser procesadas y que su reacción química sea más fácil.

Hay muchas formas de llamar comercialmente a los fertilizantes mezclados en el mundo, de acuerdo a los principales consumidores de esta fertilizante podemos indicar los siguientes nombres:

Bulk Blending:	EEUU
Mezclas Físicas:	Centro América
Fertilizante Mezclado:	Colombia
Mixed Fertilizer:	India
Mixed Fertilizer:	Australia
Mixed Fertilizer:	Tailandia, Filipinas, Malasia

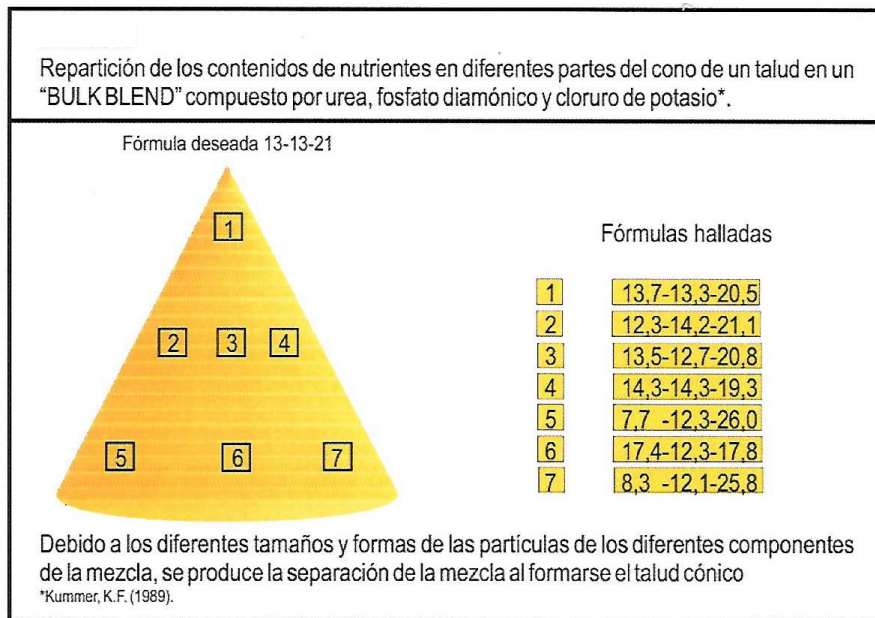
Esta tecnología se refiere a una mezcla (blend) de varios fertilizantes en seco **sin** la deliberada introducción de reacciones químicas o la modificación de las partículas originales de las materias primas y tamaño de gránulos.

Las materias primas que se deben usar en este tipo de mezclas son **sólidas y granulares**. Usualmente estas materias primas son **productos finales**, por ejemplo urea, DAP y MOP (KCl).

Cuando el mezclador usa materiales no granulares o semi-granulares para preparar la mezcla, esta práctica lleva a obtener un fertilizante de baja calidad. En ese contexto de discusión una diferencia incluso entre un producto prilled y granular como la urea o nitrato de amonio, DAP y KCl puede llevar también a obtener una mezcla de baja calidad.

En la Figura 8 se muestra las diferentes composiciones encontradas en un fertilizante de mezcla física y en donde se aprecia claramente la segregación de las materias primas versus la composición deseada, mientras que en la Figura 9 se presenta la desviación estándar encontrada,

la cual es totalmente diferente a la fórmula deseada, demostrando la segregación de materias primas.



Por otra parte, si todas las partículas de un fertilizante tuvieran idéntica composición química pero diferentes tamaños, se produciría segregación física, pero ello no afectaría la uniformidad

Figura 8 Composiciones encontradas en un fertilizante de mezcla física [8]

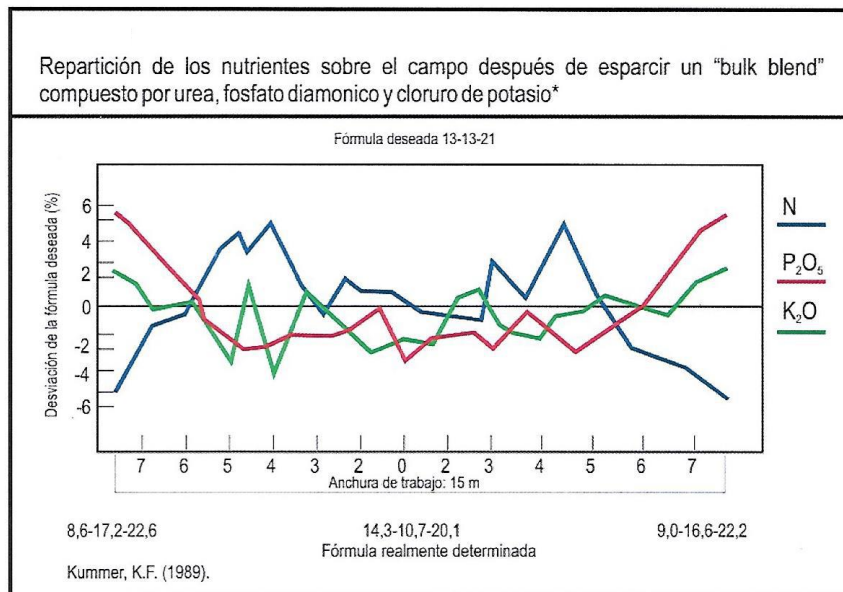


Figura 9 Desviación estándar que muestra la segregación de las materias primas en una mezcla física [8]

Las mezclas físicas también tienen la desventaja de no poder cambiar la composición física y química de sus materias primas, siendo dichas materias primas muy concentradas como el DAP (18-46-0) o el Cloruro de Potasio (0-0-60), por lo que dependiendo del fertilizante final que se requiera, será necesario el uso de FILLERS en una alta proporción, a veces mayor al 50% de su peso total, los cuales pueden ser calcos insolubles compactados o granulares.

MEZCLA FÍSICA POR COMPACTACIÓN, se emplea fuerza mecánica para formar un producto quebrado, a partir de materias primas sólidas de tamaño irregular. Al compactarse, los materiales secos se mezclan en la proporción adecuada para obtener el grado de fertilizante requerido. La mezcla se coloca en una compactadora que forma una lámina de mezcla en polvo compactada que luego es triturada de forma controlada para formar partículas más pequeñas. La mezcla triturada es tamizada. Los granos de tamaño mayor al requerido son molidos y recirculados al triturador junto con los de tamaño inferior al requerido. Por este proceso se obtiene partículas más irregulares que las obtenidas por los otros procesos descritos. El equipo empleado para mezcla física por compactación se muestra en la Figura 10.

La mezcla se da suministrando las materias primas constantemente en un rodillo compactador de presión, que tritura todas las materias primas sólidas y de diferentes tamaños en un material polvoso, duro y denso, usualmente de 2 a 3 centímetros de grueso y de 60 a 100 cm de ancho.

La máquina de compactación consiste en dos horizontales y opuestos rodillos que cruzan en su interior cada uno. Estos rodillos normalmente son de 100 cm de diámetro e igualmente de ancho.

El eje de uno de los rodillos tiene un eje estacionario mientras que el otro es removible, la presión es aplicada de forma hidráulica para ajustar la presión en la que se muele el fertilizante. El material es molido de forma controlada, hasta llegar a partículas pequeñas.

No existe ni ninguna reacción química en este proceso y el proceso usa características de compatibilidad física, características termales y de plasticidad. Estos factores son los que tienen mayor influencia en el proceso.

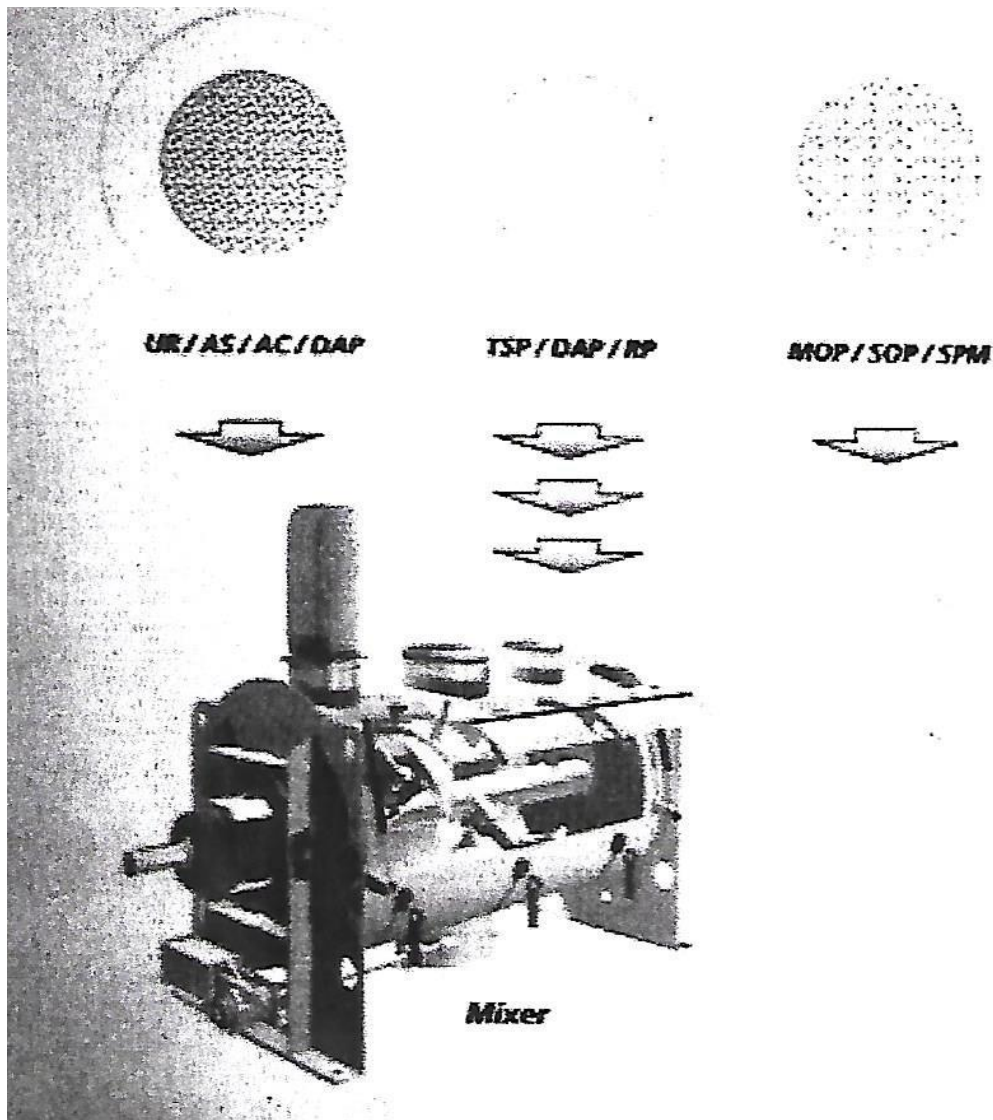


Figura 10 Proceso de la Mezcla Física Compactada.

El fertilizante compactado preparado en este proceso tiene muchas partículas irregulares comparadas con los gránulos suaves y redondos (esféricos) producidos en otros procesos.

Estas partículas irregulares de la mezcla compactada puede promover la compactación durante su almacenamiento debido a la generación de finos durante el proceso y almacenamiento incrementa la superficie irregular del área comparada con el área de los productos esféricos.

Este producto causa alguna resistencia al agricultor, debido a quienes están acostumbrados al fertilizante tradicional esférico, su alto grado de compactación y exceso de polvo en el saco [4].

- **Fabricación de Fertilizantes, Formulas Químicas NPK producidos en FERTICA Acajutla.**

Proceso: Tennessee Valley Authority TVA.
Numero de Patente: US 3.170.784 F.T. Nielsson
Fabricante / Desarrollador: Fertilizer Engineering & Equipment Co.
(Greenbay, Wiscousing USA)
Fecha de Fabricación: 5 de Junio de 1963.

La planta de producción de Fertilizantes Químicos de Fertica, Empieza su etapa de desarrollo y nuevas tecnológicas, al participar a nivel mundial en el **27th Congreso Anual de la Industria de Fertilizantes, en Washington D.C. Octubre de 1977**. Exponiendo su estudio sobre la Producción de Fertilizantes a través del **Radio Invertido**, en el proceso de fabricación en la planta de Fertica Acajutla y Fertica Puntarenas en donde se indica cómo se puede producir fertilizantes con alta eficiencia, con alto grado de Nitrógeno y poco grado de fósforo y potasio.

Los fertilizantes granulados elaborados por FERTICA son obtenidos en un complejo de plantas de producción TVA, debidamente documentada desde su origen. En el complejo industrial Fertica Acajutla, se ubican las siguientes plantas de producción todas de producción química:

1. Planta de Superfosfato Simple, patente [9]
2. Planta de Ácido Sulfúrico [10]
3. Sistema de Amoniaco Anhidro (sin patente).
4. Planta de Complejos Químicos: patente [11]

La planta principal denominada **Planta de Complejos Químicos**, emplea la tecnología TVA, y parte de una formulación de materias sólidas, líquidas o gaseosas mediante reacciones químicas y el proceso de **aglomeración** para formar partículas esféricas de tamaños controlados entre 2 y 4 mm y de composición nutricional homogénea.

El proceso de producción inicia con la determinación previa de la cantidad de cada una de las materias primas que se debe combinar para obtener la formulación de nutrientes deseada. Las

materias primas sólidas que aportan nutrientes primarios y secundarios son alimentadas a la planta a través de un sistema de pesado que está gobernado por un sistema de control distribuido con un software diseñado para los procesos de granulación y materias primas disponibles de FERTICA. Este programa determina la cantidad de materias primas sólidas y líquidas requeridas para producir “una tonelada métrica” de producto granulado de la formulación deseada [12].

Las materias primas líquidas o gases, son incorporadas directamente al reactor – amoniador para hacerlas reaccionar con las materias primas sólidas (standard, granulares o molidas), dosificándolas para mantener la formula deseada. Las materias primas utilizadas pueden ser: amoniaco anhidro, ácido sulfúrico y/o ácido fosfórico.

Las materias primas sólidas que aportan micronutrientes son dosificadas en cada descarga a través del sistema de pesado. Las materias primas sólidas empleadas en FERTICA para la producción de fertilizantes son: superfosfato simple, urea, sulfato de amonio, fosfato di amónico, superfosfato simple (fosfato monocálcico), cloruro de potasio, carbonato de magnesio, carbonato de calcio, sulfato de zinc anhidro y borato de sodio.

En una primera etapa se hace el pesado de las materias primas sólidas requeridas para producir una tonelada métrica de producto terminado. Las materias primas gruesas son conducidas hacia un molino de jaulas con el fin de reducir el tamaño de las partículas gruesas hasta un tamaño similar al de las materias primas estándares.

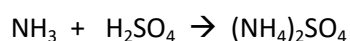
Luego de que las materias primas gruesas son molidas, se unen con las materias primas estándares que no requieren un ajuste del tamaño y son introducidas al sistema de granulación llegando primeramente a un cilindro rotativo llamado “Reactor Amoniador” que es el corazón de la planta de producción. Aquí las diferentes materias primas sólidas son mezcladas y se ponen a reaccionar con una fase líquida en las proporciones adecuadas [13].

El amoniaco es el compuesto inicial que se produce durante la fabricación de los productos sintéticos de nitrógeno y por lo tanto, se produce en forma menos costosa que los compuestos que requieren tratamientos posteriores como la Urea, Nitrato de Amonio o Sulfato de Amonio y es por esto su uso en las plantas químicas. Las formulaciones de estos productos granulados que

tienen una amplia proporción de nitrógeno con respecto al pentóxido de fósforo, se pueden formular utilizando amoníaco más un material de nitrógeno fijo tal como la urea o el sulfato de amonio. La selección de las soluciones de nitrógeno permite que el fabricante de fertilizantes ajuste su fórmula tanto como le sea posible para estar de acuerdo con las necesidades agronómicas, el uso efectivo del equipo de enfriamiento es primordial para tener un contenido de humedad satisfactorio en su producto final, y en particular, para reducir notablemente el costo de las formulaciones de alto contenido de nitrógeno [14].

Durante la granulación en el “Reactor - Amoniador” ocurren diferentes reacciones químicas entre las materias primas. El ácido sulfúrico y ácido fosfórico reaccionan con el amoníaco en una reacción de neutralización ácido/base que produce calor y crea mejores condiciones para el proceso de granulación, la cual se muestra a continuación [1]:

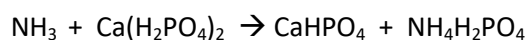
Neutralización ácido/base:



Reaccionantes		Productos	
NH ₃	amoníaco	(NH ₄) ₂ SO ₄	sulfato de amonio
H ₂ SO ₄	ácido sulfúrico		

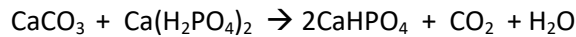
Otras reacciones que ocurren en el “Reactor Amoniador” son mostradas a continuación [14]:

- Neutralización rápida entre el amoníaco y el superfosfato monocálcico:



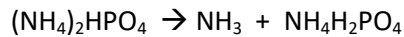
Reaccionantes		Productos	
NH ₃	amoníaco	CaHPO ₄	hidrógeno fosfato de calcio
Ca(H ₂ PO ₄) ₂	superfosfato monocálcico	NH ₄ H ₂ PO ₄	dihidrógeno fosfato de amonio

- Neutralización lenta entre el carbonato de calcio y el superfosfato monocálcico:



Reaccionantes		Productos	
CaCO ₃	Carbonato de calcio	CaHPO ₄	hidrógeno fosfato de calcio
Ca(H ₂ PO ₄) ₂	superfosfato monocálcico	CO ₂	dióxido de carbono

- Descomposición del fosfato diamónico:



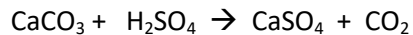
Reaccionante		Productos	
(NH ₄) ₂ HPO ₄	fosfato diamónico	NH ₃	amoníaco
		NH ₄ H ₂ PO ₄	dihidrógeno fosfato de amonio

- Reacción de la dolomita con superfosfato monocálcico:



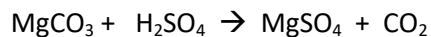
Reaccionante		Productos	
CaCO ₃ ·MgCO ₃	Dolomita (carbonato doble)	CaHPO ₄	hidrógeno fosfato de calcio
Ca(H ₂ PO ₄) ₂	superfosfato monocálcico	MgHPO ₄	hidrógeno fosfato de magnesio
		CO ₂	dióxido de carbono

- Neutralización ácido/base:



Reaccionante		Productos	
CaCO ₃	Carbonato de calcio	CaSO ₄	Sulfato de calcio
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico	CO ₂	dióxido de carbono

- Neutralización ácido/base:



Reaccionante		Productos	
MgCO ₃	Carbonato de magnesio	MgSO ₄	Sulfato de magnesio
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico	CO ₂	dióxido de carbono

La masa húmeda de materias primas que sale del “Reactor Amoniador” cae al “Secador” que es un cilindro rotativo inclinado provisto de paletas en su interior, para permitir la formación de una cortina de producto que incremente el área de contacto con un flujo en paralelo de aire caliente que tiene dos objetivos en el proceso de granulación: eliminar el exceso de agua requerido para dar la consistencia de humedad a la masa de materias primas permitiendo que sus componentes tiendan a adherirse entre sí y fundir la urea para darle una consistencia “pegajosa” para favorecer igualmente el proceso aglomeración de las materias primas.

Luego de esta etapa, el producto es transferido al cilindro “enfriador” que tiene una configuración exactamente igual al Secador, con la diferencia que utiliza un flujo de aire a contracorriente y temperatura ambiente que tiene tres objetivos en el proceso de granulación: completar la granulación a través de la resolidificación de la urea parcialmente fundida, terminar el proceso de secado y reducir la temperatura del producto granulado a través del proceso de aglomeración.

El producto del enfriador sale con una apariencia granulada, seco, suelto y a una temperatura moderadamente caliente, antes de pasar a la etapa de ajuste del tamaño del grano a través de un proceso de tamizado que permite obtener un grano de tamaño uniforme entre 2-4mm que pasará posteriormente a la aplicación de un recubrimiento de un sólido acondicionador que permite reducir los efectos de compactación durante su proceso de almacenamiento y ensacado.

Los rechazos del producto grueso de los tamices son molidos e inmediatamente reincorporados al proceso de tamizado; así mismo el producto fino es separado recirculado junto con las materias primas al cilindro amoniador para incrementar su tamaño [13].

Etapas del proceso de producción de fertilizantes complejos granulados que ocurren fuera del Amoniador-Granulador TVA

Finalizada la armonización y granulación conjunta, los gránulos de fertilizante sintetizado son inmediatamente transportados fuera del Amoniador-Granulador para continuar con las etapas posteriores del proceso industrial de producción de fertilizantes complejos granulados.

Así, el proceso TVA busca eliminar cualquier riesgo de aglomeración por higroscopicidad mediante un tratamiento que se lleva a cabo después de las reacciones de transformación y el proceso de

granulación anteriormente descrito. Este tratamiento comprende las últimas cuatro etapas en el proceso de producción:

- (1) Un **Calentamiento** con el fin de eliminar cualquier traza de humedad libre en el fertilizante recién producido.
- (2) Un **Enfriamiento** inmediatamente posterior al Calentamiento, con el propósito de que el producto alcance una estabilidad térmica inmediata y además para que alcance su humedad de equilibrio en condiciones controladas.
- (3) Una **Selección de tamaño** de gránulos mediante un proceso de Tamizado industrial conforme la granulometría deseada para así obtener un producto terminado de tamaño uniforme. Los gránulos fuera de especificación son reprocesados.
- (4) Un **Tratamiento con acondicionadores** de tipo silicatos naturales para así minimizar cualquier riesgo de aglomeración.

Con lo anterior se desea asentar que el proceso TVA de producción de fertilizantes complejos granulados utilizado por Fertica es capaz de utilizar la ciencia de los fertilizantes para controlar la química de sus materias primas y así llegar a un producto de alta calidad.

Hallazgos encontrados:

Los fertilizantes sintetizados de Fertica ofrecen las siguientes ventajas en comparación con los fertilizantes tipo mezclas físicas.

Fertilizantes Homogéneos. Vistos los fenómenos químicos que ocurren en el Amoniador-Granulador TVA, queda claro que los fertilizantes sintetizados de Fertica incorporan químicamente los nutrientes, con lo cual se garantiza una alta homogeneidad del producto en el envase, en las tolvas fertilizadoras y en el campo.

Fertilizantes Uniformes. Sumado a lo anterior, las etapas de granulación y tamizado del proceso de producción de fertilizantes químicos hacen viable contar con un producto de granulometría uniforme.

Fertilizantes sin riesgo de segregación. La homogeneidad y la uniformidad de los fertilizantes sintetizados de Fertica permiten evitar el problema de segregación versus las

Mezclas Físicas. Es decir, el riesgo de que los nutrientes físicamente se dispersen durante el manejo del producto en almacenamiento, transporte o aplicación.

Fertilizantes sin riesgo de pérdida de integridad o valor nutricional debido a degradación de los granos por absorción de humedad. Durante su período de almacenamiento, los ingredientes empleados en la elaboración de fertilizantes mezclas físicas pueden degradarse debido a que la humedad crítica relativa de una mezcla tiende a reducirse. La humedad crítica relativa de un fertilizante es la humedad a la cual una mezcla física empieza a absorber humedad del ambiente y con ello empieza un proceso de degradación de las materias primas sólidas que contribuyen a que la mezcla de vuelva pastosa por la absorción de humedad del ambiente [15]. En la figura 11 se presenta las humedades críticas relativas de los fertilizantes y mezclas de fertilizantes a 30°C.

AMMONIUM NITRATE										
UREA										
59.4										
18.1	75.2									
AMMONIUM CHLORIDE										
AMMONIUM SULFATE										
51.4	57.9	77.2								
DIAMMONIUM PHOSPHATE (18-46-0)										
62.3	56.4	71.3	79.2							
59*	62*	-	72*	82.8						
POTASSIUM CHLORIDE										
67.9	60.3	73.5	71.3	70*	84.0					
POTASSIUM NITRATE										
59.9	65.2	67.9	69.2	-	78.6	90.5				
MONOAMMONIUM PHOSPHATE (12-50-0)										
58.0	65.2	-	75.8	78*	72.8	59.8	91.6			
POTASSIUM SULFATE										
69.2	71.5	71.3	81.4	77	-	87.8	79.0	96.3		
28-12-0 (28-28-0)										
-45*	50*	50*	50*	50*	45*	50*	-	-	55*	28-12-0 (28-28-0)
UREA-AMMONIUM PHOSPHATE*										
50*	60*	60*	70*	75*	65*	80*	70*	75*	60*	80*
0-46-0										
55*	50*	70*	70*	65*	65*	70*	65*	70*	-	75*
11-24-0 (11-55-0)										
TRIPLE SUPERPHOSPHATE*										
AMMONIUM POLYPHOSPHATE*										

Figura 11. Humedades relativas críticas de fertilizantes y sus mezclas a 30°C [15].

- **Análisis sobre la Reglamentación sobre fertilizantes aplicable a El Salvador.**

Este documento fue aprobado como Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 65.05.54:15 Requisitos para el Registro de Fertilizantes y Enmiendas, de Uso Agrícola, por el Subgrupo de Medidas de Normalización e Insumos Agropecuarios. La oficialización de este reglamento técnico conlleva la ratificación por el Consejo de Ministros de Integración Económica Centroamericana (COMIECO).

Por Costa Rica:

MEIC

MAG

Por El Salvador:

OSARTEC

MAG

Por Guatemala:

MINECO

MAGA

Por Honduras:

SDE

SAG

Por Nicaragua:

MIFIC

IPSA

Por Panamá:

MICI

MIDA

El estudio o la adopción de los reglamentos técnicos derivados de las leyes de cada país son atribución de los comités técnicos de normalización y reglamentación técnica. Para el caso de El Salvador, son el Ministerio de Agricultura y Ganadería y el Organismo Salvadoreño de Reglamentación Técnica, los participantes de El Salvador para la creación del Reglamento Técnico

Centroamericano para establecer los requisitos para otorgar el registro de fertilizantes y enmiendas de uso agrícola que da continuidad a la Ley mencionada anteriormente.

El objetivo de dicho Reglamento es establecer los requisitos para otorgar el registro de fertilizantes y enmiendas de uso agrícola, que sean fabricados, formulados, extraídos de fuentes naturales, envasados, reempacados, reenvasados, importados, exportados distribuidos y comercializados en los Estados Parte de la región centroamericana¹, entre otras disposiciones, determina [2]:

- Que los fertilizantes y enmiendas de uso agrícola deberán estar registrados ante la Autoridad Nacional Competente previo a su importación, exportación, fabricación, formulación, envasado, re-ensado, re-empacado y comercialización.
- Que el expediente de registro de un fertilizante o una enmienda de uso agrícola, debe contener información administrativa y técnica de acuerdo a los requisitos establecidos en el mencionado reglamento.

Para realizar el registro de presentaciones empacadas de productos sólidos o líquidos, uno de los requisitos administrativos consiste en presentar el “*proyecto de la etiqueta*” que llevará el producto. Específicamente para fertilizantes y enmiendas sólidos, en la etiqueta debe colocarse una leyenda donde se indique si es “***mezcla física o fórmula química***”. Es preciso aclarar que el RTCA solamente especifica esas dos opciones para la clasificación de los fertilizantes [2].

La clasificación de “***mezcla física o fórmula química***” también debe ser declarada como parte de los requisitos técnicos que debe cumplirse para realizar el registro.

De acuerdo al mencionado Reglamento [2] se tienen las siguientes definiciones:

¹ Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Panamá

- *Fórmula química*: producto homogéneo que resulta de la reacción química que se da entre dos o más compuestos, involucrando cambios físicos y químicos de los compuestos iniciales.
- *Mezcla física*: producto que se obtiene a partir de la mezcla o granulación conjunta de dos o más materiales fertilizantes o enmiendas, sin que se produzcan reacciones químicas entre los componentes de los mismos.

Así mismo, el RTCA indica que una “fórmula química” resulta de la reacción química que ocurre entre dos o más compuestos y es un producto homogéneo, lo anterior concuerda con lo definido por la FAO como “fertilizante complejo” el cual resulta de un proceso donde hay reacciones químicas y es homogéneo, puesto que todos los nutrientes están presentes en un mismo gránulo. Además concuerda con las definiciones encontradas de fertilizantes químicos utilizados a nivel mundial, como lo son: Fertilizer Formula, Complex Fertilizer, Formulas Químicas, Granulations Formulas, Compounds Fertilizers, Fertilizantes Complejos.

- **Conclusión**

En la presente investigación se ha encontrado los siguientes hallazgos relacionados con la Industria Mundial de Fertilizantes, la producción de Fertilizantes de Fertica en su Planta ubicada en Acajutla y el Reglamento Técnico Centro Americano: RTCA 65.54:15.

Hallazgos encontrados:

1. Los fertilizantes producidos por FERTICA pueden ser clasificados como una producción química por **Aglomeración**.
2. Los fertilizantes producidos por FERTICA son elaborados bajo una tecnología originaria de Estados Unidos (TVA) y con número de patente: US **3.170.784 F.T. Nielsson**.
3. En la producción de fertilizantes de FERTICA, pudieron detectar **numerosas reacciones químicas** de sus materias primas sólidas, líquidas y gaseosas, en la planta de complejos químicos (Planta Principal).
4. Así mismo se encontró **numerosas reacciones químicas** que ocurren anteriormente al proceso en la planta de complejos, en sus otras plantas de superfosfato simple y planta de ácido sulfúrico.

5. Los fertilizantes sólidos compuestos fabricados en FERTICA incluyen un proceso que les permite ser clasificados como "**fórmulas químicas**", de acuerdo con la clasificación establecida en el Reglamento Técnico Centroamericano de "Fertilizantes y enmiendas de uso agrícola" RTCA 65.54:15, y con cuerda con la definición claramente establecida por la FAO[5] en lo que se refiere a definiciones de los fertilizantes.
6. Así mismo se concluye que el RTCA 65.54:15 es un reglamento muy completo científicamente y elaborado y por todos los países Centroamericanos, en los que se encuentra de acuerdo al **Manual de Estadísticas en Fertilizantes de la FAO** [16], donde los fertilizantes **mezcla física** son aquellos obtenidos a través de un proceso físico, es decir puramente una mezcla donde los ingredientes no sufren cambios; los fertilizantes complejos son obtenidos en un proceso que involucra reacciones químicas y todos los nutrientes están presentes en un mismo gránulo.
7. Se ha identificado los diferentes **nombres comerciales** a lo que se refieren los fertilizantes complejos a nivel mundial, los cuales son: Granulations Formula, Formula Fertilizers, Formulas Químicas, Complex Fertilizer, Fertilizante Complejo, compounds.
8. En el caso de los fertilizantes mezclados, se **conocen comercialmente** en otras partes del mundo como: Bulk Blending, Mezclas Físicas, Fertilizante Mezclado, Mixed Fertilizer.
9. **El Fertilizante Compactado**, se debe de clasificar como una **mezcla** y no como un compuesto químico, debido a que no existe reacción química alguna.

• Bibliografía

- [1] Kluwer Academic Publishers, Fertilizer Manual, The Netherlands, 1998.
- [2] *RTCA 65.05.54:15 Reglamento Técnico Centroamericano: Fertilizantes y enmiendas de uso agrícola. Requisitos para el registro.*
- [3] *Ley sobre control de pesticidas, fertilizantes y productos para uso agropecuarios Decreto No.315,* San Salvador, El Salvador: Diario oficial No.85 Tomo 239, Mayo 1973.
- [4] FAO, "Fertilizer Manual. UNIDO (United Nation Industrial Development Organization) and IFDC (International Fertilizer Development Center)," 1979.
- [5] Norma Técnica Colombiana NTC 1927, *Fertilizantes y acondicionadores de suelas. Definiciones, clasificación y fuentes de materias primas.,* Incontec Internacional, 2012.
- [6] O. Vian, *Introducción a la química industrial 2a. Edición,* Reverté, 2012.
- [7] TerraDaily, "TVA Fertilizer Technology Used Worldwide," 2008.
- [8] R. G. Riasco, "Manual técnico de propiedades generales de los fertilizantes".
- [9] H. Larrabe D. and F. Ala, "Production of ordinary superphosphate with strong sulfuric acid". 23 February 1965.
- [10] "Panamerican Consulting International Limited," [Online]. Available: <http://www.panamint.com/centroamerica-es.html>.
- [11] F. T. Nielsson, "Production of fertilizer". United States 24 March 1959.
- [12] L. B. Nelson, *History of the U.S. Fertilizer Industry,* National Fertilizer Development Center, 1990.
- [13] L. Guzmán, "Descripción general de la producción de fertilizantes granulados a través del proceso TVA en la planta FERTICA-Acajutla," FERTICA.
- [14] V. Sauchelli, *Química y tecnología de los fertilizantes,* México D. F.: Compañía editorial continental, 1966.
- [15] J. Schultz, *Urea-based NPK plant design and operating alternatives: workshop proceedings,* Muscle Shoals, Alabama, USA: International Fertilizer Development Center, 1990.
- [16] FAO, *Manual on fertilizer statistics.* FAO Economics and social development paper, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1991.