

INFORME FINAL



SELECCION DE LA MEJOR ALTERNATIVA PARA LA INDUSTRIALIZACION DE LA ROCA FOSFORICA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA

Contrato de Consultoria No. 1364 entre el Departamento
del Huila y Zeolitas AFL Ltda



GOBERNACION DEL HUILA
SECRETARIA DE AGRICULTURA Y MINERIA



ZEOLITAS AFL LTDA
Minerales Zeolíticos



2008

CONTENIDO

AUTORES	5
LISTA DE ABREVIACIONES Y SIMBOLOS	6
RESUMEN	7
INTRODUCCION	8
1.0 GENERALIDADES SOBRE LAS ROCAS FOSFORICAS	10
DESCRIPCION DE LAS ROCAS FOSFORICAS.....	11
MINERIA Y BENEFICIO DE LAS ROCAS FOSFORICAS	12
PRINCIPALES YACIMIENTOS EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA.....	15
LIMITACIONES DE LAS ROCAS FOSFORICAS PARA SU PROCESAMIENTO INDUSTRIAL.....	17
ESTRUCTURA DE PRODUCCION Y COMERCIALIZACION NACIONAL.....	21
FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA AGRONOMICA DE LAS ROCAS FOSFORICAS.....	23
2.0 PRINCIPALES PROCESOS INDUSTRIALES PARA LA SOLUBILIZACION DE LA ROCA FOSFORICA	26
PROCESOS QUIMICOS.....	26
PRODUCCION DE ACIDO FOSFORICO	27
PROCESO DIHIDRATO.....	28
PROCESO HEMIHDRATO.....	28
PRODUCCION DE FOSFATOS DE SOLUBILIZACION TOTAL.....	30
FOSFATOS MONOAMONICO (MAP).....	31
FOSFATO DIAMONICO (DAP).....	32
POLIFOSFATOS DE AMONIO.....	32
SUPERFOSFATO SENCILLO.....	33
SUPERFOSFATO TRIPLE.....	34
NITROFOSFATOS.....	35
PRODUCCION DE FOSFATOS DE SOLUBILIZACION PARCIAL.....	35
PROCESOS FISICOS.....	37
MEZCLAS DE FOSFATOS	37
GANULACION DE ROCAS FOSFORICAS CON AZUFRE	38
TERMOFOSFATOS.....	39
PROCESOS BIOLOGICOS.....	43
FOSFOCOMPOSTACION.....	43
INOCULACION DE MICROORGANISMOS FOSFOSOLUBILIZADORES.....	45.
FOSFATOS PARA PRODUCCION ANIMAL	48

3.0 SELECCIÓN DE LOS PROCESOS DE MODIFICACION A EVALUAR.....	53
CON LA ROCA FOSFORICA DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA	
4.0 DESARROLLO A ESCALA DE LABORATORIO DE LOS PROCESOS	
DE MODIFICACION SELECCIONADOS.....	57
TERMOFOSFATOS.....	57
FOSFATOS DE SOLUBILIZACION TOTAL Y PARCIAL.....	58
BIOSOLUBILIZACION DE ROCAS FOSFORICAS.....	59
EVALUACION AGRONOMICA.....	59
5.0 ANALISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS.....	61
TERMOFOSFATOS.....	61
FOSFATOS DE SOLUBILIZACION TOTAL Y PARCIAL.....	62
EVALUACION AGRONOMICA DE LOS DIFERENTES PROCESOS.....	63
6.0 ANALISIS DEL MERCADO	67
MERCADO NACIONAL PARA LOS PRODUCTOS FOSFORICOS Y	
PROVEDORES ACTUALES.....	69
MERCADO NACIONAL PARA LOS POSIBLES NUEVOS	
PRODUCTOS FOSFATADOS.....	73
7.0 ANALISIS DE PREFACTIBILIDAD ECONOMICA DE LAS	
TECNOLOGIAS EVALUADAS	76
ANALISIS DOFA DE LAS TECNOLOGIAS SELECCIONADAS.....	76
SELECCIÓN MEDIANTE MATRIZ DE PONDERACION DE	
LA TECNOLOGIA A RECOMENDAR	82
8.0 INTELIGENCIA DE MERCADO	109
9.0 DISEÑO BASICO DE INGENIERIA PARA LA TECNOLOGIA SELECCIONADA	114
DISEÑO Y CALCULO DEL EQUIPAMIENTO	
PRINCIPAL.....	116
PLANTA PARA LA PRODUCCION DE MEZCLAS	
FISICAS FERTILIZANTES GRANULARES	118
10.0 ANALISIS DE FACTIBILIDAD EN LA TECNOLOGIA RECOMENDADA	124
FACTIBILIDAD TECNICA.....	125
FACTIBILIDAD ECONOMICA.....	126

11.0	CONCLUSIONES.....	128
12.0	RECOMENDACIONES.....	130
13.0	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	131
14.0	ANEXOS.....	138

AUTORES

VICTOR FRANCISCO CANTERA OCEGUERA (I Q, MSc) (Director del proyecto de consultoría y Representante Legal de ZEOLITAS AFL Ltda)

ELKIN DARIO MATEUS (I Q)

FRANCY MARJORY MUÑOZ OYOLA (I Q)

CARLOS EDUARDO MONTOYA NUÑEZ (GEOLOGO, MSc)

JAIRO AUGUSTO HERRERA CEBALLOS (I A)

JAIRO HUMBERTO LOY ROMERO (Administración de Empresas)

LISTA DE ABREVIACIONES Y SIMBOLOS

AC	Acido cítrico
Af	Acido fórmico
AF	Acido fosfórico
AS	Acido Sulfúrico
BPL	Fosfato tricalcico de hueso (unidad del contenido de P en la roca fosfórica, que indica su grado comercial) (<i>Bone phosphate of lime</i>)
CAN	Citrato de amonio neutro
COP	Peso Colombiano
DRX	Difracción de rayos X
EAR	Eficiencia agronómica relativa
FAO	Organización de las naciones unidas, para la alimentación y la agricultura
DAP	Fosfato diamónico
MS	Cantidad de materia seca del cultivo.
MV	Cantidad de materia Verde del cultivo.
NPK	Fertilizante completo que contiene nitrógeno, fósforo y potasio.
RF	Roca fosfórica
RFAD	Roca fosfórica para aplicación directa
RFFA	Roca fosfórica parcialmente acidulada
RF/S	Roca fosfórica y azufre elemental
SFS	Superfosfato simple, ordinario ó normal
SFT	Superfosfato triple
TIR	Tasa interna de retorno
PRI	Período recuperación de la inversión
USD	Dólar estadounidense
ZN	Zeolita Natural
Al	Aluminio
C	Carbono
Ca	Calcio
Cd	Cadmio
Cl	Cloro
CO ₂	Anhídrido carbónico
Cu	Cobre
F	Flúor
FH	Acido fluorhídrico
Fe	Hierro
K	Potasio
K ₂ O	Oxido de Potasio
Mg	Magnesio
MgO	Oxido de Magnesio
N	Nitrógeno
Na	Sodio
O	Oxígeno
P	Fósforo
P ₂ O ₅	Pentóxido de fósforo
S	Azufre
Si	Silicio
Zn	Zinc

RESUMEN

Se realiza una amplia búsqueda bibliográfica sobre estudios y evaluaciones realizados tanto en departamento del Huila, como nacional e internacionalmente acerca de los parámetros que mas inciden en la caracterización de las RF, los métodos de beneficio mas utilizados, los factores que limitan tanto la aplicación directa de la RF al suelo como su uso industrial, el mercado nacional existente para las RF en Colombia y los factores que lo limitan, así como las características de las diferentes tecnologías ó métodos utilizados internacionalmente para mejorar la eficiencia agronómica de las RF.

Se concluye que la RF estudiadas del departamento del Huila, son mayoritariamente de reactividad media, de acuerdo al valor del contenido de fósforo (P_2O_5) soluble en solución de citrato de amonio neutro, apreciándose una importante reserva física en cuanto a cantidad y calidad de las misma, agrupadas en cuatro minas, Media Luna, La Juanita, San Camilo y La Cañada principalmente. Estas RF de reactividad baja - media, muchas veces requieren ser modificadas industrialmente bajo diferentes métodos para aumentar la fracción de fósforo asimilable por el cultivo y así aumentar con ello su eficiencia agronómica. Con vista a determinar el método mas adecuado a implementar para las RF del departamento, se estudiaron las RF de los yacimientos de Media Luna y La Juanita, en los procesos de acidulación química, termofosfatos y biosolubilización. En una primera etapa se evaluó la respuesta de estos minerales a los procesos de acidulación y termofosfatos a escala de laboratorio, comprendiendo este último proceso tanto la solubilización de la fuente de P, como la reducción del contenido de flúor, a valores permitidos para su uso en la alimentación animal. Las muestras una vez evaluadas a nivel de laboratorio, fueron estudiadas mediante ensayos agrícolas bajo invernadero, utilizando como indicadores los cultivos de maíz y fríjol, apreciándose una favorable respuesta en los métodos químicos y biológicos, respecto a los termofosfatos, lo cual requiere ser validado, mediante ensayos de campo de mayor envergadura y donde se abarque el ciclo vegetativo completo de los cultivos indicadores a utilizar. Ambas RF estudiadas no presentaron diferencias estadística en cuanto a la respuesta agrícola, aunque se observó una mejor respuesta en la RF del yacimiento La Juanita, esta RF también exhibió una mejor disposición a la defluorinación, para su uso en alimentación animal, sobre la RF del yacimiento de Media Luna. El estudio de mercado, junto al análisis de prefactibilidad económica, basado en la evaluación de la matriz DOFA, permitieron establecer que tanto el método de acidulación química como el biológico y el termico para la defluorinación de la RF, pueden ser escalados industrialmente, con lo cual es posible alcanzar un mercado de consumo de RF de mas de 160,000 tm anuales, que es muy superior a las 36,000 tm anuales comercializadas en la actualidad, con ello se lograría un importante desarrollo en el negocio minero en el departamento y una mayor sostenibilidad de la producción agrícola según proyecciones de la secretaria de agricultura y minería del departamento del Huila. Al analizar la estructura de mercado de los fertilizantes en Colombia se observa que solo dos empresas dominan el mercado nacional de los fertilizantes, MONOMEROS COLOMBO-VENEZOLANOS S.A y ABOCOL S.A, siendo las mismas empresas que liderean la importación de fuentes de fósforos desde el exterior mediante el MAP y el DAP, siendo esto una oportunidad para el departamento del Huila, con vista a consolidar una importante industria productora de fertilizantes NPK, a partir de las reservas de RF en este Departamento, lo cual tendrá un impacto favorable desde el punto de vista técnico, económico y social.

Se recomienda la continuación de estos estudios en el 2009, mediante evaluaciones tanto industrial como agrícola, a escalas de mayor representatividad, a fin de lograr la mayor confiabilidad en los resultados finales y las conclusiones y recomendaciones que de ello se puedan derivar.

INTRODUCCION

Para alcanzar la seguridad alimentaria, en países en vías de desarrollo (FAO, 2007), se requiere intensificar de manera sostenible los sistemas de producción agrícola para obtener incrementos en la productividad y generar utilidades económicas.

El fósforo es un elemento nutritivo esencial para las plantas y los animales, dado que es primordial en la vida animal y vegetal, pues hace parte del material genético ADN y es un nutriente primario en el crecimiento de las plantas.

Dado que las rocas fosfóricas (RF) o fosfatos naturales, en su mayoría son altamente insolubles o no asimilables por las plantas y animales de forma inmediata, deben ser convertidas a formas asimilables, mediante variados procesos industriales existentes.

Cerca del 80 - 90 % de las RF producidas internacionalmente (FAO, 1999), se dedican a la elaboración de fertilizantes, en forma de portador simple o combinado con otros nutrientes primarios como el nitrógeno y el potasio, y apenas el 5 % en la industria química.

Poco más del 3 - 5 % restante se utiliza en la siderurgia como complemento a las menas ferríferas pobres en fósforo, en la obtención de acero por el proceso Thomas, el cual también se reutiliza finalmente como fertilizantes y /o acondicionador de suelos.

Generalmente el contenido de fósforo en la roca fosfórica se expresa en por ciento de pentóxido de fósforo (P_2O_5), lo cual indica en cierta forma el grado de pureza del mineral.

Colombia, con un importante potencial agrícola de alrededor de 4 millones de hectáreas cultivables, importa la casi totalidad sus necesidades de fósforo, pese a contar con importantes yacimientos de RF en los Departamentos del Huila, Boyacá y Santander con un estimado total cercano a los 366,78 millones de tm (UPME, 2005), de ellos 138,00 corresponden al Departamento del Huila representando ello un 38 % de la reserva nacional.

La calidad del mineral fosfático en el Departamento del Huila, es muy competitiva con relación a los restantes yacimientos nacionales, obteniéndose contenidos de P_2O_5 entre 15 - 31 %, sin embargo a pesar de estas potencialidades, el nivel de comercialización nacional que se alcanza para la RF de este Departamento es bajo, con un valor de 34,500 tm en el 2004 (UPME, 2005) representando ello un 46 % del total de roca fosfórica producida nacionalmente.

El aumento vertiginoso de los precios para los fertilizantes fosfóricos en los últimos dos años, principalmente en el 2008, tanto en el mercado nacional como internacional, la caída de los precios de exportación algunos productos agrícolas colombianos en el exterior, y la devaluación del dólar norteamericano durante el 2008, han tenido un impacto desfavorable en los costos de producción agrícola y la sostenibilidad de varios cultivos en Colombia, siendo necesario el desarrollo de productos fosfáticos de procedencia nacional, que mejoren la sostenibilidad del sector agropecuario colombiano y reduzcan la dependencia de las importaciones de fuentes de fósforo.

Debido a lo anterior, el Ministerio de Minas y Energía, ha formulado la política de "Mejoramiento de la productividad y competitividad del sector minero", lo cual será posible a través del desarrollo tecnológico de la industria de procesamiento de minerales. En consonancia con lo anterior, la Secretaría de Agricultura y Minería del Departamento del Huila, ha librado un proceso de contratación directa para la realización de una consultoría, la cual tiene como objetivo " **Determinar la mejor alternativa de industrialización de la roca fosfórica del Departamento del Huila**",

considerando los yacimientos en Media Luna, La Cañada , San Camilo y La Juanita, de acuerdo a las condiciones de cada uno y el mercado de los productos factibles de producción técnica y económicamente.

Para lo anterior se ha solicitado evaluar las alternativas tecnológicas de procesamiento industrial : vía ácida, térmica y biotecnológicas, siendo el objetivo de esta información , presentar los resultados obtenidos en el desarrollo de las evaluaciones realizadas , según Proyecto técnico aprobado, por la secretaría de agricultura y minería del Departamento del Huila.

1.0 GENERALIDADES SOBRE LAS ROCAS FOSFORICAS

Se denomina roca fosfórica (FAO, 2007 ; Camacho, 2002) , a las unidades litológicas y compuestos químicos que presentan alta concentración de minerales fosfatados por procesos naturales , usualmente de la serie apatito – francolita ,es también el producto obtenido de la extracción de una mina y del procesamiento subsiguiente de los minerales fosfatados.

Además del mineral fosfato principal, los depósitos de RF también poseen minerales accesorios e impurezas llamadas “ganga “ .

Sedimentos o rocas con menos del 10 % volumétricamente de fosfatos, reciben la denominación de fosfático, pero si el porcentaje de P_2O_5 es superior al 20 % recibe el nombre de fosforita.

En un depósito mineral, el contenido de fosfato, se expresa como porcentaje de pentóxido de fósforo (P_2O_5), el cual es un indicativo de la pureza del mismo. Los depósitos de RF mas importantes son de origen sedimentario (UPME , 2005) , seguidos por complejos ígneos alcalinos ricos en apatito [$Ca_5(F,Cl,OH)(PO_4)_3$], que representan una mezcla entre el fluoroapatito [$Ca_5(F)(PO_4)_3$] , hidroxiapatito [$Ca_5(OH)(PO_4)_3$] y cloroapatito [$Ca_5(Cl)(PO_4)_3$] .

La composición química de los primeros dos minerales es de 55,5 % CaO, 42,3 % P_2O_5 y 53,8 % CaO, 41 % P_2O_5 y 6.8 % Cl respectivamente. El apatito de flúor es el más difundido en la naturaleza, el cual se encuentra en las rocas ácidas, mientras que el apatito con cloruro, aparece en las rocas básicas.

En su estructura cristalina con frecuencia pueden detectarse pequeñas cantidades de magnesio (Mg), hierro (Fe), manganeso (Mn) y en ocasiones elementos del grupo Cerio.

El apatito de la fosforita, constituye también la materia prima para la producción de fósforo elemental , ácido fosfórico y otras sales fosfóricas que se utilizan en las industrias químicas, azucarera y alimentaria, así como en la metalurgia , medicina, fotografía y otras ramas de la industria.

Las especificaciones técnicas para las menas apatíticas y las fosforitas son variables (FAO, 2007) , de modo que una mena apatítica con tenor menor de 33 % de P_2O_5 no serviría para la producción de superfosfatos, pero sería adecuada para la obtención de termofosfatos ,acido fosfórico (AF) , rocas fosfóricas parcialmente aciduladas (RFPA) y nitrofosfatos.

El fosfato natural, siempre contiene pequeñas cantidades de flúor (F) , el cual puede ser recuperado , al pasar los gases resultantes de la acidulación , por una unidad de remoción y lavado de gases. Allí el tetrafloruro de silicio (SiF_4), se transforma en acido fluorsilícico, y con la adición de sodio o calcio, permite obtener las correspondientes sales finales de fluorsilicatos .

Las sales de flúor encuentran un gran campo de aplicación en la elaboración de productos dentales y morteros anti-acidos en la industria de la construcción.

De esta forma, los fosfatos calcinados y acidulados (IMC-Agrico, 2001) pueden ser purificados en su contenido de flúor (F), y ser utilizados como suplemento en la alimentación animal.

En los últimos tiempos , la recuperación de ciertos productos secundarios del proceso de preparación de fertilizantes , permite aprovechar menas mas pobres que las requeridas para la producción exclusiva de los superfosfatos, como por ejemplo la sílice producto de la defloración .

Una de las principales propiedades de la RF para uso agrícola es su reactividad, la cual determina (FAO, 2007; IFDC, 1995) la tasa de disolución del fósforo en el suelo, para su medición se utilizan diferentes medios acuosos (ácido cítrico al 2 %, ácido fórmico al 2 % y solución neutra de citrato de amonio) como medio de extracción de contenido de P del mineral.

DESCRIPCION DE LAS ROCAS FOSFORICAS

Las RF (UPME, 2005) se dividen en dos grupos importantes: las que albergan menas con apatito (rocas ígneas y metamórficas), y las que acumulan las menas sedimentarias llamadas fosforitas, principalmente como francolita y colofanita.

Entre las menas industriales de apatito, se conocen dos grandes grupos: las menas apatíticas propiamente dichas, y las menas complejas con contenidos elevados de apatito.

La fosforita, por otra parte se define como una formación sedimentaria compuesta por diferentes minerales (cuarzo, glaucomita, calcita, materiales arcillosos) y fosfatos, representados fundamentalmente por fluorapatito o minerales cercanos a él. Los fosfatos están representados por la variedad microcristalina denominada francolita y la criptocristalina colofanita. El contenido de P_2O_5 varía de 3 a 36 %.

Las texturas de las fosforitas son variables, pero las de más amplia distribución son las concrecionarias (0.05 – 5 cm, a veces 10-35 cm en cada concreción), granulares, bioclásticas y masivas (microgranulares).

Las fosforitas concrecionarias, yacen en areniscas, arcillas, conglomerados, margas, calizas y otras rocas sedimentarias. Pueden estar diseminadas en estas rocas o formando concentraciones de intensidad variable. Por su composición, los minerales no fosfatados son concreciones arcillosas, glauconíticas o arenosas, el contenido de P_2O_5 en las concreciones varía entre 12 – 35 %.

Las fosforitas granulares son rocas sedimentarias con pequeños oolitos cementados, junto con otras partes de cemento ferro – arcilloso o calcáreo, son también areniscas fosfatadas, raramente calizas o margas, a veces no están cementadas y se presentan como arenas fosfáticas.

Generalmente las impurezas en estas fosforitas son el cuarzo, la glauconita y las arcillas. Las fosforitas bioclásticas se agrupan frecuentemente con las granulares en un solo grupo y oolitos, se localizan conchas y braquiópodos, por ejemplo *Obolus* (hasta 80 % de $Ca_3 P_2O_8$) y *Lingula* (91.47 % de $Ca_3 P_2O_8$). Estas menas con contenidos mayores de 5 % de P_2O_5 , son industriales, ya que su enriquecimiento es viable.

Las fosforitas masivas microgranulares, llamadas a veces "en forma de capa", son rocas de colores variados, bajo el microscopio se observa que ellas están compuestas por pequeños oolitos o granos microscópicos de composición fosfatada, cementadas por material fosfático - carbonatado o fosfato –silíceo.

Es necesario señalar que en estas fosforitas, tanto el mineral cementado, como el cementante, son fosfáticos, y por eso su contenido de P_2O_5 es alto, alcanzando 26 – 28 % e incluso más. El contenido de $Fe_2O_3 + Al_2O_3$ en las RF no debe ser mayor del 2.0 – 2.5 % y el de Sílice (SiO_2) de 8-15 % para su uso industrial.

Las RF (Hammond y Day, 1998) pueden ser utilizadas, ya sea como materia prima para la fabricación industrial de fertilizantes (fosfatos totalmente solubles en agua ó parcialmente acidulados), o bien como fuentes de fósforo para la aplicación directa en la agricultura, este estudio abordará lo relativo al primer caso.

MINERIA Y BENEFICIO DE LAS ROCA FOSFORICAS

La explotación de las menas apatíticas (UIS, 2007 ; UPME, 2005) se realiza tanto por vía subterránea , como a cielo abierto (Ver Fig. 1.1 y Fig. 1.2), en tanto que las fosforitas se extraen fundamentalmente por la segunda vía. En dependencia de la calidad de la fosforita, se explotan capas de hasta 0,25 m en los yacimientos ricos.

Mas de 30 países (UPME, 2005 ; FAO , 2007) minan RF en una escala que va desde algunos miles hasta 50 millones de toneladas anuales, en tanto son mas de 80 los países con recursos o reservas estimadas de rocas fosfatadas .

Los países de mayor desarrollo en el campo de la minería de las RF, utilizan principalmente la minería a cielo abierto, atendiendo a las mayores posibilidades que les ofrece la aplicación de mejores técnicas para alcanzar altos volúmenes de producción con altas productividades , debido al uso de grandes excavadoras , camiones, equipos de barrenación y voladuras altamente productivos, transporte de material hacia la planta de beneficio a través



Fig. 1.1 Yacimiento de roca fosfórica a cielo abierto en Trinidad de Guedes, Matanzas, CUBA



Fig. 1.2 Yacimiento de roca fosfórica a cielo abierto en el norte de Santander, Colombia

de bandas transportadoras o por tuberías, con la mena en forma de lodos.

El proceso de sustitución del método subterráneo de explotación por el de cielo abierto, se realiza en los casos económicamente viables.

En el departamento del Huila (UPME, 2005 ; Camacho, 2002) la RF se extrae principalmente por minería subterránea (Ver Fig. 1.3 y 1.4), con la aplicación de los métodos de cámaras y pilares, y los de tajo largo, a diferencia del depósito de Sardinata (Norte de Santander) que se explota a cielo abierto como se muestra en la Fig. 1.2.

El beneficio del mineral de Media Luna, Aipes, se realiza mediante un secado natural, trituración primaria, clasificación y molienda del producto minero, posteriormente el producto pasa a las tolvas y a una línea de pesaje y ensacado.



Fig. 1.3 Bocamina, yacimiento La Juanita, Tesalia, Huila



Fig. 1.4 Bocamina, yacimiento Media Luna, Aipe, Huila

La Planta de beneficio de FERTIPAEZ S.A en Tesalia (UPME, 2005), presenta un mayor grado de complejidad en su flujo tecnológico de beneficio por la vía seca, disponiendo de: trituración primaria y molienda secundaria, preparación de mezclas en polvo y también una línea de granulados, cuenta además con tres líneas de pesaje y ensacado.

La fosforita beneficiada es vendida a las grandes empresas transformadoras como MONOMEROS COLOMBO – VENEZOLANOS y ABOCOL S.A.

Una especial atención se le presta, considerando los bajos precios de la materia prima mineral, a tres condiciones vitales: garantía de un eficiente sistema de transporte (vías férreas ó carreteras), electrificación y abastecimiento de agua.

Los procesos de beneficio habituales para la RF, en continua mejora por parte de productores e investigadores, presentan tres etapas principales en el proceso:

- o **Lavado** : Area en la que se realiza un proceso de selección granulométrica, desde arcillas fosfatadas, productos finos y guijarros, hasta la eliminación de los residuos de sobremedidas.
- o **Separación medio pesada**: Tiene el objetivo de separar los contenidos mayores de 1 % de MgO en guijarros.
- o **Flotación**: Donde se realiza el proceso final de obtención del producto concentrado.

En algunas plantas (UPME, 2005) se utiliza el " Proceso de Doble Flotación ", donde primeramente se realiza la separación del mineral dolomítico grueso del fosfato (menas de bajo tenor), durante la primera flotación .

Otra alternativa de beneficio utilizada, es el de estabilización de lodos de cola fosfatados de las plantas de beneficio (con muy bajos tenores), con las cenizas del proceso de quemado de carbón que se denomina " cama de combustión fluidizada " , produciendo material friable que puede ser utilizado como enmiendas de suelo para la agricultura.

Para la caracterización cualitativa de los fosfatos en función del contenido químico (Brana, 1986; Hammond y Day, 1992), se utilizan normalmente, las denominaciones siguientes:

- o Contenido de fósforo expresado en % P_2O_5
- o Contenido de fósforo expresado en % T.P.L

T.P.L representa el contenido en mineral útil, fosfato tricalcico (Triphosphat of Lime), expresado como $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ y se usa general para concentrados. Entre el P_2O_5 y T.P.L, existe la relación de $\text{TPL} = 2,185 \text{ P}_2\text{O}_5$.

También se utiliza en la literatura inglesa, la notación "B. P. L " (Bone Phosphate of Lime), el cual es equivalente en valor al TPL.

Los requerimientos de los consumidores de que se les ofrezcan productos cada vez mas valiosos, los descubrimientos de depósitos con contenido bajos de fósforo , el crecimiento constante de la producción agrícola y la necesidad de abaratar los costos de transporte, han impuesto completar el proceso de explotación, con un proceso de beneficio, para aumentar la concentración final de fósforo en el mineral .

Los procesos de beneficios, dependen de las propiedades y modo de presentación de los minerales y rocas, y se agrupan del modo siguiente:

- o **Clasificación granulométrica**, basada en la diferencia de friabilidad entre el mineral fosfático y el estéril.
- o **Clasificación neumática** , aplicada en zonas con déficit de agua, la cual asegura el incremento del contenido de P_2O_5 en 2 – 3 % por la eliminación de las fracciones estériles menores de 70 – 100 μm .
- o **Lavado – deslamado**, aplicado generalmente a las menas friables con contenidos mayores de partículas estériles finas, la cual permite obtener concentrados de hasta 37 – 38 % P_2O_5 .
- o **Flotación**, el cual da buenos resultados, sobre todo en el caso de los apatitos de rocas igneas y metamórficas. El proceso se puede entorpecer en el caso de los fosfato sedimentarios, cuando son muy friables porque producen partículas extremadamente finas, y también porque contienen mineral de ganga que requieren del uso de reactivos especiales.

El contenido de P_2O_5 determina el valor de la mena, así un fosfato con 40 % de P_2O_5 puede ser vendido dos veces mas caro , que un fosfato con 20 % de P_2O_5 , por este motivo en ocasiones se procede a un enriquecimiento por ventilación, eliminándose el polvo margoso fino o calcinándose la mena , lo que permite apartar el carbonato de calcio mediante corrientes de aire. Otras veces la mena se concentra por flotación, pero la mayoría de las veces se valoriza en estado natural, solo con un secado previo.

Estudios realizados (UIS, 2007) para seleccionar la mejor tecnología de beneficio de las rocas fosfóricas , a un grupo de muestras de los diferentes yacimientos del Departamento del Huila , mediante clasificación granulométrica , permitió obtener los valores de composición química que se muestran en la Tabla No.1.1 .

Tabla No. 1.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS MINERALES BENEFICIADOS EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA

Yacimiento	% P_2O_5	% SiO_2	% Fe_2O_3	% CaO	% Al_2O_3	% MgO
Media Luna	31,59	10,79	0,56	39,34	0,79	0,12
La Cañada	24,55	25,05	0,85	38,96	0,45	0,15
San Camilo	28,95	21,36	1,06	34,72	0,93	0,13
La Juanita	24,46	19,62	0,43	36,61	0,45	0,20

Como se observa, la RF del yacimiento de Media Luna presenta un contenido superior de P_2O_5 , teniendo todas las minas contenidos aceptables de R_2O_3 ($Fe_2O_3 + Al_2O_3$).

Un análisis de concentración de P_2O_5 , (UIS, 2007) en las diferentes fracciones de partículas para las RF de los cuatro yacimientos evaluados, permitió concluir que solo el Yacimiento de Media Luna mostró una recuperación significativa de los contenidos finales de P_2O_5 como se muestran en la Tabla No. 1.2, mediante el método de clasificación granulométrica, en el resto de los casos, dada la poca variabilidad de la concentración de P_2O_5 en las diferentes fracciones granulométricas, no se justifica una inversión para este proceso.

Tabla No. 1.2 SELECCIÓN DE LAS MALLAS DE CORTE PARA LA OBTENCIÓN DE PRODUCTOS CON ELEVADO CONTENIDO DE P_2O_5 PARA LA MINA DE MEDIA LUNA

TRITURACION Malla de Corte, (Serie Tyler)	MOLIENDA Malla de Corte, (Serie Tyler)	Producto con alto contenido			Producto con bajo contenido		
		% P_2O_5	% Recup. Material	% Recup. P_2O_5	% P_2O_5	% Recup. Material	% Recup. P_2O_5
-10 / +100	-10 / +100	34.18	64.49	69.82	27.53	34.86	30.16
-20 / + 100	-20 / +100	35.40	31.19	35,50	30.11	68.11	64.50
-20 / + 100	-20 / + 80	35,50	30,12	33,63	30.22	69.88	66.47

El proceso de beneficio del mineral, genera dos corrientes salidas en el proceso, una la del mineral mejorado cuya concentración se incrementa y otra del mineral rechazado, cuya concentración es menor, debido a ello la mejor solución a adoptar en cada caso, debe ser aquella que propicie un incremento en la concentración del mineral con un mínimo de fracción de rechazo, siempre y cuando se justifique desde el punto de vista económico, es decir que el ingreso económico que se va a alcanzar por la comercialización del mineral enriquecido, supere las pérdidas ocasionadas por el valor del mineral rechazado.

Dado que: a) el objetivo de este estudio, es evaluar diferentes tecnologías para la modificación industrial de la roca fosfórica, b) que los contenidos de P_2O_5 no presentan variaciones significativas entre los diferentes tamaños de partículas de cada muestra, con excepción de la roca fosfórica del yacimiento de Media Luna, como se mostró en la Tabla 1.2, c) se ha comprobado que la acidulación parcial de las RF (Chien and Menon, 1995) presenta en muchos casos eficiencias agronómicas relativas, comparables a los fosfatos de solubilización completa (SFT y DAP), no se justifica económicamente realizar una inversión para el beneficio de las rocas fosfóricas en el Departamento, siendo más aconsejable, estudiar el grado de fineza que se requiere en cada uno de los procesos o tecnologías a evaluar, a fin de obtener el máximo de conversión posible en el contenido de fósforo insoluble, a formas solubles ó asimilables por el cultivo.

PRINCIPALES YACIMIENTOS DE ROCAS FOSFORICAS EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA

En Colombia, se reportaban legalmente (UPME, 2005) 16 contratos de concesión, contratos en virtud de aporte y licencias de explotación en los Departamentos de Norte de Santander, Boyacá y Huila, cuya titularidad cubre un total de 17 676 ha.

En el Departamento del Huila, las concentraciones fosfáticas se albergan en las secuencias sedimentarias marinas de la formación monserate del cretáceo superior (Campaniano – Maastrichtiano), estando compuestas preferentemente por areniscas de colores grises claros con granos de cuarzo, gruesos hacia el techo y gradualmente pasan a medios en la base, presentando intercalaciones de limonitas, cherts, arcillositas y niveles fosfáticos.

Las localidades de interés económico (UPME, 2005; Camacho, 2002) son: **Palermo, La Guagua, Barayá, Aipe, Media Luna, Teruel, Yaguara y Tesalia.**

En **La Guagua** se estimaron reservas inferidas por 12 millones de toneladas, con espesores de 0.5 – 1.6 m y tenores de 19- 28 % de P_2O_5 .

Para el sector **Barayá (Los Pinos – Los Andes)**, en capas fosfáticas de hasta 2 m y contenidos hasta 28 % de P_2O_5 , se estiman reservas inferidas por 20 millones

Sinclinal de **Mapatá (Media Luna)** -El espesor de la capa principal (nivel inferior de la formación), es de 0,65 – 1,0 m, los tenores de P_2O_5 varían entre 25 – 30,8 %, las reservas alcanzan 17 millones de toneladas.

Teruel – La Juanita- Situada al suroeste de Neiva, en los alrededores de Tesalia, presenta dos capas económicamente explotables, con espesores de 0,9 – 2,2 m y tenores entre 15 – 25 % de P_2O_5 , las reservas inferidas se calcularon en 15 millones de toneladas.

Yaguara - Al suroeste de Neiva, en la vecindad del poblado homónimo, fueron determinadas las capas fosfáticas de interés económico, presentándose dos sectores:

- Sector occidente – sur** : El espesor acumulado para las capas explotables, varía de 1 a 2.4 m y el tenor de P_2O_5 varía entre 18 – 31 %. Las reservas inferidas calculadas, alcanzan 5 millones.
- Sector norte – noreste** : El espesor acumulado explotable, sufre rápidos cambios entre 0.7 y 2.0 m, y el tenor cambia desde 13 % hasta 23 % de P_2O_5 , estimándose en 10 millones de toneladas de reservas inferidas.

Norte de Tesalia – El nivel fosfático inferior contiene una capa de fosforita con espesores de 0,8 – 1,2 m y tenores de 20 – 31 % de P_2O_5 , Las reservas inferidas son del orden de 6 millones de toneladas.

En la Tabla No. 1.3, se presenta un resumen de las reservas inferidas para el Departamento del Huila.

Tabla No. 1.3 RESERVAS DE RF EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA
(Mt – millones de TM)

Depósitos	Reservas Inferidas (Mt)	Contenido de P_2O_5 (%)
La Guagua	12	19-28
Baraya	20	15-28
Media Luna	17	25 – 34
Teruel	15	15 – 25
Yaguara	15	13 – 31
Norte de Tesalia	6	20 – 31

Fuente: UPME, 2005

Las reservas de RF (Alvarado L y Barreto, 2005; CYTED, 2005) reportadas en Colombia se muestran en la Tabla No. 1.4.

**Tabla No. 1.4. RESERVAS DE RF EN COLOMBIA (M t)
(M t – millones de tm)**

Departamento	Reservas medidas	Reservas indicadas	Reservas inferidas	Contenido de P_2O_5	Total
Norte de Santander	5,25	33,83	6,04	15 – 30 %	45,12
Santander	0,12	32,60		10 – 29 %	32,72
Boyacá	7,44	63,60	69,60	17 – 26 %	140,64
Huila		65,00	73,00	15 – 31	138,00
Tolima			10,00	16 – 27	10,00
TOTAL	12,81	195,03	158,64		366,48

Como se observa, el Departamento del Huila, con una reserva total de 138,0 Mt, representa el 38 % del total nacional, lo cual equivale a cerca de 34.5 millones de tm de P_2O_5 .

LIMITACIONES DE LAS ROCAS FOSFORICAS PARA SU PROCESAMIENTO INDUSTRIAL

La adecuación de un mineral fosfático para su uso en la industria (FAO, 2007; Chien y Mennon, 1995), requiere tener en cuenta una serie de criterios, que aseguren el éxito de la selección desde el punto de vista técnico y económico, siendo los mismos:

- o **El contenido de P_2O_5 .** El contenido de P_2O_5 en la RF, no debe ser inferior a un 26 %, para una adecuada concentración de fósforo en el producto final. Ello determina que los gastos de transportación y conversión sean económicamente aceptables, en este aspecto debe también tenerse en cuenta la reactividad de la RF, para asegurar que la tasa de disolución o solubilidad del mineral en el suelo, sea similar a las necesidades del cultivo, lo cual debe comprobarse mediante análisis de reactividad y pruebas agronómicas de campo.
- o **Relación CaO / P_2O_5 .** Debe asegurarse que el valor de este parámetro no exceda de 1.6, de lo contrario se incrementará la demanda de ácido y los costos de producción, para alcanzar una solubilidad dada de la fuente de P, de lo contrario el proceso se vuelve antieconómico.
- o **Relación MgO / P_2O_5 .** No debe superar el valor de 0.022, para evitar un incremento en la demanda de ácido en el proceso de acidulación, además de ser perjudicial en el proceso de producción de AF.
- o **Relación $R_2O_3 (Al_2O_3 + Fe_2O_3) / P_2O_5$.** El valor máximo debe ser 0,10, a fin de evitar que se presenten contenidos altos de fósforo insoluble, en las formas de fosfatos de aluminio y hierro respectivamente, tanto en los fosfatos como en la producción de AF.

- o El **contenido de SiO₂**, no deberá ser superior a 8-15 % para uso industrial, aunque para termofosfatos debe procurarse un máximo de 5 %, para evitar formación excesiva de sedimentos en el interior del horno.

Todas las RF poseen elementos químicos peligrosos ó tóxicos que comprenden metales pesados, tales como cadmio (Cd), cromo (Cr), mercurio (Hg) y plomo (Pb), y elementos radioactivos como el uranio (U), que son considerados peligrosos para la salud humana y animal (Mortvedt y Sikora, 1992).

Las RF que contienen fluoroapatitos, poseen relativas altas concentraciones de flúor (F), excediendo a menudo el 2 - 3 por ciento en peso (250 mg F / kg P), debiendo ser considerado este valor como un máximo.

En la Tabla 1.5, se aprecia una comparación de los parámetros anteriores, para las rocas fosfóricas de los yacimientos del departamento, a partir de las composiciones químicas mostradas en la Tabla No. 1. 1

Tabla No. 1.5 ANALISIS COMPARATIVOS DE LOS RF DE LOS YACIMIENTOS DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA PARA SU PROCESAMIENTO INDUSTRIAL

Parámetros	Límite	Yacimientos			
		Media Luna	La Cañada	San Camilo	La Juanita
% P ₂ O ₅	26 min	31,6	24,6	28,9	24,5
CaO / P ₂ O ₅	1.6 max	1.245	1.59	1.20	1.5
MgO / P ₂ O ₅	0.022 max.	0.004	0.008	0.005	0.008
R ₂ O ₃ / P ₂ O ₅	0,10 max.	0.043	0.053	0.069	0.036
% SiO ₂	8-15 max.	10,79	25,05	21,36	19,62

Los resultados de la Tabla No. 1.5, demuestran la calidad superior del mineral del yacimiento de Media Luna respecto a los restantes en los parámetros seleccionados, aunque en todos los casos es posible aplicar el proceso de acidulación, bien para la obtención de RFPA o para la obtención de AF, debiendo ser los costos de operación, los que definan las ventajas de un mineral sobre otro.

Para la posible obtención de termofosfatos o en procesos de calcinación para defluorinar la RF, debe prestársele una adecuada atención a los contenidos de sílice, de los yacimientos de La Cañada, San Camilo y La Juanita, los cuales según los valores mostrados en la Tabla No.4, pueden ser causales de incrustaciones en los equipos durante los períodos de operación.

En la Tabla No. 1.6, se muestran según análisis conceptual estequiométrico de las reacciones a llevar a cabo en los procesos de acidulación, y considerando la composición química de cada mineral mostradas en la Tabla No. 1, el contenido final de fósforo de los posibles productos obtenibles para cada uno de los yacimientos referidos.

Tabla No. 1.6 POSIBLES PRODUCTOS A OBTENER MEDIANTE LA ACIDULACION DE LAS ROCAS FOSFORICAS DE LOS YACIMIENTOS DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA.

Yacimiento	Acidulación al 100 % con Acido Fosfórico		Acidulación al 40 % con Acido Fosfórico		Acidulación al 40 % con Acido Sulfúrico	
	% P ₂ O ₅ total	% P ₂ O ₅ asim	% P ₂ O ₅ total	% P ₂ O ₅ asim	% P ₂ O ₅ total	% P ₂ O ₅ asim
Media Luna	43,0	43,0	38,6	18,4	27,1	10,9
La Cañada	35,8	35,8	29,5	16,8	20,1	8,0
San Camilo	37,4	37,4	32,5	17,1	24,4	9,7
La Juanita	35,4	35,4	29,6	16,4	20,7	8,3

De los resultados anteriores, se observa que para la obtención de superfosfatos de alta concentración de fósforo (SFT y DAP), la RF de Media Luna resulta la más adecuada, al esperarse un mayor contenido final de P₂O₅ en el fertilizante con un menor consumo de ácido, sin embargo el resto de los yacimientos pueden también ser explotados adecuadamente para la producción de fosfatos parcialmente acidulados, debiendo definirse la mejor opción en base a los indicadores económicos de producción y la respuesta agronómica a obtener en cada caso.

En la Tabla No. 1.7, se muestra el costo material de producción del P₂O₅ total y P₂O₅ asimilable, de cada yacimiento, considerando igualdad de condiciones en todos los casos, al considerar un precio en la RF de 220,000 \$COP/tm, AF 1 150 000 \$COP/tm y AS 460,000 \$COP/tm.

Tabla No. 1.7. ESTIMADOS DE LOS COSTOS FINALES DE LOS PROCESOS DE ACIDULACION PARA CADA YACIMIENTO DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA (COP / kg P₂O₅)

Yacimiento	Acidulación al 100 % con Acido Fosfórico		Acidulación al 40 % con Acido Fosfórico		Acidulación al 40 % con Acido Sulfúrico	
	\$COP / kg P ₂ O ₅ total	\$COP / kg P ₂ O ₅ asim.	\$COP / kg P ₂ O ₅ total	\$COP / kg P ₂ O ₅ asim.	\$COP / kg P ₂ O ₅ total	\$COP / Kg P ₂ O ₅ asim.
Media Luna	1239	1239	1017	2115	1155	2889
La Cañada	1399	1399	1248	2188	1547	3644
San Camilo	1237	1237	1066	2027	1173	2933
La Juanita	1371	1371	1214	2183	1399	3499

En la Tabla No. 1.8 se muestran los consumos específicos de RF y AF al 100 % de cada yacimiento evaluado, para obtener el fertilizante fosfático 0-35-0.

**Tabla No. 1.8 DEMANDAS DE ROCA FOSFORICA Y ACIDO FOSFORICO AL 100 % (kg/tm)
PARA OBTENER EL FERTILIZANTE FOSFÁTICO 0 – 35 – 0, EN CADA YACIMIENTO**

Yacimiento	% de Acidulación requerida	Índice de Consumo (kg/tm)		Costo Material (\$COP / kg)
		Roca Fosfórica	Acido Fosfórico al 100 %	
Media Luna	25	899	81	334,1
La Juanita	100	754	226	485,8
La Cañada	100	740	240	500,7
San Camilo	70	829	152	408,9

En base a los resultados , presentados en las Tablas No. 1.7 y 1.8 respectivamente , sobre la eficiencia relativa de los diferentes yacimientos de RF en el Departamento del Huila, para la obtención de superfosfatos y RFPA , se puede concluir preliminarmente que :

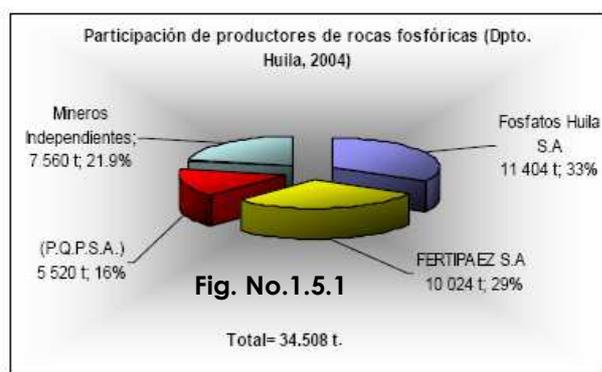
- El orden de efectividad en el uso de las RF del Departamento del Huila, mediante acidulación , referente a concentración final de P_2O_5 final es: Media Luna > San Camilo > La Juanita > La Cañada , no obstante este criterio no es definitorio y se requiere llevar cabo ensayos de campo , a fin de evaluar las respuesta agronómica de cada una de las RFPA obtenidas.
- Es posible a partir de las diferentes calidades de las rocas fosfóricas del Departamento , lograr la producción de un fertilizante 0-35-0 (N- P_2O_5 - K_2O) granular, debiendo estudiarse posteriormente, las vías para lograr la mas efectiva integración de las reservas de rocas fosfórica al proceso seleccionado , de forma tal que se obtenga un producto , de eficiencia agronómica y costos competitivos con los del mercado .
- Para la relación de precios consideradas como base en la Tabla No. 1.7, la acidulación con AF se presenta mas ventajosa en lo económico que la de AS, al obtenerse concentración superiores en el contenido final de P_2O_5 , lo cual reduce gastos de transportación y aplicación en campo.

El precio minorista de adquisición de un bulto de DAP (18-46 – 0) para los productores agrícolas colombianos al cierre de Noviembre del 2008 ,(AGRONET, 2008) fue de 2600 \$COP/kg, ello significa que el costo de la tm de P_2O_5 fue de 5652 \$COP / kg , es decir 5,6 veces superior al costo material directo que conllevaría la producción de una RFPA al 40 % con AF , a partir del mineral del yacimiento de Media Luna, lo cual indica la conveniencia de llevar a cabo un proceso de industrialización de las reservas de RF en este Departamento, donde se consideren los cuatro yacimientos analizados en este estudio, para lo cual será necesario la realización de ensayos de laboratorio y agronómicos a gran escala , para determinar la proporción optima de cada mineral proveniente de las cuatros minas consideradas , en el mineral de entrada a la planta de transformación Industrial propuesta.

Se concluye que la RF del yacimiento Media Luna , presenta características superiores a las restantes en el contenido de P_2O_5 y relación P_2O_5 / CaO , lo que significa un menor requerimiento acido para su posible acidulación y una mayor concentración final de P_2O_5 en el producto final , esto conlleva por ende un menor costo unitario en el P_2O_5 total y P_2O_5 asimilable, que para las restantes rocas fosfóricas del Departamento , no obstante ello , en el resto de las rocas fosfóricas se aprecian también condiciones favorables para el proceso de acidulación, lo cual puede justificar un posible proyecto de industrialización o transformación tecnológica, que abarque la totalidad de las reservas mineras del Departamento.

Lo anterior es importante, atendiendo a la elevada demanda de RF que requerirá el proceso de industrialización a seleccionar, el cual podrá beneficiar a la totalidad de los productores mineros del departamento y fortalecer así el negocio minero, como lo solicita y viene trabajando en función de ello, la Secretaría de Agricultura y Minería del Departamento del Huila.

ESTRUCTURA DE PRODUCCION Y COMERCIALIZACION NACIONAL DE LA ROCA FOSFORICA



La producción de RF en el Departamento (UPME, 2005) se realiza a través de los productores Fosfatos del Huila S.A, FERTIPAEZ, S.A y Productos Químicos Panamericanos, S.A, como se muestra en la Fig. No. 1.5.1

A ellos también se unen algunos mineros individuales, formales e informales, parte de los cuales se encuentran en proceso de creación de cooperativas, que venden su producción mineral a diferentes destinos.

La mayor parte de la minería individual, se realiza también por la vía subterránea, donde se puede notar que el manejo de la técnica minera no difiere mucho del que llevan a cabo, las empresas formalmente constituidas.

Tanto el acarreo del mineral como el estéril, se ejecutan por vagonetas de tracción mecánica sobre rieles, con capacidad de 1000 – 1300 kg o en algunos casos mediante carretillas.

En el marco de la cadena del mercado nacional de las RF, se distinguen tres actores, antes de llegar al consumidor final: productores mineros, transformadores de RF y comercializadores.

En la cadena productiva, los productores mineros abastecen a los pequeños molineros, los que compran la RF en rajón. Esta RF después de molida, se comercializa para aplicación directa al suelo, o como mezclas físicas con otros componentes como dolomita, cal y otras enmiendas de suelo, a los ganaderos y agricultores individuales.

Por su lado, las empresas distribuidoras comercializan los productos adquiridos de las superdistribuidoras.

El consumidor final, es el último eslabón de la cadena, haciendo parte del grupo desde las grandes federaciones nacionales de productores agrícolas y cooperativas, hasta el pequeño agricultor y ganadero, que hacen uso directo de la roca fosfórica simplemente molida, hasta sus derivados más complejos. Ellos adquieren el producto por compra directa al distribuidor de las grandes, medianas y pequeñas empresas transformadoras y en menor proporción, de los pequeños productores de RF molida.

La formación de precios se genera teniendo en cuenta los costos del productor, según el tamaño de planta y economía de escala, fijando cada uno el precio a sus productos,

Los medianos y grandes transformadores, importan RF y derivados a precios muy competitivos, por negociar cargas compensadas y manejar sobre todo los mayores volúmenes de importaciones

de estos y otros insumos que requieren en sus procesos productivos, lo que les posibilita disminuir los costos de importación.

Si a lo anterior, se añade el hecho de que los importadores de RF, no se ven motivados a sustituirla definitivamente por el producto nacional, por problemas de calidad y costos, se puede comprender, la necesidad de rediseñar una estrategia de comercialización, para la RF de este departamento, a partir de un incremento en su valor agregado, que permita potenciar su uso y comercialización en los diferentes segmentos de la economía donde puede ser incorporado las fuentes de fósforo nacional.

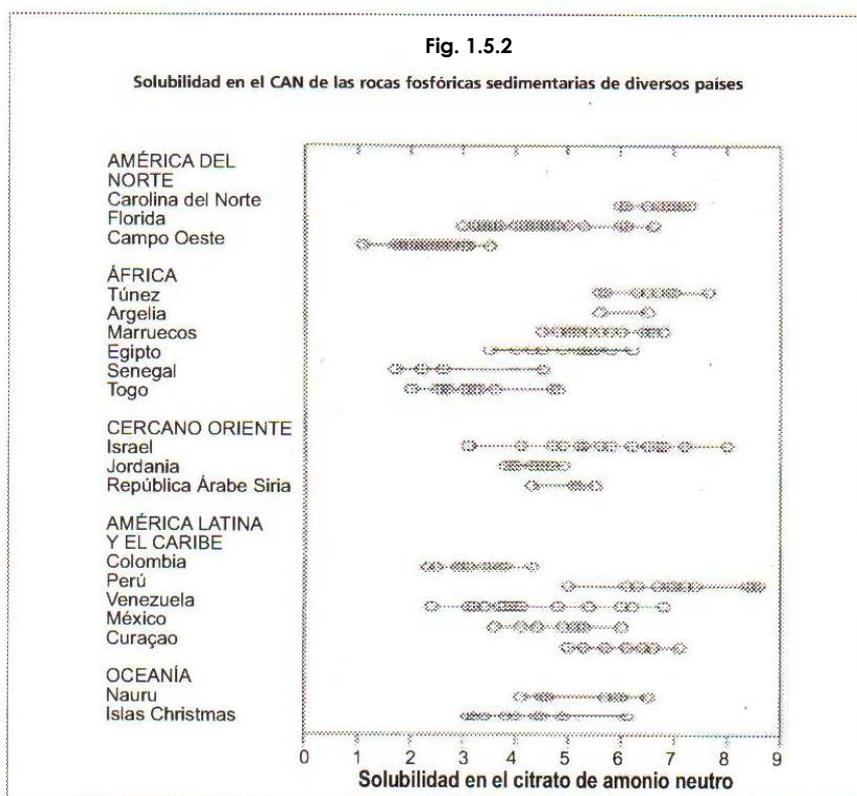
La tendencia pronosticada por FAO para los años 2002 – 2006 (FAOSTAT, 2001), sobre las perspectivas de la producción y uso de los fertilizantes, (Ver Tabla No.1. 9) mostraba que la tendencia en Latinoamérica, para esos años era la de importar, con un aumento sostenido de su déficit en los volúmenes anuales que oscilarían entre los 2.0 y 2.4 millones de toneladas.

Tabla No. 1.9 BALANCE DE LA OFERTA Y DEMANDA DE FERTILIZANTES FOSFATADOS SEGÚN FAO

(Mt)					
A. Latina	2001 / 02	2002 / 03	2003 / 04	2004 / 05	2005 / 06
Disponible	876	851	820	851	837
Demanda de fertilizante	2 743	2 846	2 959	3 082	3 203
Superávit (- déficit)	(1 867)	(1 995)	(2 139)	(2 231)	(2 366)

FUENTE: FAOSTAT 2001

Para Colombia (UPME, 2005), lo anterior pudiera convertirse en una oportunidad, para incrementar la producción, sin embargo para ello será necesario promover la investigación, el desarrollo tecnológico y las inversiones que permitan incrementar las reservas con la calidad y costos de producción, bajo un esquema técnico, económico, social y ambiental competitivo que permita suplir el déficit estimado, así como lograr la transformación industrial del mineral fosfórico, en productos de alta demanda y competitivos económicamente.



Fuente: adaptado de Van Kuuwenbergh, 1995.

Por lo anterior, la estrategia para potenciar la comercialización de las reservas de RF en el Departamento del Huila, no debe estar basada solamente en continuar suministrando RF a las empresas transformadores, ya que este sería un esquema frágil para el negocio de la RF en Colombia, atendiendo a las importantes reservas de RF en países cercanos como Perú y Venezuela, con una calidad superior de estos minerales fosfáticos respecto al colombiano, en cuanto a reactividad, como se muestra en la Fig. 1.5.2, sino también debe trabajarse en incursionar en nuevas tecnologías que permitan obtener nuevos productos de menor costos que los actualmente importados o comercializados en el mercado colombiano, a fin de ir sustituyendo poco a poco el consumo de fuentes de fósforo importado por fuentes de producción nacional, donde se presenta un mercado potencialmente interesante, para ello.

FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA AGRONÓMICA DE LAS RF.

Entre los factores (FAO, 2007; Rajan et al, 1996) que afectan la eficiencia agronómica de las RF, se encuentran.

- Reactividad de las rocas fosfóricas
- Propiedades del suelo
- Las condiciones climáticas
- Especies cultivadas
- Las practicas de manejo

La reactividad de las RF es una medida de la tasa de disolución del contenido de P bajo condiciones estándar de laboratorio, en un suelo dado ó bajo ciertas condiciones de campo.

La composición química y el tamaño de partículas, determinan la reactividad de las RF, siendo las RF de origen sedimentario las mas reactivas. Las propiedades químicas que influyen la reactividad de las RF son la estructura del cristal de fosfato (apatita) y la presencia de minerales accesorios, especialmente el carbonato de calcio, incrementando la sustitución de fosfato por carbonato en la estructura del cristal, lo cual generalmente aumenta la reactividad de las RF, como se muestra en la Tabla 1.10.

Tabla 1.10 P₂O₅ total, P₂O₅ soluble en ácido cítrico neutro y Relación CO₃ /PO₄ de la apatita en varias rocas fosfóricas

FUENTE DE RF ^a	CO ₃ / PO ₄	P ₂ O ₅ total (% de la roca)	P ₂ O ₅ soluble en CAN ^b
Carolina del Norte, EEUU	0,26	30,0	7,6
Arad, Israel	0,20	32,4	7,1
El-Hassa, Jordania	0,16	31,3	5,8
Hahotoe, Togo	0,11	36,8	3,9
Idaho, EEUU	0,08	32,3	3,5
Kaiyang, China	0,05	17,6	3,4
Araxa, Brasil	<0,01	36,1	2,8
Dorowa, Zimbabwe	<0,01	33,1	1,9
Sukulu Hills, Uganda	<0,01	41,0	1,6

a. molida a un tamaño menor de 100 mesh (< 0,15 mm)

b. ácido cítrico neutro, segunda extracción

En un estudio para comparar varios métodos de laboratorio con vista a predecir el potencial agronómico de las RF para aplicación directa, Chien y Hammond (1978), observaron que la

solubilidad de dos RF colombianas de bajo grado de Huila (FERTIPAEZ S.A) y Pesca (Fosfatos de Boyacá, S.A) , pareció aumentar con respecto a otras fuentes cuando la solubilidad fue expresada como porcentaje de P₂O₅ total , mas que como porcentaje de la RF (Ver Tabla 1.11) . Por ejemplo la RF del Huila (FERTIPAEZ) y la RF de Florida Central , tienen casi la misma solubilidad expresada como porcentaje de la roca, pero cuando la solubilidad fue expresada como porcentaje de P₂O₅ total , la RF del Huila, pareció tener una solubilidad mas alta que la RF de Florida Central , EEUU.

Tabla 1.11 Solubilidad en citrato de amonio neutro de las RF con diversos contenidos de P₂O₅ total.

FUENTE DE RF	% P ₂ O ₅ total	Solubilidad en CAN	
		% de la RF	% P ₂ O ₅ total
Huila , Colombia	20,9	3,5	16,2
Pesca, Colombia	19,8	1,8	9,5
Sechura, Perú	29,9	5,3	18,0
Gafsa, Túnez	29,9	5,5	18,6
Carolina del Norte, EEUU.	30,0	6,7	22,4
Florida Central , EEUU	32,7	3,2	9,7
Tennesse, EEUU	30,1	2,8	8,9

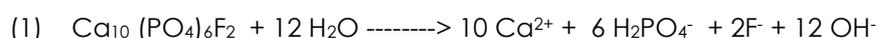
Fuente: Chien y Hammond, 1978

Dado que las RF son materiales relativamente insolubles, el tamaño de sus partículas tiene un efecto importante en su tasa de disolución en el suelo, cuanto mas fino es el tamaño de la partícula, mayor es el grado de contacto entre la RF y el suelo, y por lo tanto mas alta es la tasa de disolución.

La aplicación de una RF finamente molida (normalmente menor de 0,15 mm), favorece el aumento de la tasa de disolución y la absorción de P en un suelo dado, lamentablemente debido a su naturaleza pulvorenta, la aplicación de materiales finamente molidos, presenta dificultades prácticas.

Para que una RF dada sea agrónomicamente eficiente, no solamente debe disolverse, sino que también debe estar disponible para las plantas. Las propiedades del suelo que favorecen la disolución de las RF son un pH ácido (menos de 5.5), una baja concentración de iones Ca en solución , un bajo nivel de fertilidad en P y un alto contenido de materia orgánica.

La disolución de la RF, puede expresarse mediante la ecuación:



Si bien la reacción arriba indicada, corresponde a una RF del tipo fluor-apatita, se aplica también a los otros minerales del grupo de las apatitas, que comprenden las RF reactivas.

Para una disolución (FAO,2007) continua de la RF es también importante que otro producto mayor de la reacción, o sea el ion Ca²⁺ , sea eliminado o que su concentración en la solución sea mantenida a un nivel mas bajo en la lámina alrededor de la partícula de la RF que se esta disolviendo. Es posible obtener estas condiciones, si hay suficientes sitios de cambio catiónico en el suelo disponible, para absorber los iones Ca²⁺ liberados o si el Ca²⁺ es lixiviado fuera de la zona de disolución de la RF . Basado en lo anterior (Barbarick, 1988), se han realizado varias investigaciones con resultados prometedores en el uso de la zeolita natural modificada en su

forma amónica ó ácida , como via para solubilizar fuentes de P en RF, según se muestra en las ecuación (2) y (3).



Según lo anterior (Diamond, 1979), y basado en datos del IFDC sobre la efectividad relativa de los medios de extracción y los resultados de una gran variedad de experimentos de laboratorios y ensayo de campo , se propuso un sistema de clasificación de reactividad en tres categorías (baja, media y alta), según las solubilidades en ácido cítrico neutro, el ácido cítrico al 2 por ciento y el ácido fórmico al 2 por ciento , como se muestra en la Tabla 1.12

Tabla 1.12 Clasificación de las RF para la aplicación directa, según su solubilidad y respuesta inicial esperada

POTENCIAL DE LA RF	Solubilidad (% P ₂ O ₅)		
	Citrato de Amonio Neutro	Acido Cítrico	Acido Fórmico
ALTO	>5.4	> 9,4	> 13.0
MEDIO	3.2 – 4.5	6.7 – 8.4	7.0 – 10.8
BAJO	< 2.7	< 6.0	< 5.8

Hammond y León (1983) , propusieron un sistema de cuatro clases de solubilidad (alta, media, baja y muy baja), basado en la efectividad agronómica relativa y el P₂O₅ soluble en el ácido cítrico neutro, como se muestra en la Tabla 1.12

Tabla 1.12 Sistema de clasificación de algunas RF de América del Sur según su solubilidad y Eficiencia Agronómica Relativa

P ₂ O ₅ Soluble en CAN (% P ₂ O ₅)	EAR ¹	Clase de solubilidad
> 5,9	> 90	ALTA
3,4 - 5,9	90 – 70	MEDIA
1,1 – 3,4	70 – 30	BAJA
< 1,1	< 30	MUY BAJA

1: EAR = [(rendimiento tratamiento-RF)-(rendimiento control)] / [(rendimiento tratamiento-SFT)-(rendimiento control)] x 100
Fuente: Hammond y León, 1983.

Otra propiedad de los suelos que incrementa la disolución de las RF y su disponibilidad para las plantas (Chien et al, 1990) es la materia orgánica del suelo. Esto parece ser la resultante de la alta capacidad de intercambio catiónico de la materia orgánica , la formación de complejos Ca-materia orgánica y la presencia de ácidos orgánicos que disuelven la RF y bloquean los sitios de absorción del P en el suelo. El contenido de la materia orgánica en suelos tropicales es generalmente menor del 2 por ciento. Los iones orgánicos y el humus, pueden también reducir la capacidad de retención , de adsorción del P y la formación de complejos con los óxidos hidratados de hierro y aluminio, resultando en un aumento de la concentración de P en el suelo.

La precipitación pluvial es dentro de las condiciones climáticas , el factor mas importante que influencia la disolución de la RF y su eficiencia agronómica. El aumento del agua en el suelo,

resultante de la lluvia o del riego incrementa la disolución de la RF. La incorporación de cal tiene un efecto negativo sobre la disolución de la RF en el suelo debido a que incrementa la concentración de Ca^{2+} en la solución y reduce la acidez del suelo, sin embargo el encalado puede incrementar la disponibilidad del P disuelto para los cultivos mediante el incremento del pH del suelo y la reducción de la toxicidad del Aluminio.

2.0 PRINCIPALES PROCESOS INDUSTRIALES PARA LA TRANSFORMACION DE LA ROCA FOSFORICA

Existen situaciones donde las RF aplicadas directamente no son efectivas, en estos casos es posible utilizar diversos procesos ó tecnologías para incrementar su eficiencia agronómica y hacer que los productos sean económicamente mas atractivos , para ello a continuación se describirán (FAO, 2007) brevemente un grupo de tecnologías que a partir del uso de la RF, permiten incrementar su Eficiencia Agronómica, es decir propiciar un mayor aporte de fósforo al desarrollo vegetativo del cultivo , las mismas se dividen en tres grupos de procesos :

- PROCESOS QUÍMICOS
- PROCESOS BIOLÓGICOS
- PROCESOS FÍSICOS

Dentro de los procesos químicos se consideran los relativos a la reacción de la RF con diferentes medios ácidos, siendo los mismos:

- PRODUCCION DE ACIDO FOSFORICO
- PRODUCCION DE FOSFATOS DE SOLUBILIDAD TOTAL
- PRODUCCION DE FOSFATOS DE SOLUBILIZACION PARCIAL

En los procesos biológicos se consideran las variantes de:

- INOCULACION DE MICROORGANISMOS FOSFOSOLUBILIZADORES EN EL SUELO.
- FOSFOCOMPOSTAS

Los procesos físicos comprenden, la transformación de la RF a altas temperaturas en presencia de productos fosfosolubilizadores como sílice, propiciando así un aumento de la reactividad del mineral fosfórico. Dentro de este grupo, también se incluye la mezcla de fosfatos de diferentes solubilidades, así como la granulación de RF con azufre.

PROCESOS QUÍMICOS

Los procesos químicos para la solubilización de las AF (FAO, 2007), abarcan diferentes reacciones entre la RF y ácidos inorgánicos de síntesis química, entre los que se destacan el AS , AF , ácido clorhídrico y ácido nítrico .

La reacción antes referida puede realizarse en dos variantes, a) cuando se utiliza la totalidad del ácido estequiométrico requerido para solubilizar todo el apatito contenido en la RF , obteniendo así un fosfato de solubilización total , y b) cuando se utiliza una parte de la cantidad del ácido estequiométricamente requerido , para producir un fosfato parcialmente acidulado o solubilizado .

En los últimos años, se han llevado a cabo , muchas investigaciones (FAO,1999 ; IFA, 1998 , FAO, 2007 , Hammond et al ,1986 ; Chien and Menon, 1995 , Chien, 2003, Zapata , 2003) donde se ha

puesto en evidencia las ventajas agro-económicas de utilizar RFA sobre los fosfatos de solubilidad total, las cuales ofrecen un menor costo de producción y posibilita una fertilización fosfórica más limpia y en armonía con el medio ambiente, al reducirse las cantidades de fósforo fijado al suelo y lixiviado hacia fuentes subterráneas de agua, lográndose así un mejor uso por el cultivo de la fertilización fosfórica realizada, todo ello con una eficiencia agronómica comparable a la obtenida con fuentes de fósforo de solubilidad total.

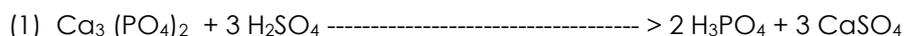
A continuación se describen las principales características de los diferentes procesos considerados.

PRODUCCION DE ACIDO FOSFORICO

Cerca del 70 % de la producción mundial de fertilizantes fosfóricos (IFA,1998 ; FAO,2007), convencionalmente medida en términos de pentóxido de fósforo (P_2O_5), utilizan AF (H_3PO_4) como materia prima principal.

El proceso "térmico" fue inicialmente utilizado para producir AF de mayor pureza, en aplicaciones donde la pureza era determinante, pero los avances en las tecnologías de purificación y el alto costo de la energía, han hecho obsoleta esta tecnología.

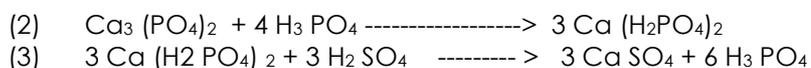
La mayor parte del AF producido internacionalmente se realiza mediante el "proceso húmedo" a partir del ácido sulfúrico y, según la reacción siguiente:



La variedad de RF existentes y los procesos para su beneficio o concentración, inevitablemente conlleva una gran variedad de procesos para la producción de AF.

La reacción de acidulación es afectada principalmente, por la formación de sulfato de calcio (también conocido como "fosfogypsum ó fosfoyeso") en la superficie de la RF, lo cual limita la efectividad de la reacción química.

Lo anterior, se soluciona mediante: a) una molienda de la RF a un tamaño tal que proporcione la adecuada área superficial para la reacción, y b) la recirculación del AF formado al área de reacción para convertir la mayor cantidad posible de fosfato tricalcico en fosfato monocalcico soluble, de acuerdo a la siguientes reacción:



El AF de baja concentración formado se filtra del sulfato de calcio, pudiendo el sulfato de calcio formado alcanzar diferentes estructuras cristalinas, dependiendo ello de la temperatura, concentración de P_2O_5 y contenido libre de sulfatos. La forma cristalina del sulfato de calcio obtenido, determina la filtrabilidad del AF.

Por otro lado, las RF contienen pequeñas, pero muy variadas cantidades de una amplia variedad de impurezas, la cual comprende: flúor, hierro, aluminio, arsénico, cadmio, cobre, plomo, níquel, zinc, mercurio y uranio.

Debido a lo anterior, el valor de una fuente de RF no solo depende de la concentración de P_2O_5 , sino también del contenido de impurezas. Dependiendo del proceso de producción, un 20 – 40 % del cadmio en la RF, pasa al sulfato de calcio, y el resto al fertilizante fosfórico.

Se conocen cinco procesos tecnológicos (FAO, 2007 ; IFA, 1998 ; Sauchelli, 1970) para la producción de ácido fosfórico siendo los mismos: dihidrato, hemihidrato, di-hemihidrato (doble etapa), hemi-dihidrato (etapa simple) y hemi – dihidrato, los procesos dihidrato y hemi-hidrato son los principales y se describen a continuación.

PROCESO DIHIDRATO

El proceso dihidrato posee tres etapas: reacción, filtración y concentración. El tamaño de partícula requerido en la RF es 60 – 70 % menor de $150 \mu m$, lo cual se alcanza mediante el uso de molinos de bola o rodillos. La reacción tiene lugar en una serie de tanques agitados (o compartimentos de un solo tanque) y el sulfato de calcio es precipitado en forma de dihidrato a una concentración de 26 – 32 % P_2O_5 y temperatura de 70 – 80 ° C . La temperatura es controlada pasando el líquido de reacción a un enfriador de recirculación de aire.

Cerca de 5 tm de sulfato de calcio, son producidas por cada tonelada de P_2O_5 en el producto final ácido .La filtración inicial , es seguida por al menos dos etapas de lavado , para maximizar la recuperación de P_2O_5 , estas etapas de filtración y de lavado son realizadas en sistemas apoyados por condiciones de presión ó de vacío , preferentemente este último.

Al final del proceso de lavado, el líquido remanente es separado de la "torta" filtrada de sulfato de calcio. El licor ácido se concentra , cuando se requiera una concentración de 42 – 50 % en el ácido final. El proceso ofrece bajas temperaturas, elevados tiempos de operación, utilización de RF de variada calidad y condiciones fáciles para los procesos de parada y arrancada de planta.

Posee un alto consumo de energía en la etapa de concentración del AF y pérdidas de 4 – 6 % de P_2O_5 , principalmente en la fase de recristalización del sulfato de calcio.

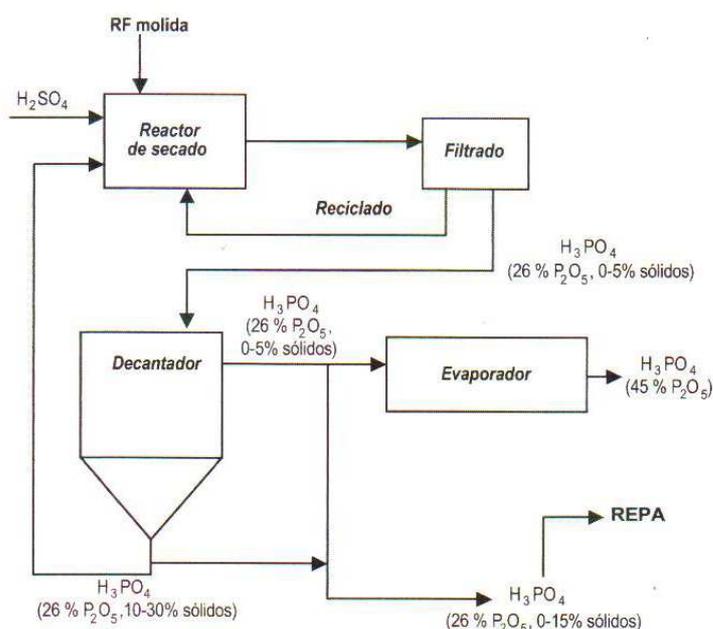
PROCESO HEMI-HIDRATO

En este proceso la temperatura de operación es mayor, siendo la misma de 100 °C, alcanzándose una concentración en la etapa de reacción de 40 – 52 % de P_2O_5 , donde el sulfato de calcio es precipitado a la forma hemihidrato. Como se observa , este proceso ofrece un significativo ahorro de capital de inversión y energía , sin embargo los cristales de sulfato de calcio formados , son mas difíciles de filtrar , a menos que se utilicen medios para modificar la formación de cristales.

Las pérdidas de P_2O_5 son de 6 -10 % y el ácido final contiene mayor cantidad de impurezas, comparado

Fig. 2.0

Sinergias de la producción de la RFPA y del ácido fosfórico



con el proceso Dihidrato. En sentido general, la producción de AF puede variar, en función de las características de la RF, la concentración final del ácido, y la eficiencia global del proceso. El ácido fosfórico que se comercializa internacionalmente, se concentra preferentemente a 52 – 54 % P_2O_5 , sin embargo si el mismo será utilizado directamente en el proceso de producción de fertilizantes fosfáticos, se requerirá de una menor concentración, con el ahorro correspondiente en los costos de producción. En la Fig. 2.0 se muestra el esquema de producción de AF (FAO,2007), en sinergia con la producción de RFPa, que se realiza en el Complejo de Morón, Venezuela, el cual es muy importante tenerlo en cuenta para futuros proyectos de desarrollo de este tipo de producción.

Como referencia general, se tiene que con una RF de 32 % de P_2O_5 y usando el ácido directamente en la producción de fertilizantes fosfáticos se requerirá un consumo de 3.3 tm / tm P_2O_5 , un consumo de AS (H_2SO_4 al 100 %) de 2.8 tm/ tm P_2O_5 . El agua de enfriamiento varía de 100 – 150 m^3 / tm P_2O_5 y el consumo de agua de proceso varía en un rango de 4 – 7 m^3 / tm P_2O_5 . El consumo de electricidad varía de 120 – 180 Kwh. / t P_2O_5 y el requerimiento de vapor de 0,5 – 2.2 t/ P_2O_5 . Cuando se combina la producción de AS, con la producción de AF, el vapor de alta presión producido en la caldera de recuperación del proceso de AS, puede ser utilizado para producir electricidad, y el vapor de escape de baja presión, se emplea en los evaporadores al vacío, para la concentración del AF.

Las RF contienen normalmente 2 – 4 % de flúor, sin embargo la mayor parte de este elemento es liberado a la fase gaseosa en las etapas de reacción y evaporación y normalmente se recupera para producir derivados del Ácido Fluorsilícico, pudiendo alcanzarse 20 – 30 kg de H_2SiF_6 al 100 % / tm P_2O_5 . Las plantas modernas de AF, tienen una capacidad de producción de hasta 1600 tm de P_2O_5 /día, dependiendo del tipo de proceso.

Basado en los datos y criterios antes referidos, un estimado preliminar conceptual para una planta de 200,000 tm/año de RFPa (0-35-0), con AF, y considerando las cuatro minas objetos de evaluación, demandarán los insumos que se presentan en la Tabla No. 2.1.

Tabla No. 2.1 BALANCE DE MATERIALES PARA UNA PLANTA DE PRODUCCION DE ROCA FOSFORICA PARCIALMENTE ACIDULADA CON CAPACIDAD PARA 200,000 TM / AÑO DE 0-35-0

Descripción	Consumo (tm/año)		Producción (tm/año)
Roca fosfórica Parcialmente Acidulada			200,000 tm/año
1. Roca Fosfórica directa para acidulación (N – P_2O_5 – K_2O)	Grado Fertilizante a producir (N – P_2O_5 – K_2O)	Consumo de RF (tm/año)	Tm P_2O_5 / año
a) Media Luna (0-33-0)	0-35-0	179,800	58,344
b) San Camilo (0-29-0)	0-35-0	150,000	43,732
c) La Cañada (0-24-0)	0-35-0	148,000	35,520
d) La Juanita (0 -25-0)	0-35-0	165,000	41,450
2, Acido Fosfórico (0-55-0)	kg 100%/kg	tm 75 %/año	
a) Media Luna (0-33-0)	0,081	29,455	16,200
b) San Camilo (0-29-0)	0,226	60,266	33,147
c) La Cañada (0-24-0)	0,240	64,000	35,200
d) La Juanita (0 -25-0)	0,152	40,533	22,293
3. Roca Fosfórica para producir	tm de P_2O_5/ año	Consumo de RF	

Acido Fosfórico	(vía Acido Fosfórico)	(tm/año)	
a) Media Luna (0-33-0)	16,200	49,090	
b) San Camilo (0-29-0)	33,147	114,300	
c) La Cañada (0- 24 -0)	35,200	146,666	
d) La Juanita (0 -25-0)	22,293	89,172	
4. Consumo Total de Roca Fosfórica			
		tm/ año	
a)Media Luna (0-33-0)		228,890	
b) San Camilo (0-29-0)		264,300	
c) La Cañada (0- 24 -0)		294,000	
d) La Juanita (0 -25-0)		254,172	
5. Acido Sulfúrico 100 %para producir Acido Fosfórico (2.8 tm/tmP₂O₅)			
	tm H₂SO₄ 100 % / año		
a) Media Luna (0-33-0)	45,360		
b) San Camilo (0-29-0)	92,812		
c) La Cañada (0- 24 -0)	98,560		
d) La Juanita (0 -25-0)	62,420		

Como se aprecia en los resultados de la Tabla No. 2.1, para una producción estimada de 200,000 tm/año de RFA 0-35-0 con AF de las diferentes fuentes de RF del Departamento del Huila, se requiere disponer de : a) una planta de producción de AF al 55 % de alrededor de 65,000 tm/año, que cubra los requerimientos de las diferentes RF del Departamento, b) Una planta de producción de AS al 100 % de 100,000 tm / año y c) una disponibilidad de RF promedio de 300,000 tm/ año (1000 tm / día , para 300 días efectivos de operación / año), lo anterior puede y debe conllevar a crear algún tipo de sociedad económica entre los diferentes productores de RF en el Departamento del Huila, a fin de abastecer y asegurar los requerimientos de este mineral a la nueva línea de producción.

PRODUCCION DE FOSFATOS DE SOLUBILIZACION TOTAL

Los fosfatos de solubilización total (FAO, 2007 ; Sauchelli, 1970) , son aquellos donde todo el fósforo (P₂O₅) presente en el producto , se encuentra en un estado de completa disponibilidad por el cultivo , esta solubilidad se expresa normalmente como P₂O₅ soluble en agua, pudiendo estar el P₂O₅ en forma monocalcica (superfosfato sencillo y superfosfato triple) o en forma de fosfato de amonio (monoamónico , diamónico y polifosfatos de amonio) . Con excepción del superfosfato sencillo, en las restantes variantes se emplea, el AF (77 % de concentración y 55 % P₂O₅) como

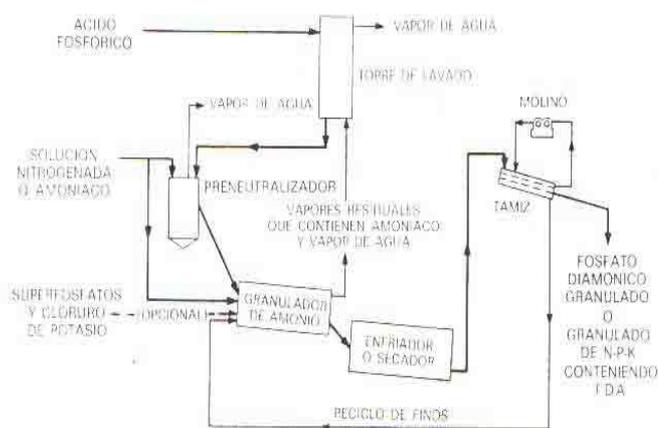


Fig. 2.1

materia prima principal en el proceso de acidulación.

FOSFATOS MONOAMONICO (MAP)

Varias razones (Sauchelli , 1970) , explican la rapida aceptación que ha tenido internacionalmente en la agricultura, el uso de fosfatos de amonio (MAP y DAP), siendo la principal que los fosfatos de amonio contienen en forma concentrada tanto nitrógeno como fósforo, estando este último en una forma directamente asimilable por el cultivo, de hecho el contenido de nitrógeno y de fósforo puede alcanzar el 75 % del alimento de la planta.

También la asimilación del fosfato por la planta (Hignett, 1963), con frecuencia aumenta con la presencia del nitrógeno amoniacal, y viceversa

La formación del fosfato monoamónico, tiene lugar según la reacción:

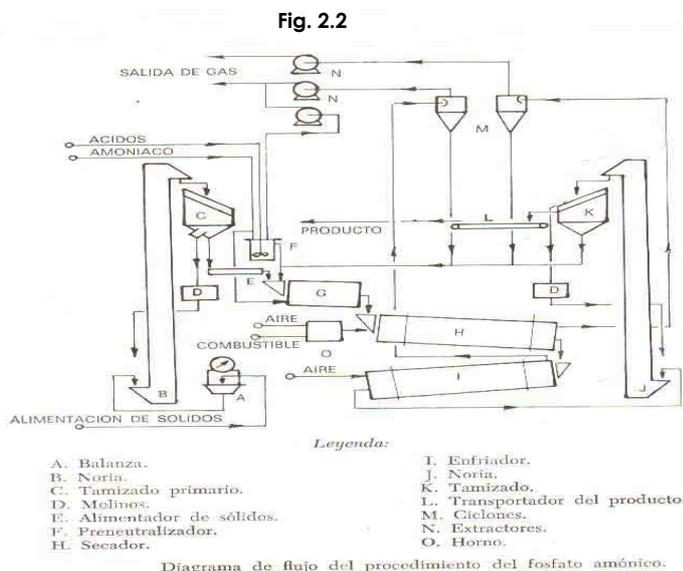


Teóricamente, al hacer fosfato monoamónico (Ver Fig. No. 2.1) debería liberarse suficiente calor de 1 kg de amoniaco anhidro en la ecuación (4), para evaporar 3.24 kg de agua bajo condiciones normales, por lo que de esta forma se reducen los requerimientos energéticos en el sistema de secado.

Generalmente , las impurezas de hierro y de alúmina en el ácido fosfórico de proceso húmedo, provenientes de RF con elevados contenidos de R_2O_3 ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) son precipitadas como ortofosfatos , afectando así el contenido final P_2O_5 soluble en agua y citrato de amonio, presente en ocasiones en los fertilizantes fosfatados.

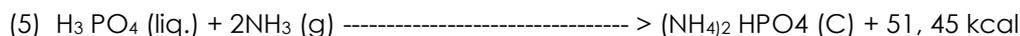
Una planta de producción de MAP (Ivell, 1988) consiste en sentido general en un vaporizador de amoniaco, un reactor tubular y un lavador de gases de reacción.

La planta de granulación la conforma un tambor rotatorio, un secador, equipos de tamizado, enfriador y un tambor de recubrimiento del producto.



FOSFATOS DIAMONICO (DAP)

La obtención del DAP (Sauchelli, 1970) se lleva a cabo según la reacción:



El perfeccionamiento de las técnicas de granulación basadas en la nucleación o aglomeración de la pulpa, mas los resultados de investigaciones en la química – física de los fosfatos amónicos , condujeron al éxito de varios procesos, para producir fertilizantes granulares de elevado análisis , basados principalmente en fosfatos diamónicos.

El proceso de producción del Fosfato Diamónico (Ver Fig. 2.2) consiste generalmente en hacer reaccionar el amoniaco gaseoso anhidro y el AF de proceso húmedo , que contiene de un 30 a un 50 por ciento de P₂O₅ en recipientes de acero inoxidable para obtener una pulpa con un contenido de sólidos de un 75 por ciento y la relación deseada de N-P.

Frecuentemente se añade algún AS al sistema de reacción para aumentar el contenido de N del producto.

La pulpa se descarga en una mezcladora de doble cilindro y diseño especial, donde se mezcla con una corriente reciclante de partículas sólidas para luego pasar a un secador rotatorio y al subsiguiente sistema de tamizado para la separación final de los gránulos de tamaño normal . El material de mayor tamaño que el requerido ,se tritura y recicla a la mezcladora junto con el material de menor tamaño y con el polvo recuperado para mezclarse nuevamente con la pulpa fresca .

La combinación de la pulpa con las partículas y gránulos pequeños se efectúa principalmente en dos formas , nucleación termal o aglomeración , conforme a las condiciones de funcionamiento y al tipo de producto que se desee.

POLIFOSFATOS DE AMONIO

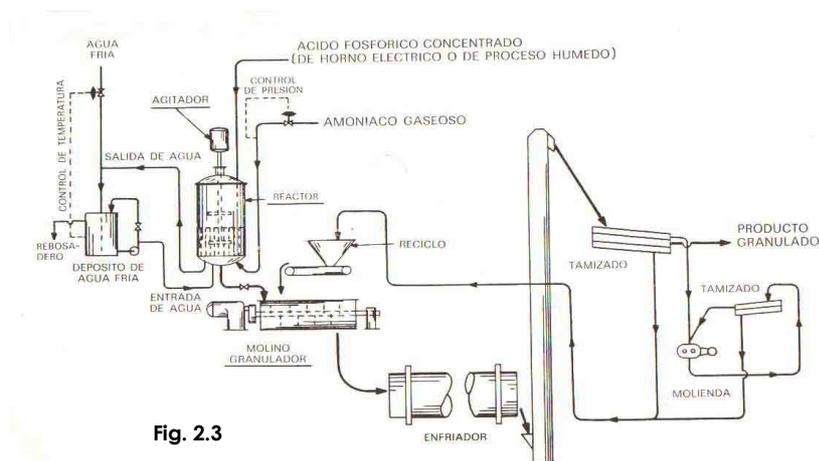


Fig. 2.3

El desarrollo de una gama de ácidos súper fosfóricos (Mc Knight, 1958; Phillips, A, 1960) , partiendo tanto de AF de horno , como de proceso húmedo , ha conducido a su vez , a una nueva clase de materiales fertilizantes que poseen propiedades poco comunes, estos son los polifosfatos de amonio, que se producen haciendo reaccionar los superácidos con amoníaco anhidro .

El ácido superfosfórico de proceso de horno eléctrico (H_n+2 P_n O_{3n+1}), contiene por lo general el 76 ó el 77 por ciento de P₂O₅ siendo su fórmula química H₅P₃O₁₀ , sin embargo cuando estos se elaboran por concentración de AF de proceso húmedo , los superácidos

correspondientes poseen normalmente un contenido de P_2O_5 entre 68 y 76 por ciento, conforme al origen de la roca fosfórica y el tipo de evaporador usado.

Los desarrollos recientes, incluyen la producción de un superárido de proceso húmedo que tiene una concentración de P_2O_5 de un 83 por ciento, que sin las impurezas es casi equivalente a un material anhidro que tenga un contenido no ortó de un 99 por ciento.

Las soluciones de polifosfatos de amonio, tales como 11-33-0 y la 10-34-0, se producen en una escala continua (Scott, 1961) haciendo reaccionar el amoníaco líquido anhidro con el superácido en un recipiente de acero suave, equipado con un serpentín de enfriamiento por agua y con una agitador.

El amoníaco se introduce mediante una rociadora y siempre que el flujo de reactivos y la temperatura, se regulen cuidadosamente, las pérdidas de amoníaco y la corrosión son insignificantes.

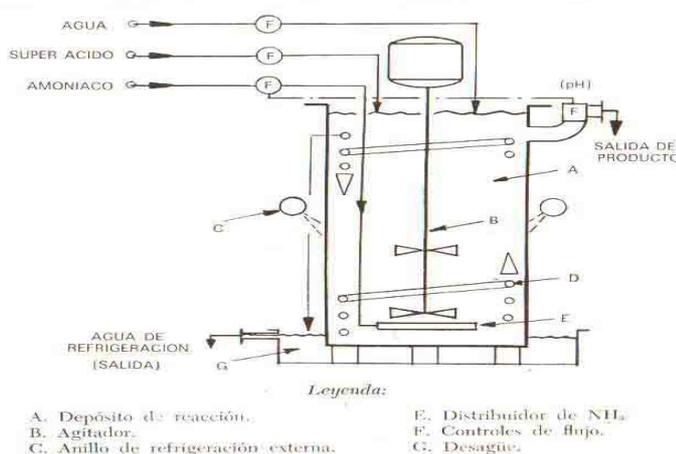


Fig. 2.4

Una necesidad de materiales sólidos, que posean propiedades inherentes de ácido superfosfórico y soluciones de polifosfatos de amonio, ha conducido a desarrollos recientes de polifosfatos granulares, producidos a partir de AF de horno eléctrico y de proceso húmedo (Ver Fig. 2.3 y 2.4) por varios productores. Los productos representativos incluyen el 13-58-0, el 16-61-0 y el 21-53-0.

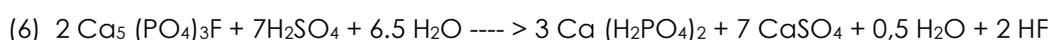
En este proceso, el ácido superfosfórico se hace reaccionar continuamente con el amoníaco anhidro en un recipiente agitado a presión a aproximadamente $205\text{ }^{\circ}\text{C}$ y entre 1.6 y 2 kg/cm^2 manométricas. El producto fundido fluye hacia una mezcladora de doble cilindro, donde se granula con los finos reciclados a alrededor de $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ó $115\text{ }^{\circ}\text{C}$, dependiendo del ácido que se use. El material obtenido de la mezcladora, se hace enfriar antes del tamizado, al rango de tamaño que se desee.

SUPERFOSFATOS SENCILLO

El superfosfato sencillo, es producido mediante la reacción (IFA,1998) de la RF mineral con el AS, en proporciones tales, que se propicia la mayor conversión del contenido de fósforo de la RF a formas asimilables por las plantas como fosfato monocalcico.

Este proceso retiene el sulfato de calcio formado en el proceso de producción, y es por ello que el superfosfato sencillo, resulta demandado en aquellos casos donde la deficiencia de azufre y calcio, limita el rendimiento agrícola del cultivo.

La reacción química mediante la cual se obtiene el superfosfato sencillo, es la siguiente:



También se produce el superfosfato doble (28 – 32 % P₂O₅), el cual se obtiene mediante una mezcla de AF y AS, según la reacción siguiente:

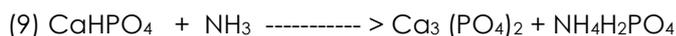


La formación de sulfato de calcio, en ambos procesos cubre cierta superficie de los granos de RF, limitando su reacción con los ácidos utilizados, debido a ello el completamiento de la reacción toma un cierto tiempo, una vez añadidas las materias primas reaccionantes, este periodo se conoce como "tiempo de cura del producto". Este tiempo de cura del producto se determina, cuando ya no es rentable económicamente seguir almacenando el producto, al no incrementar significativamente, los niveles de P₂O₅ soluble en agua, respecto al contenido de P₂O₅ total.

Dada la acidez mineral libre que presentan los superfosfatos sencillos, los mismos requieren en algunos casos de una amoniatación previa, según la reacción siguiente:



Pero cuando se produce una sobreamoniatación, se afecta el contenido de fósforo asimilable en el producto, según la reacción siguiente:



SUPERFOSFATO TRIPLE

El superfosfato triple con 40-46 % P₂O₅ (Sauchelli, 1970), se obtiene mediante la reacción entre el AF y la RF, la forma soluble de fósforo, al igual que en el superfosfato sencillo, es el fosfato monocalcico (Ca (H₂PO₄)₂), su obtención viene dada por la reacción siguiente:



Existen variadas tecnologías para la obtención de superfosfato triple (Mc Donald, 1975, Bierman, 1978), que van desde un reactor tubular, hasta un reactor tipo tanque con agitación mecánica, los principales factores que gobiernan su producción, son la reactividad de la RF, la fineza del mineral fosfático y las impurezas de la RF entre otros.

La producción de superfosfato triple en dos etapas de reacción (Cantera, 1997a; Mc Donald, 1975) se basa en utilizar una primera etapa de reacción donde se emplea el 15-40 % de la totalidad de la RF a consumir en el proceso, reaccionando con el ciento por ciento del AF requerido estequiométricamente en el proceso de producción, el licor ácido así obtenido, es adicionado a un tambor granulador, donde reacciona con la otra parte de la RF (60 – 85 %) requerida en el proceso y el reciclo de finos proveniente de la clasificación del producto y de los polvos recuperados del sistema de captación de polvos del proceso.

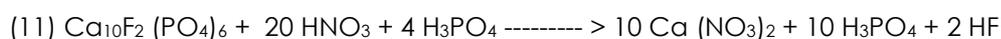
La utilización de esta tecnología para la RF del Yacimiento de Trinidad de Guedez, Matanzas, CUBA (Cantera, 1997a), representó un incremento del 20 % en la eficiencia de conversión de la RF insoluble hacia formas asimilables por el cultivo, comparada con las tecnologías donde la acidulación se llevaba a cabo en una sola etapa de reacción. El esquema tecnológico de producción a emplear, puede ser igual al presentado en la Fig. 2.2

NITROFOSFATOS

El uso del ácido nítrico, en vez del AS para producir fertilizantes a partir de la RF (Sauchelli, 1970), recibió estímulo en Europa poco después de finalizada la segunda guerra mundial, cuando parecía inminente una prolongada escasez de azufre. La escasez fue de duración limitada, pero las ventajas de producir fertilizantes compuestos sin la ayuda del AS y/o AF, ha atraído desde entonces a los productores de varias partes del mundo.

La química de producción (Ver Fig. 2.5) del nitrofosfato es compleja y pueden llevarse a cabo numerosas reacciones e interacciones conforme a los tipos y proporciones de materias primas que se usen, así como a las condiciones de operación empleadas.

La reacción entre la RF y el ácido nítrico en presencia de algún AF añadido, bien como materia prima o producido *in situ*, puede representarse de la forma siguiente:



En la mayoría de los casos, los productos finales de las reacciones entre la RF y el ácido nítrico, no

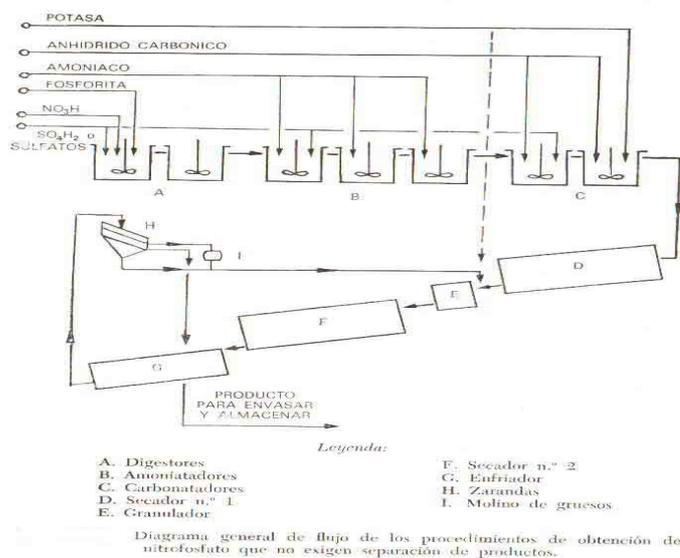


Fig. 2.5

pueden utilizarse directamente para propósitos de fertilización, debido a la naturaleza corrosiva e higroscópica del nitrato de calcio formado, por ello por regla general se realiza un procedimiento posterior para superar esta limitante, bien para eliminar el nitrato de calcio, o para convertirlo *in situ* a sustancias menos higroscópicas.

Posterior a las etapas de reacción y adición de materias primas al proceso, se lleva a cabo la granulación, secado, clasificación - molienda de las fracciones gruesas del producto, enfriamiento y acondicionamiento final del producto mediante la aplicación productos anti - higroscópicos (talco industrial, aceites, tierras de diatomeas, etc, etc)

PRODUCCION DE FOSFATOS DE SOLUBILIZACION PARCIAL

Las rocas fosfóricas parcialmente aciduladas (RFPA) son obtenidas haciendo reaccionar la RF con AS (H_2SO_4) ó AF (H_3PO_4) en cantidades menores que las requeridas para producir el superfosfato triple o el superfosfato simple, respectivamente.

El uso de las RFPA se ha propagado en europa y américa del sur, desde que Nordengren (1957), informó acerca de su uso. Las RFPA pueden ofrecer un medio económico de aumentar la eficiencia agronómica de las fuentes locales de RF, que de otra manera no serían adecuadas para la aplicación directa.

Por esta razón, una gran cantidad de estudios han sido y continúan siendo realizados a nivel internacional (Hammond *et al* ,1986 ; Rajan y Marwaha, 1993 ; Chien y Menon, 1995 ; Chien , 2003 ; Zapata ,2003).

Las RFPAs son menos costosas que los fertilizantes fosfatados (solubles en agua) completamente acidulados debido a que necesitan menores cantidades de ácido y energía por unidad de fósforo (P_2O_5) en el producto.

Las RFPAs son a menudo más concentradas que el superfosfato simple y en algunas situaciones, puede ser un medio preferido para mejorar la eficiencia agronómica de las RF.

El nivel de acidulación de la RF está generalmente referido en porcentaje, por ejemplo cuando se utiliza un quinto del AS requerido para producir el superfosfato simple, el producto se denomina RFPA -20 por ciento H_2SO_4 .

Así también el término RFPA-20 por ciento del AF, se refiere a la RFPA, producida utilizando un 20 % del AF, requerido para producir el SFT.

Como el AF contiene P soluble en agua, la acidulación parcial de la RF con el H_3PO_4 , siempre da como resultado, RFPAs que contienen más P total y P soluble en agua que la RF no acidulada, sin embargo la acidulación parcial de la RF con H_2SO_4 , siempre resulta en una reducción del P total, debido a la formación de sulfato de calcio o fosfoyeso en el producto final.

Idealmente, la acidulación parcial de una RF dada, debe ser decidida después de un estudio de factibilidad, donde se determine:

- El tipo de ácido a utilizar, el cual puede ser AS, AF, una mezcla de ambos ácidos o una mezcla de ácidos y fosfatos amoniacales.
- La cantidad y concentración de los ácidos.
- La temperatura del ácido.
- El tipo de procedimiento de mezclado, el cual puede comprender : a) añadir la RF al volumen de ácido con un mezclado constante ,b) pulverizar gotas finas del ácido sobre las partículas de la RF cayendo como una cortina líquida.

El objetivo final, siempre será solubilizar la máxima cantidad de RF para un nivel dado de ácido utilizado. La experiencia ha demostrado que los niveles más eficientes de acidulación, que producen el máximo de P soluble por cantidad de ácido utilizada, varían del 30 al 60 por ciento. A estos niveles, los ácidos atacan la apatita de la fosforita, pero tienen poco efecto sobre los minerales gangas duros, tales como los silicatos.

Los principales compuestos fosfatados en las RFPAs son el fosfato monocalcico soluble en agua, el fosfato dicalcico, soluble en CAN y la fracción de la RF que no reacciona con el ácido, de poca solubilidad ó de lenta solubilidad.

El comportamiento agronómico de las RFPAs, al igual que como se señaló para las RF de aplicación directa, varía con:

- El grado de acidulación.
- Las propiedades químicas del suelo, especialmente el pH del suelo y retención (absorción) de fósforo.
- El sistema de cultivo.

En general los factores que aumentan la eficiencia agronómica relativa de las RFPA son una alta reactividad, tamaño fino de las partículas de la RF, el pH ácido del suelo, un elevado contenido de materia orgánica en el suelo, un largo ciclo de crecimiento del cultivo y la rotación de cultivos.

La RFPA, es también probablemente más ventajosa que los fertilizantes fosfatados solubles en agua (DAP, MAP y SFT) en aquellos casos donde la lixiviación de los fosfatos puede ser un problema como en los suelos arenosos (Bolland *et al*, 1995).

Incrementando el nivel de acidulación, se incrementa el contenido de P soluble en agua y la efectividad agronómica de las RFPA, pero esto debe ser evaluado considerando el costo de producción.

En todos los casos, el comportamiento agronómico de las RFPA debe ser evaluado, para determinar el nivel rentable de acidulación (Owusu-Bennoah *et al*, 2002; Casanova *et al*, 2002; Rodríguez y Herrera, 2002).

Los resultados alcanzados mediante diferentes investigaciones sobre la efectividad agronómica de las RFPA (Bolan *et al*, 1990; Hammond *et al*, 1986; Rajan y Marwaha, 1993; Chien y Menon, 1995; Chien, 2003) permiten concluir que las RFPA de 40 – 50 por ciento de acidulación con el AS, o 20 – 30 por ciento de acidulación con el AF, son tan eficientes como el superfosfato de completa acidulación, con ello se debe lograrse que la fracción de P soluble en el fertilizante fosfórico, sea de alrededor de 40 – 50 %.

En suelos de alto pH (pH 6.5 - 8.0), las RFPA (Mc Lay *et al*, 2000; Chien, 2003) las RFPA pueden ser tan eficientes como el superfosfato, aunque con un grado más alto de acidulación con AF, de hasta el 50 por ciento (cerca del 66 por ciento del P total en forma asimilable).

Las posibles explicaciones para la alta eficiencia agronómica de las RFPA, son:

- o El efecto de iniciación temprana del desarrollo radicular debido al fosfato monocalcico de la RFPA y la subsiguiente mayor exploración del suelo enriquecido con P por las raíces.
- o La disolución del fosfato monocalcico en la solución del suelo, para formar AF que reacciona con la RF residual (acidulación secundaria).

La producción de la RFPA con AF, puede llevarse a cabo en instalaciones similares a las existentes para producir SFT o fosfatos del tipo amoniacal (Proceso TVA), el mismo comprende las etapas de: reacción – granulación en un tambor rotatorio, secado, clasificación, enfriamiento y acondicionamiento final del producto.

La acidulación, siempre que las condiciones económicas lo permitan (Ledgard *et al*, 1992), debe realizarse con AF, debido a que el sulfato de calcio que se forma, cuando se acidula la RF con AS, dificulta la dilución en el suelo de la fracción de RF que no fue acidulada en el proceso de producción, no obstante ello debe ser comprobado mediante ensayos de campo.

PROCESOS FISICOS

MEZCLAS DE FOSFATOS

Fertilizantes de composición química similar a las RFPA (Chien *et al*, 1987; y Chien y Menon, 1995) pueden ser preparadas indirectamente, mediante la compactación ó mezcla de la RF seca, con los fertilizantes fosfatados solubles en agua, tales como superfosfato simple o el SFT.

El contenido de P soluble en agua, de los productos dependerá de la relación entre la RF y el fertilizante fosfatado soluble en agua. La tecnología de compactación ó las mezclas físicas ofrece la ventaja de emplear las RF que no son adecuadas para la acidulación parcial directa con el H_2SO_4 , debido a sus altos contenidos de sesquióxidos de hierro (Fe) y aluminio (Al). Existen evidencias de que se incrementa la efectividad de las RF, aun en aquellas de baja reactividad, después de compactarlas ó mezclarlas con los fertilizantes fosfatados solubles en agua (Chien *et al*, 1987).

Bajo estas condiciones, la compactación ó mezcla de la RF con los fertilizantes fosfatados solubles en agua en una relación alrededor de 50: 50 puede ser atractiva, agronómica y económicamente, con el empleo de RF locales. Sin embargo, la eficiencia agronómica de los fertilizantes compactados, con relación a los fertilizantes fosfatados solubles en agua, también dependerá de un cierto número de factores, similar a las de la RFPA.

Está también demostrado (Siddique *et al*, 1986) en ensayos de campo, que la aplicación de la RF mezclada en seco con los fertilizantes fosfatados solubles en agua, puede aumentar la efectividad de la RF aplicada.

Investigaciones realizadas en India con un suelo calcáreo indicaron que la aplicación de una mezcla 1: 1 de la RF de Mussoorie y del superfosfato simple en una dosis única, podía ser tan eficaz como el superfosfato simple. Los resultados mostraron que la mezcla RF –superfosfato simple, tuvo la tendencia a ser tan efectiva como el superfosfato simple en un suelo alcalino (pH 8,2), además de lo anterior, el producto fue económicamente igual al superfosfato simple, considerando una secuencia de tres cultivos.

GRANULACION DE ROCAS FOSFORICAS CON AZUFRE

Numerosos estudios (Swaby, 1975, Kucey *et al*, 1989) han demostrado que la efectividad agronómica de las RF puede ser mejorada, cuando estas son aplicadas en mezcla o granuladas con azufre (S). En algunos casos, los productos fueron inoculados con las bacterias oxidantes del azufre *Thiobacillus spp*.

El principio básico del uso de mezclas de RF y el azufre elemental, es que la población nativa o inoculada de las bacterias del suelo, oxide el azufre (S) a ácido sulfúrico (H_2SO_4), cuando el producto es aplicado al suelo. Este ácido reacciona a su vez con las partículas de la RF, las que se hallan cercanas al S, formando los fosfatos monocalcico y dicalcico.

La disolución de las RF en el suelo, es de esta forma ayudada por la acidulación localizada, además de aquella causada por la acidez ambiental del suelo. Las más importantes especies de las bacterias oxidantes del azufre son *Thiobacillus thiooxidans* y *Thiobacillus thioparus*. La inoculación de los suelos que poseen abundantes *Thiobacillus spp*, puede ser no esencial (Rajan, 1983), pero se prefiere la inoculación para obtener una rápida multiplicación de las bacterias y la disolución de la RF, después de su aplicación al suelo en el menor tiempo posible.

Las mezclas de RF y azufre son atractivas debido a que:

- Su producción no requiere una gran inversión de capital.
- Permiten combinaciones flexibles de la relación RF: azufre.
- Permiten utilizar RF de baja calidad, que pueden no ser adecuadas para producir fertilizantes solubles.
- Se comportan como fertilizantes de liberación controladas de P y de S.

Como aspecto negativo para una rápida oxidación del azufre, este debe estar presente como partículas muy fina (95 por ciento menor de 0,15 mm), ya sea molido directamente con la RF o bien molido en forma separada y luego mezclado. La molienda del azufre sin mezclar con la RF o en estado seco, sin adición de humedad, presenta riesgos de incendio y por lo tanto, este método no se recomienda. En Nueva Zelanda, una planta piloto ha producido mezclas de RF y azufre, conteniendo bacterias *Thiobacillus spp*, empleando una técnica rentable.

Los factores que influyen la efectividad de las mezclas RF – azufre son:

- La reactividad de la RF.
- La relación RF / azufre.
- El tipo de cultivo.
- Las condiciones ambientales del suelo.

Algunos resultados de investigación (Rajjan, 1983) demostraron que la mezcla RF / azufre, preparada con RF reactiva de Carolina del Norte, finamente molida, en una relación RF : azufre de 5 : 1, fue tan eficiente como el superfosfato simple, mientras que aquella preparada a partir de la RF no reactiva de Florida fue inferior. Sin embargo, hubo un incremento en la eficiencia agronómica de ambas RF cuando fueron aplicadas como mezclas de RF / azufre, con valores variando entre 18 a 30 por ciento para la roca fosfórica de Carolina del Norte y 50 a 70 por ciento, para la roca fosfórica de Florida, dependiendo de la dosis de aplicación.

Como el AS producido por la oxidación del S, afecta la disolución de la RF de la mezcla RF / azufre, es lógico concluir que el aumento del contenido de S en la mezcla RF / azufre aumentará la eficiencia agronómica. Por otro lado se necesita un enfoque balanceado, ya que un mayor enriquecimiento del producto con S, resultará también en un mayor costo de operación.

Los resultados de varios estudios indican que las mezclas RF / azufre, puede ser tan efectivas como el superfosfato simple, cuando las relaciones RF : azufre son entre 1:1 y 5:1.

TERMOFOSFATOS

Los termofosfatos pueden dividirse en fosfatos fundidos y fosfatos calcinados, siendo ambos insolubles en agua y solubles en ácidos débiles como ácido cítrico al 2% o en solución salina como el citrato de amonio. Su respuesta agronómica no es inmediata como en el caso de los fosfatos solubles en agua pero se observan efectos a largo plazo. Los fosfatos solubles en agua son fácilmente fijados por óxidos de hierro y aluminio presente en el suelo. Sin embargo los termofosfatos son adecuados en suelos ricos en óxidos de hierro y aluminio, los cuales existen ampliamente en regiones tropicales y subtropicales. (Nelson F.).

Los termofosfatos son generalmente alcalinos, conteniendo una gran cantidad de calcio con algo de magnesio o sodio y son adecuados para suelos ácidos los cuales predominan en la región tropical y subtropical. (Nelson F.).

Los abonos fosfatados se fabrican descomponiendo químicamente a alta temperatura (vía térmica) los fosfatos naturales. El problema de la fabricación de abonos fosfatados consiste en transformar los fosfatos hacia formas en que las plantas pueden asimilar mayormente el contenido de fósforo añadido al suelo, ya que en su forma original son de difícil asimilación. La calcinación simple, sin aditivos, exige elevadas temperaturas para romper la estructura estable de la fosforita, se puede disminuir la temperatura de descomposición (nunca por debajo de 1000 °C), mezclando la RF con compuestos que tiendan a combinarse con ella, entre los cuales se encuentran:

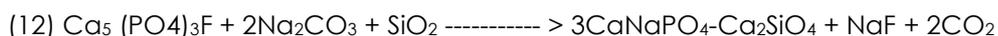
- Sustituyendo con sodio una parte del calcio del apatito (fabricación del fosfato renania).
- Transformando profundamente la estructura química del apatito o de otros compuestos fosfatados (fabricación del fosfato Thomas)
- Reducción de fosfatos a fósforo elemental.
- Reemplazando con magnesio una parte del calcio del apatito (Fosfato magnesiano)

Transformando los apatitos con alguno de estos procedimientos se obtienen fosfatos de asimilación directa (solubles) o fosfatos que producen fácilmente iones asimilables mediante el poder movilizador de los suelos (Finck A.).

La utilización de estos fosfatos es muy reducida debido a que son fertilizantes que resultan muy caros de producir, debido a los elevados costos de la energía que se requieren, los fosfatos así obtenidos suelen contener una riqueza en fósforo que puede oscilar entre un 18 - 34 % de P₂O₅, aunque se puede utilizar como fertilizantes de fondo para cualquier tipo de suelos, son mucho más eficaces para suelos ácidos.

FOSFATO DE RENANIA.

Recibe este nombre de una antigua fábrica situada en la ciudad de igual nombre, es el producto más conocido entre los fertilizantes calcinados y contiene un porcentaje de P₂O₅ que oscila entre un 25 - 30 %, el producto se obtiene por fusión de una mezcla natural de fosforitas, carbonato sódico y sílice a una temperatura entre 1000 y 1200 °C en hornos rotatorios



Este producto es en su totalidad soluble en citrato amónico, es un producto alcalinizante ya que presenta un 40 % de óxido de calcio, se puede considerar un fertilizante de acción rápida, aunque su efecto es mucho más lento que cualquier fosfato soluble en agua, y ello le proporciona la ventaja de que sea más lenta su inmovilización lo que es muy ventajoso en todos aquellos suelos que presenten un poder de fijación alto (Ortuño A.).

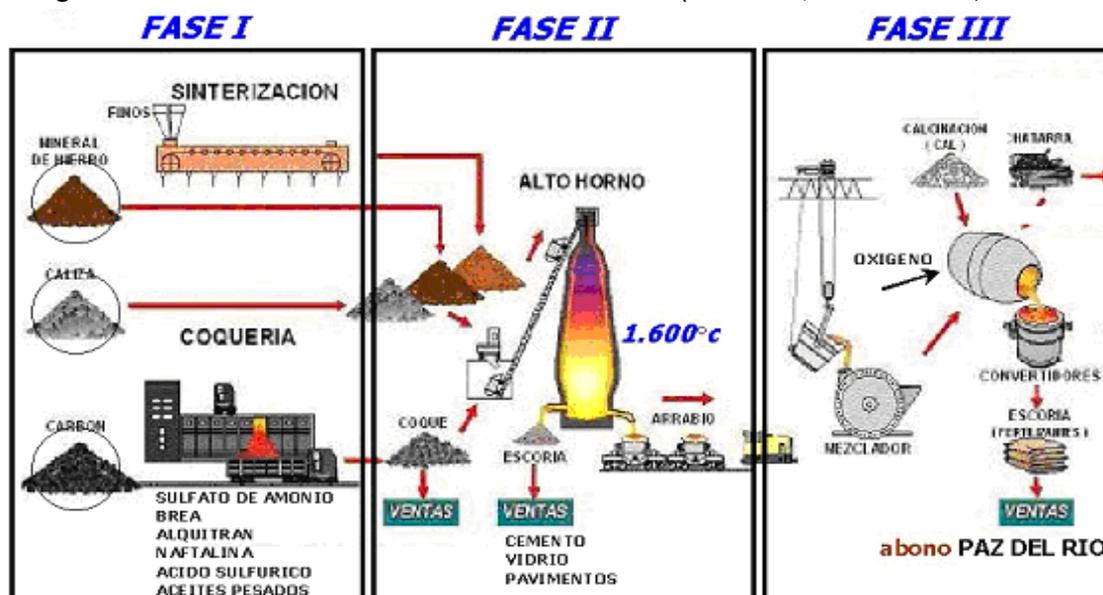
ESCORIAS DE THOMAS O ESCORIAS DE DESFOSFORIZACIÓN.

Es un subproducto de la empresa siderúrgica y constituye un fertilizante fosfórico muy apreciado para suelos ácidos, el proceso Thomas, es un proceso para la obtención de acero a partir de una fundición rica en fósforo. El proceso (Ver Fig. 2.6) opera desde un reactor denominado alto horno hasta otro horno especial llamado convertidor, en este se coloca previamente cal; el hierro en bruto fundido (arrabio) entre 1300 y 1600°C, llega a este horno, dándole una fuerte corriente de oxígeno a alta presión que aviva el calor, esta cal se funde y se combina con el fósforo del hierro, el magnesio, el silicio y todos los demás minerales formando así un fosfosilicato de calcio y magnesio (Ca₅(PO₄)₂SiO₂) el que por ser menos pesado que el hierro sube a la superficie de la masa fundida, este material se recoge en un recipiente especial y se destina a la planta de fertilizante donde se tritura, pulveriza y empaca. Se forma así un producto muy poco soluble en agua, acompañado de óxidos de hierro, con un contenido en P₂O₅ que oscila entre el 10 al 15 % (Manual de Empresa Paz del Río).

Es insoluble en agua, además tiene entre un 35 - 40 % de óxido de calcio y una cantidad interesante de micronutrientes, como son: Co, Mo, Mn, Cu y B, la eficacia de este material es tanto mayor cuanto más pulverizado esté, así algunas legislaciones exige que al menos el 90 % de sus partículas tengan un diámetro inferior a 0,125 mm (125 micras), es un fertilizante de reacción básica muy apropiado para corregir la acidez de los suelos, la asimilación de este fertilizante por la planta es

mucho menor que la de cualquier superfosfato pero presenta la ventaja de tener un efecto más prolongado en el suelo al ser un producto insoluble en agua para que se aproveche al máximo su aplicación es aconsejable colocar las partículas en contacto directo con las raíces, para que la acidez potencial que desarrolla el entorno radicular contribuya al aumento de la solubilidad, esto

Figura 2.6. Proceso de fabricación escoria Thomas (Manual Empresa Paz del Río)



supone que obligatoriamente este fertilizante debe de ser enterrado.

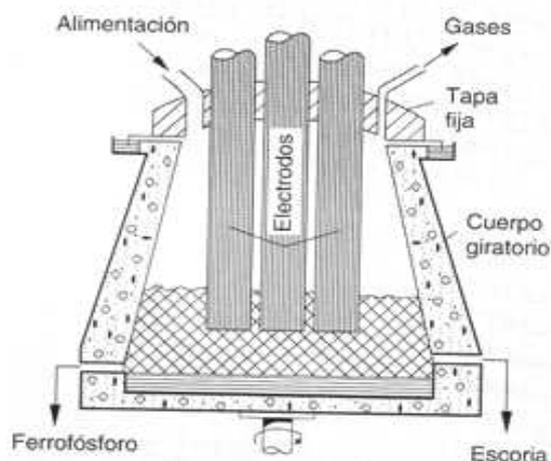
Para su efecto óptimo debe de utilizarse unos meses antes de la siembra y nunca debe de mezclarse con fertilizantes cálcicos, o superfosfatos de cal ya que puede provocar fenómenos de retrogradación (insolubilización) y por supuesto tampoco debe utilizarse con fertilizantes amónicos, porque se favorece la volatilización del amonio, sin embargo es el producto más adecuado para mezclarse con cianamida cálcica, ya que la mezcla de estos productos proporcionan lo que se denomina fertilizante nitrogenado básico que es un producto de aplicación excelente para suelos ácidos y es la base principal para la fabricación de estiércol artificial.

REDUCCIÓN DE FOSFATOS A FOSFORO ELEMENTAL

Si la calcinación se hace en presencia de sílice, se facilita la destrucción de la estructura de la RF porque el SiO_2 desplaza el anión fosfórico, esto tanto mejor será cuando más alta sea la temperatura, aportándose el calor en horno eléctrico, junto a la combustión de carbón en hornos de cuba. Se favorece el desplazamiento, sin que sea preciso superar los 1500°C , al reducir con coque el P_2O_5 liberado. Así se forma fósforo elemental, volátil (Ortuño A.).



El horno eléctrico se alimenta con las materias primas (fosfato, coque, sílice) en trozos o terrones para facilitar la permeabilidad del lecho y el escape de los gases. Para favorecer el desplazamiento continuo de la carga en el interior del horno, frecuentemente se hace giratorio el crisol inferior, de cemento refractario con solera de carbón, respecto al cuerpo superior o campana, habitualmente de acero y refrigerado por agua. Los electrodos, de carbón aglomerado en el interior de tubos de hierro, se introducen continuamente en el horno al ritmo de su consumo por combustión (Fig. 2.7). A la salida, los gases sufren una remoción de polvo por electrofiltro y luego se condensa el vapor de fósforo con inyección de agua fría. El gas final es CO en un 92%, con un contenido calorífico de unas 3000 kcal/m³ que se utiliza para calentar otra operación del proceso. Drenando el horno intermitentemente se extraen la escoria silícea, y por el fondo un ferrofósforo formado a expensas del Fe contenido en las materias primas y de los forros de los electrodos. (Ortuño A.).



facilitar la permeabilidad del lecho y el escape de los gases. Para favorecer el desplazamiento continuo de la carga en el interior del horno, frecuentemente se hace giratorio el crisol inferior, de cemento refractario con solera de carbón, respecto al cuerpo superior o campana, habitualmente de acero y refrigerado por agua. Los electrodos, de carbón aglomerado en el interior de tubos de hierro, se introducen continuamente en el horno al ritmo de su consumo por combustión (Fig. 2.7). A la salida, los gases sufren una remoción de polvo por electrofiltro y luego se condensa el vapor de fósforo con inyección de agua fría. El gas final es CO en un 92%, con un contenido calorífico de unas 3000 kcal/m³ que se utiliza para calentar otra operación del proceso. Drenando el horno

intermitentemente se extraen la escoria silícea, y por el fondo un ferrofósforo formado a expensas del Fe contenido en las materias primas y de los forros de los electrodos. (Ortuño A.).

El 60% del consumo de energía eléctrica en estos hornos se emplea en la reacción, perdiéndose el resto en los gases, escorias, radiación etc. se emplea energía trifásica. Los hornos son de hasta 60000 Kw.

TERMOFOSFATOS MAGNESIANOS

Antes de ser descubiertos importantes yacimientos piríticos (para la obtención de AS), se consideró la sustitución parcial de los superfosfatos con otro fertilizante que no requiriera el consumo de AS.

El fosfato de magnesio fundido (FMF) es soluble en ácido cítrico al 2%, pero de baja solubilidad en citrato. El FMF al inicio se disuelve fácilmente en citrato neutro, pero la disolución es detenida por la formación de una película de silicato sobre la superficie del fosfato (Nelson F).

El termofosfato magnesiano se obtiene por la fusión del apatito o de las fosforitas mezcladas con silicatos magnesianos naturales como la serpentinita ($3\text{MgO}-2\text{SiO}_2-2\text{H}_2\text{O}$), olivita ($(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$), o escoria de níquel. La mezcla es fundida entre 1350 a 1500 °C en un horno (hornos metalúrgicos, con coque o gas, o bien usando el método electrotérmico) y luego se enfría bruscamente.

El producto es vítreo por lo que hay que molerlo intensamente y tiene entre 18-25% de P₂O₅, Soluble en ácido cítrico al 2%. Los productos comerciales tienen una composición variable, que va: 14 a 22% P₂O₅, 22 a 35% de SiO₂, 25-33% CaO, 15 a 23% MgO, 1 a 3% Al₂O₃, 1 a 5% FeO y 1 a 2% F, mostrándose en la Tabla 2.2 algunos resultados comparativos.

Tabla 2.2 Solubilidades de termofosfatos

	P2O5 Total (%)	Solubilidad (%)				Temp. (°C)	Malla
		Ácido cítrico al 2%		Citrato de amonio			
		100 mL	150 mL	Neutro	Ácido		
FMF	19.6	99.2	99.7	51.2	96.2	1450	100
F. Renania	31.1	92.2	96.6	90.1	86.6	1350	100
F. Thomas	18.1	96.6	97.8	90.0		1700	100

PROCESOS BIOLÓGICOS

En el ciclo natural de los elementos existen procesos en los cuales es importante la intervención microbiana para su transformación, los cuales corresponden a los procesos de (1) mineralización, el cual consiste en la transformación de las formas orgánicas a inorgánicas, (2) inmovilización en la cual se transforman los compuestos inorgánicos en orgánicos, (3) reacciones redox que envuelve la transferencia de electrones entre compuestos del elemento en cuestión, (4) solubilización en la cual algunos minerales insolubles, como el fosfato tricalcico, se hacen disponibles para la nutrición mineral de las plantas y los microorganismos y (5) biometilación de elementos como el mercurio, que incrementa la movilidad del elemento en el ambiente (Silvia et al., 2005).

Los métodos biológicos para mejorar la eficiencia agronómica de las RF aplicadas directamente como fertilizantes fosfatados son: (1) la compostación de los residuos orgánicos con la RF (fosfocompostes), (2) la inoculación de las semillas o de las plántulas con microorganismos solubilizadores de fosfatos (hongos, bacterias y actinomicetos y, (3) la inclusión en el sistema de cultivos de genotipos de plantas que poseen un mejor crecimiento radicular y, por lo tanto, un mayor volumen de exploración del suelo, exudan protones y ácidos orgánicos que incrementan la solubilización de los fosfatos poco solubles mediante la disminución del pH y la quelación, y producen niveles altos de las enzimas fosfatasa que pueden descomponer las formas de fósforo orgánico en P inorgánico. (Zapata y Roy, 2007)

FOSFOCOMPOSTACION

El reciclaje de cuantiosos volúmenes de desechos sólidos producidos por la actividad humana bien sea agrícola, forestal, industrial o domestica ha sido considerado como importante problema por investigadores e instituciones a nivel nacional e internacional (FAO, 2007) a fin de reducir el efecto contaminante que estos residuos puedan causar al ambiente y a la vez permitir su reutilización como insumos en la agricultura e industria.

Desde tiempos remotos, el hombre ha utilizado los residuos producidos por la actividad agropecuaria como enmiendas orgánicas aplicadas al suelo para mejorar sus condiciones físicas, químicas y biológicas. La adición de materiales biodegradables conlleva a la síntesis de complejos orgánicos que unen las partículas en agregados, se incrementa el espacio poroso, mejora la infiltración y el almacenamiento del agua. Los compuestos orgánicos constituyen además, reservorios de nutrimentos esenciales, secundarios y elementos traza.

Se ha estimado que la materia orgánica contiene más del 75 por ciento del fósforo disponible en el suelo y 50 por ciento del carbono que sirve como fuente de energía para la población microbiana encargada de descomponer los residuos. El compostaje es un proceso aeróbico y biológico de degradación de la materia orgánica bajo condiciones controladas. Es una técnica muy antigua que consiste en mezclar desechos animales, vegetales, ceniza, elementos minerales proporcionándoles niveles de humedad, aireación y temperatura favorables a la actividad de los microorganismos capaces de convertir esos materiales en compuestos orgánicos estabilizados.

El compost maduro, producto final del proceso de descomposición, es un abono orgánico altamente humificado en el cual ha ocurrido una ganancia neta de nitrógeno y reducción del 50 por ciento en peso respecto a la mezcla original. Las altas temperaturas (45 - 65 ° C), durante la fase termofílica del compostaje, causan la muerte efectiva de patógenos y semillas de malezas evitando que sean transferidos a cultivos sucesivos. El procesamiento de las RF con diversos materiales orgánicos y su compostación, es una técnica promisoría para mejorar la solubilidad y la subsiguiente disponibilidad de P de las RF para las plantas.

La tecnología es particularmente atractiva cuando: (1) se dispone de RF de reactividad media a alta pero que no son adecuadas para la producción de fertilizantes enteramente acidulados como el SFT o el superfosfato simple, (2) se aplican en forma rutinaria abonos orgánicos para mantener la materia orgánica del suelo y para complementar los requerimientos en elementos nutritivos (como en la mayoría de suelos tropicales), (3) se practica una agricultura orgánica que excluye el uso de fertilizantes procesados químicamente y, (4) se deben eliminar de manera segura para el medio ambiente los residuos urbanos y de la explotación agrícola.

Los productos compostados con la RF son comúnmente llamados fosfocompostes (Zapata y Roy, 2007). La fosfocompostación está basada en el principio de que durante la descomposición de los materiales orgánicos se produce una intensa actividad microbiana. Muchos tipos de bacterias y hongos dan como resultado la producción de un gran número de ácidos orgánicos y sustancias húmicas. Algunos de los ácidos orgánicos más comúnmente producidos (Stevenson, 1967) son: cítrico, málico, fumárico, succínico, pirúvico, tartárico, oxalacético, 2-ketoglucónico, láctico-oxálico, propiónico y butírico.

El aumento de la liberación de fósforo de las RF parece ser una función de la acidificación de la misma por los ácidos orgánicos y sobre todo de su capacidad para quelatar el calcio, el hierro y el aluminio. La mayor capacidad de los ácidos orgánicos en comparación a los ácidos minerales de concentración equivalente para liberar el fósforo de la RF y la evidencia directa de su capacidad quelante, ha sido ampliamente documentada.

Otro factor importante en la liberación del P de la RF es la participación de los grupos OH en los ácidos orgánicos. Por ejemplo se ha demostrado que el ácido cítrico con tres grupos carboxilo (COOH) y un grupo OH fue capaz de disolver más P de la RF que el ácido cis-aconítico con tres grupos carboxilo pero sin el grupo OH.

El ácido fúlvico es el producto más reactivo de las sustancias húmicas para la adsorción de cantidades importantes de Ca^{2+} y la liberación de iones H^+ y, por lo tanto, aumentan la disolución de la RF. El ácido húmico puede formar complejos con el P y el Ca y crear un sumidero para la disolución posterior de la RF.

La aplicación de las sustancias húmicas al suelo también aumenta el P disponible para las plantas compitiendo por los sitios de retención de los iones P, formando una cubierta protectora sobre estos sitios. Un beneficio adicional que resulta de la aplicación del fosfocomposte es el movimiento del P

disuelto a una mayor profundidad de suelo, lo que permite la exploración de un volumen de suelo más grande para la absorción de P por las plantas (Zapata y Roy, 2007).

La descomposición de los materiales orgánicos (FAO, 2007) puede ser acelerada mediante la inoculación microbiana del composte (por ejemplo, *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Trichoderma viride*, *Cellulomonas* spp. y *Cytophaga* spp.) y la adición de fuentes de energía (melaza) a los residuos antes de la compostación.

Se puede esperar un incremento en la efectividad agronómica de la RF en la fosfocomposta con respecto a la de la RF aplicada directamente, debido a su mayor contenido de fósforo soluble en el ácido cítrico y agua que estará disponible para las plantas.

Además, las fracciones solubles de P estimulan el crecimiento radicular y facilitan una mayor explotación del suelo enriquecido con P (FAO, 2007).

INOCULACION DE MICROORGANISMOS FOSFOSOLUBILIZADORES

El fósforo después del nitrógeno es el nutriente inorgánico más requerido por plantas y microorganismos, y además en el suelo es el factor limitante del desarrollo vegetal a pesar de ser abundante tanto en formas inorgánicas como orgánicas. Las plantas deben absorberlo del suelo, donde se encuentra en muy baja concentración, normalmente en niveles que varían entre 5 y 30 mg/kg. Estos índices bajos del nutriente se deben a que el fósforo soluble reacciona con iones como el calcio, el hierro o el aluminio que provocan su precipitación o fijación, disminuyendo su disponibilidad para los vegetales. Los fosfatos inorgánicos aplicados como fertilizantes químicos también son inmovilizados en el suelo y como consecuencia no son solubles para ser aprovechados por los cultivos. Por lo tanto se considera, que la solubilización de distintas RF y otras fuentes de fósforo inorgánico por los microorganismos del suelo es una alternativa fundamental para incrementar la cantidad de nutriente disponible para las plantas (Fernández, 2005).

Los microorganismos fosfosolubilizadores son aquellos que, mediante mineralización de materia orgánica o producción de ácidos orgánicos que solubilizan las formas inorgánicas insolubles del fósforo, lo hacen disponible en forma de ortofosfato, el cual es asimilable tanto por las plantas como por los microorganismos. Se ha encontrado que cerca del 40% de la población bacteriana cultivable corresponde a fosfato solubilizadoras, especialmente en la zona rizosférica, en donde se encuentra en cantidades de dos a tres veces superiores a las del suelo circundante.

De ahí que éste grupo funcional sea de gran interés investigativo para la biofertilización de suelos con el fin de proporcionar mayor disponibilidad de fósforo, elemento de gran limitación para el crecimiento vegetal, y que además demanda una gran inversión económica por parte de los cultivadores (Mukerji *et al.*, 2006; Angulo y García, 2008).

MECANISMOS DE SOLUBILIZACION MICROBIANA DEL FOSFORO.

La fracción inorgánica del fósforo está constituida por formas en sus diferentes estados de oxidación, +3 para las fosfinas y +5 para los ortofosfatos, donde las formas asimilables son HPO_4^{2-} y H_2PO_4^- . Las mayores fuentes de fósforo inorgánico son las RF, tales como las apatitas, hidroxapatitas y oxiapatitas, constituidos por fosfatos de calcio y cuya principal característica es la insolubilidad en agua, por lo que se constituyen como los mayores reservorios de fósforo, lo que es de gran utilidad en la agricultura si se tiene en cuenta que bajo condiciones apropiadas de pH, pueden ser solubilizadas y disponibles para las plantas; de igual forma, el fosfato puede ser encontrado asociado a la

superficie de óxidos hidratados de hierro, aluminio y manganeso que son poco solubles y no asimilables.

La solubilización de los compuestos inorgánicos insolubles como los fosfatos de calcio, se llevan a cabo por la producción de ácidos orgánicos por parte de los microorganismos y la consecuente sustitución del Ca^{2+} por iones H^+ . Dentro de los ácidos producidos por microorganismos que solubilizan el fósforo inorgánico se encuentra el ácido glucónico, producido predominantemente por bacterias de los géneros *Pseudomonas*, *Erwinia* y *Burkholderia*; otro ácido orgánico identificado en cepas fosfosolubilizadoras es el ácido 2-cetoglucónico presente en cultivos de *Rhizobium*, *Bacillus* y otras bacterias no identificadas; otros ácidos comunes en la solubilización del fósforo son el ácido glicólico, oxálico, malónico y succínico. Por otro lado, otro mecanismo de solubilización del fósforo, es la producción de sideróforos, en donde elementos unidos al fósforo insoluble como el hierro, son quelados liberando así el fosfato; el 2 cetogluconato, citrato, oxalato y lactato, son agentes quelantes que forman complejos con la fracción catiónica del compuesto fosfatado ocasionando así su disociación.

La producción de CO_2 del metabolismo también contribuye a una mejor solubilización del fósforo. Varios de los microorganismos fosfato solubilizadores se les reconoce como *plant growth promoting rhizobacteria* (PGPR), siendo de este grupo las bacterias como *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Rhizobium*, *Erwinia*, *Serratia*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium* y *Azotobacter* ya que estas ayudan a la planta en diferentes formas para tener un buen desarrollo, utilizando mecanismos como los indirectos, mediante eliminación o ataque de los posibles fitopatógenos, ya sea por competencia de nutrientes, producción de antibióticos, hidrólisis de moléculas perjudiciales o también por producción de sideróforos. Otro mecanismo es el directo, el cual incluye la fijación de nitrógeno y la solubilización de fósforo, para que las plantas obtengan sus fuentes de nitrógeno y fósforo más fácil; además, éstas bacterias están en capacidad de producir factores de crecimiento vegetal como son las auxinas, giberelinas y citoquininas entre otras, que pueden causar en la planta una mayor elongación del tallo, mejoras en la división celular, mejoramiento de la tasa fotosintética, y en general un mejor crecimiento, lo cual es el principal interés de los agricultores. (Rodríguez y Fraga, 1999).

MICROORGANISMOS FOSFO SOLUBILIZADORES.

Un considerable número de bacterias que presentan principalmente asociación con la rizosfera de las plantas, ejercen importantes beneficios sobre el crecimiento de estas. Este grupo de bacterias han sido denominadas "rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas". (Rodríguez y Fraga, 1999).

Se han aislado de distintos suelos bacterias solubilizadoras de fosfato pertenecientes a los géneros *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Agrobacterium*, *Burkholderia*, *Achromobacter*, *Micrococcus*, *Aerobacter*, *Flavobacterium* y *Erwinia*. Estos microorganismos crecen en medios con fosfato tricalcico, apatita o materiales insolubles similares como única fuente de fosfato y no solo asimilan el elemento sino que solubilizan una gran proporción del mismo, liberándolo en cantidades superiores a sus demandas nutricionales.

El principal mecanismo microbiológico por el cual los compuestos fosfatados son movilizados es la disminución del pH del medio por la producción de ácidos orgánicos. Se han descrito otros posibles mecanismos que incluyen la eliminación de protones fuera de la célula y su intercambio con cationes unidos al fósforo o la producción de ácidos inorgánicos como el AS, el ácido nítrico o el ácido carbónico. Si bien muchos géneros bacterianos presentan esta capacidad para solubilizar fósforo inorgánico, es de particular interés detectar esta habilidad en grupos que tengan otras propiedades de promoción de crecimiento vegetal, como por ejemplo, capacidad para fijar nitrógeno atmosférico.

Se han aislado microorganismos como *Azospirillum lipoferum* o *Azotobacter chroococcum* que además de ser fijadores libres de nitrógeno, son capaces de promover el crecimiento vegetal mediante la solubilización de fosfatos inorgánicos. Además, distintas especies de los géneros *Rhizobium* y *Bradyrhizobium*, bacterias del suelo que fijan nitrógeno en asociación simbiótica con distintas leguminosas, poseen capacidad de solubilización de fósforo inorgánico. Existen diferentes métodos para seleccionar microorganismos solubilizadores de compuestos de fósforo inorgánico aislados del suelo. Los distintos criterios presentan sus ventajas y desventajas.

Si bien se ha demostrado que la selección a partir de la formación del halo de solubilización no es una técnica infalible, tampoco la concentración de fósforo detectada en cultivo líquido lo es. También se ha observado que algunos microorganismos que solubilizan fósforo en condiciones de laboratorio no son capaces de hacerlo en vertisoles alcalinos.

Esta incapacidad se debe posiblemente al alto poder de resistencia a los cambios de pH de los suelos alcalinos junto con la baja secreción de ácidos orgánicos que producen los microorganismos en esos ambientes. Es mejor adoptar técnicas de selección de cepas a partir de ensayos que reflejen la capacidad amortiguadora de pH del suelo y por lo tanto serían válidos solo aquellos métodos que incorporen soluciones tamponadas a los medios de cultivo. De todas maneras, solo los ensayos de campo, establecerán si la capacidad solubilizadora de fósforo inorgánico de los organismos seleccionados *in vitro* realmente tiene efecto sobre plantas de interés comercial. (Fernández et al, 2005)

Entre los géneros más representativos, que comprenden tanto bacterias aeróbicas como anaeróbicas, que presentan capacidad para solubilizar estos compuestos de fosfato en el suelo y en la rizosfera de las plantas se encuentran: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Burkholderia*, *Achromobacter*, *Agrobacterium*, *Micrococcus*, *Aerobacter*, *Flavobacterium*, *Azotobacter* y *Erwinia*.

Diferentes estudios sugieren que las bacterias pertenecientes a los géneros *Rhizobium*, *Pseudomonas* y *Bacillus* son las más potentes bacterias solubilizadoras. Es importante reconocer que existen otros microorganismos solubilizadores de fosfato, estos son hongos entre los cuales se caracterizan (Rodríguez y Fraga, 1999) los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y *Botrytis* entre otros.

Finalmente se encuentran numerosos grupos bacterianos y entre ellos el género *Pseudomonas fluorescens*, que es el que ha manifestado mayor capacidad solubilizadora del mineral y mayor producción de fitohormonas que inducen a un gran desarrollo radicular. Por todo lo anteriormente se ha demostrado bajo condiciones tanto de laboratorio como de campo las siguientes ventajas agronómicas:

1. Alta capacidad de solubilización del fósforo del suelo: Esta alta capacidad solubilizadora es llevada adelante a través de diferentes estrategias según se trate del fósforo orgánico o del fósforo inorgánico del suelo. En el primer caso las bacterias generan enzimas del tipo fosfatasa que hidrolizan los enlaces orgánicos fosfatados liberando aniones fosfato a la solución del suelo de donde los microorganismos y las raíces de las plantas se nutren. En el caso del fósforo inorgánico su solubilización es lograda por las bacterias a través de la producción de ácidos orgánicos como el ácido glucónico que libera fosfatos y cationes de Ca^{2+} , Fe^{3+} y Al^{3+} a la solución del suelo.

2. Alta producción de factores de crecimiento vegetal : La alta producción de hormonas de que son capaces las bacterias del género *Pseudomonas* sp permiten obtener un mayor desarrollo radicular que es conseguido a través de la acción específica de las auxinas que fundamentalmente inducen a la iniciación de las raíces y de los pelos absorbentes; de las giberelinas que actúan promoviendo el alargamiento de las células que componen la raíz y de las citoquininas que activan la división celular y retardan la senescencia radicular.

3. Producción de antibióticos y sideróforos : El efecto antibiótico y sideróforo no siempre es visualizado en las plantas inoculadas (González, 2008), no obstante se mencionan reducciones de patógenos y mejor estado sanitario de las plantas tratadas con *Pseudomonas fluorescens* debido al efecto de control directo de los patógenos que se logra a través de los antibióticos e indirecto a través del secuestro de sustancias nutritivas para los patógenos como es el hierro que realizan moléculas orgánicas del tipo de los sideróforos disminuyendo de esta forma la incidencia de enfermedades sobre las plantas.

Así mismo, (Altomare, 1999) investigaron la capacidad de *Trichoderma harzianum* para solubilizar in vitro minerales insolubles o poco solubles: RF y compuestos metálicos de Fe, Mn y Zn. Ellos reportaron la capacidad de la cepa para solubilizar la RF y demostraron también que en la solubilización de hierro está involucrada una actividad quelante.

A pesar de que la solubilización del fosfato por bacterias ocurre en el suelo, la concentración de estos microorganismos no es suficiente para competir con otras poblaciones bacterianas que usualmente se encuentran establecidas en la rizosfera, de tal manera que la cantidad de fósforo liberado por estas no es suficiente para incrementar significativamente el crecimiento de la planta.

No obstante, estas bacterias producen otros metabolitos benéficos para la planta, tales como fitohormonas, antibióticos y sideróforos, que generan confusión con respecto a la función principal de la solubilización del fosfato por parte de estas bacterias. Por ejemplo, la *Burkholderia cepacia* no produce ácido indolacético pero lleva a cabo una significativa solubilización de fosfato y una actividad de la fosfatasa moderada, así mismo, el efecto de la solubilización de fosfato por parte de *Rhizobia* es el mecanismo más importante para incrementar el crecimiento de plantas en suelos fértiles, por otro lado, *Pseudomonas putida* también estimula el crecimiento de las raíces. Una alternativa para emplear bacterias solubilizadoras de fosfato como inoculantes microbianos es el uso de cultivos mezclados o coinoculados con estos microorganismos.

Varios estudios (Rodríguez y Fraga, 1999) han demostrado el beneficio de emplear inoculantes combinados de bacterias fosfato solubilizadoras y *Azotobacter*, también se ha demostrado que la coinoculación de *Pseudomonas striata* y *Bacillus polymyxa* incrementa la habilidad por parte de estas bacterias para realizar la solubilización de compuestos de fosfato.

FOSFATOS PARA PRODUCCION ANIMAL

El fósforo tiene funciones muy importantes para la vida y en el caso específico de los animales actúa en la formación de la estructura ósea y de los dientes. Es constituyente de las membranas celulares, de sistemas enzimáticos, actúa en la transferencia de energía, forma parte de los componentes de los fosfatos de alta energía, participa en el metabolismo de los nutrimentos, en los sistemas tampón en fluidos corporales y en la síntesis de tejidos y productos (tejido muscular, leche, huevo y lana). También es parte del ácido nucleico el cual es importante en la transmisión genética y en el control del metabolismo celular, en la síntesis de aminoácidos y formación de proteínas (Casanova, 2008).

A efectos prácticos las necesidades más relevantes son las relacionadas con el mantenimiento de la calidad de las estructuras óseas. En aves, la carencia se traduce en mayor incidencia de decomisos en matadero y empeoramiento de la calidad de cáscara. Deficiencias más sutiles influyen sobre la fertilidad, el funcionamiento apropiado del rumen y los fenómenos de pica y canibalismo (McDowell, 1992). El exceso no es sólo caro y contaminante sino que además influye negativamente sobre los procesos de calcificación y de formación de la cáscara.

Tabla 2.3 Composición aproximada de las fuentes de fósforo y calcio más comunes en alimentación animal (porcentaje) (Mateos y García, 1992)

Harina de huesos	12,4
Fosfato de roca defluorinado	18,0
Fosfato bicálcico x 2 H ₂ O	18,0
Fosfato coloidal	9,0
Fosfato mono-bicálcico	21,0
Fosfato monocalcico	21,9
Fosfato monosódico x H ₂ O	24,0
Fosfato cálcico-magnésico	18,0
Fosfato monoamónico	24,0
Acido fosfórico, 75%	23,0

En la dieta de las especies animales el fósforo puede provenir de fuentes orgánicas como el caso de los pastos y otros productos y de fuentes inorgánicas como los alimentos balanceados y la suplementación mineral, realizada mayormente con productos como el fosfato mono, di y tricalcico. Varios investigadores han demostrado la posibilidad de incorporar a la roca fosfórica como fuente total o parcial de fósforo en la dieta animal. Sin embargo, sus niveles de flúor aumentan considerablemente el riesgo de producir toxicidad. (Casanova, 2008).

La corrección de las deficiencias de fósforo, en animales a pastoreo, en la formulación de estas mezclas minerales, no sólo es importante considerar los niveles del fósforo en el suplemento, sino también su biodisponibilidad. Los suplementos minerales, debido al elevado costo de los fosfatos desfluorinados, incluyen frecuentemente fosfatos de yacimientos u otras fuentes de fósforo que contienen altos tenores de flúor como es el caso del fertilizante superfosfato triple.

Esto hace necesario que los niveles de inclusión de este elemento deben ser considerados tomando en consideración los límites tolerables de este. En el caso de los bovinos ha sido estimado alrededor de 100 ppm, cuando éste proviene de rocas fosfáticas crudas (NRC, 1984). (Godoy, Chicco, Requena y Obispo, 2000.)

VALOR BIOLÓGICO O BIODISPONIBILIDAD

El valor biológico o grado de eficiencia biológica, es el nivel de disponibilidad o aprovechamiento del elemento por el animal, en este caso del fósforo.

Las fuentes minerales constituyen hoy día el principal aporte de P en dietas comerciales. Tradicionalmente el fosfato dicálcico dihidratado era la forma más utilizada. Esta fuente contiene entre un 17 y un 18% de P, al cual se le da una disponibilidad del 100%, que sin ser real permite establecer una valoración relativa entre fuentes de P. Han aparecido en el mercado otras fuentes de P, tales como el fosfato monocálcico y el fosfato dicálcico. Estas fuentes presentan disponibilidades relativas del P superiores al 100% y en general tienen niveles inferiores de contaminación por metales pesados (Mateos y García).

Existen varios estudios sobre ello y también existen divergencias sobre todo con los fosfatos de calcio no procesados químicamente, como en el caso del fosfato de roca y la harina de huesos. Algunos datos se muestran en las Tablas 2.4 y 2.5 :

Tabla 2.4 Contenido y valor biológico del fósforo (Vargas A.)

	P (%)	Ca (%)	VB (%)
Fosfato de roca (Defluorinada)	12-15	35	50-70
Fosfato de roca natural	9-10	18-20	25-35
Harina de huesos	11	25	90-100
Harina de huesos *	14.0	34	35 *
Fosfato dicálcico	18.5	26	100

* Grado de eficiencia biológica según la Universidad de Goettingen (Alemania), citado por Tayarol, 1993.

Tabla 2.5 Contenido y biodisponibilidad del fósforo (Vargas A.)

	Rel. P : F	Biodisponibilidad	P (%)
Bicálcico	100:1	100.0 %	18-19
Supertriple	46:1	95.7 %	20-21
Roca fosfórica	7:1	60 - 70 %	9-11

PRODUCCIÓN DE ROCA FOSFÓRICA DEFLUORINADA

La RF defluorinada es producida en una planta de procedimiento húmedo donde la roca fosfórica proveniente del yacimiento se le agrega productos para la eliminación del Fluor tales como ácido fosfórico y soda cáustica en cantidades controladas, produciendo una calcinación de la mezcla en un rango de temperatura de (1300 a 1500°C). Todos los productos fosfáticos para alimentación animal requieren de cantidades específicas mínimas de P y Ca y máximas de Fluor (Casanova, 2008).

La reacción química que se produce se presenta en la siguiente fórmula:

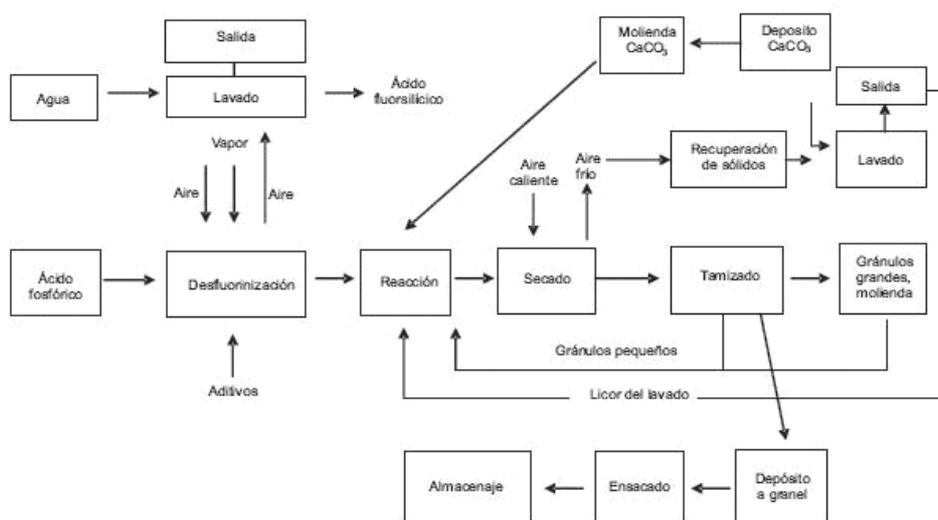


En consecuencia la roca que mineralógicamente es una flúorapatita, por este proceso de eliminación del F en forma de vapor, se transforma en un fosfato tricalcico el cual contiene además 4 a 6% de sodio con una alta disponibilidad biológica. La tabla 2.6 muestra la comparación de una roca defluorinada y el fosfato dicálcico que es la fuente más usada en la alimentación animal, su concentración de Ca, P, Na, K, Mg, Mn, Fe, Cu, Zn y Se, así como la biodisponibilidad de cada fuente. Es importante destacar que las concentraciones de P en ambas fuentes son similares.

Tabla 2.6 Caracterización de Roca fosfórica defluorinada y fosfato dicálcico usados como suplemento en la alimentación animal. (Casanova, 2008).

Fuente	%Ca	%P	%Na	%K	%Mg	Mn mg/kg	Fe mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Se mg/kg	Biodisponibilidad
DRP	33	18	4.5	0.09	-	220	9200	22	44	0.6	Media
DP	20	18.5	0.08	0.07	0.6	300	10000	88	220	0.6	Alta

DRP: Roca Fosfórica defluorinada, DP: Fosfato di cálcico



(Fuente: Hallsworth and Fawcett, s/f).

Figura 2.5 Esquema de proceso industrial de producción de RF defluorinada o fosfato tricálcico. (Hallsworth y Fawcett. 2006).

Por otro lado, la Figura 2.5 (Hallsworth y Fawcett. 2006) muestra el proceso industrial que es seguido en Florida, Estados Unidos, para la producción de roca fosfórica. La RF y el AF, las principales fuentes del proceso, son recibidas desde el almacén y alimentadas en el proceso bajo condiciones controladas. Conjuntamente con un aditivo que generalmente es soda cáustica, se introducen en un mezclador en húmedo para preparar esa mezcla tanto química como físicamente que alimenta el calcinador.

La eliminación del Fluor de la RF por calcinación a altas temperaturas (condiciones que permiten extraer el Fluor) convierte al P que en la roca está bajo la forma no aprovechable de fluorapatita a una forma que es soluble en ácido cítrico o citrato de amonio. Esto es equivalente a formar un producto que es bioaprovechable y que tiene una relación P/F mayor de 100. El producto calcinado es enfriado y cribado para lograr el tamaño adecuado antes del empaque. Este producto es conocido como RF defluorinada (DFP) o fosfato tricálcico (TCP) (Casanova, 2008).

Producción de Fosfato Dicalcico

Existen numerosos procesos, bien a partir de RF, o a partir de AF, para la obtención de fosfato dicálcico. El proceso tradicional consiste en tratar la RF inicial (fosforita, fluoroapatita, fosfato

tricálcico con 4% fluor o fosfato crudo) con un ácido fuerte (normalmente ácido clorhídrico o sulfúrico) y una fuente de calcio (normalmente carbonato cálcico) a altas temperaturas. El proceso da lugar a una sal cálcica más fosfato dicálcico dihidratado cuyo contenido en P varía entre el 17 y el 18% en función de las impurezas.

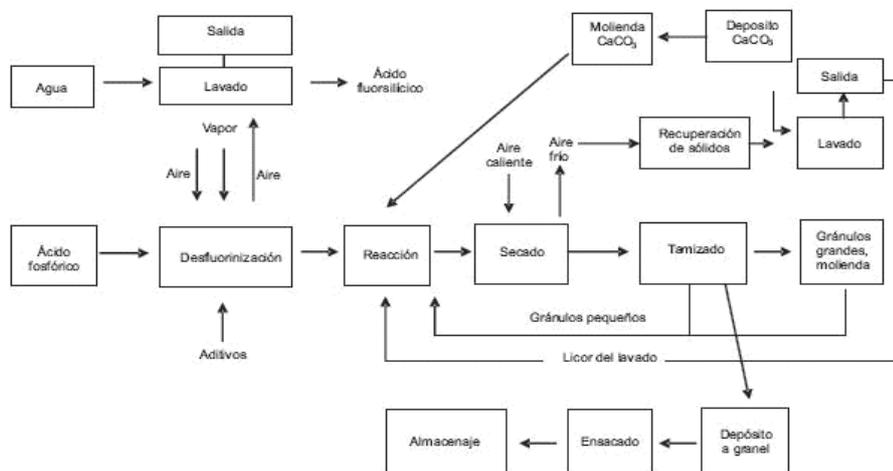
El proceso de producción incluye los siguientes pasos: 1) selección de la RF original en función de su baja contaminación y constitución; 2) molienda de la fluoroapatita original; 3) disolución de la fosforita en un ácido dando lugar a fosfato cálcico disuelto y a una fracción insoluble que incluye gran parte de las impurezas; 4) decantación y purificación de la fracción soluble y 5) neutralización y precipitación en su caso del fosfato dicálcico. Un punto clave del proceso es la temperatura aplicada ya que si esta es muy elevada se originan niveles superiores de meta (PO_3^-) o pirofosfato ($\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$) de menor disponibilidad que el ortofosfato (PO_4^{3-}) correspondiente, en el producto final. En general los procesos de obtención de fosfato dicálcico en base a HCl utilizan temperaturas de reacción inferiores a cuando se basan en H_2SO_4 . Fosfatos dicálcicos con más del 19% de P se refieren normalmente a formas anhidras obtenidas mediante procesos de desecación. Estos productos suelen incorporar cantidades variables de CaCO_3 (hasta un 20%).

En todos los casos el proceso conlleva una fase de calentamiento y purificación que reduce el nivel de contaminantes, especialmente de Fluor y de metales pesados, de la fosforita inicial. El contenido en P de estos fosfatos suele ser superior al 20-21%. Numerosos fosfatos comerciales son de composición variable y no constituyen una entidad química definida sino que son una mezcla de fosfato monocálcico, fosfato bicálcico, AF, carbonato cálcico e impurezas. El control de calidad de los fosfatos no es sencillo, exigiendo la valoración de numerosos parámetros y un estudio sobre la variabilidad entre lotes de los mismos (Mateos G. y García M.). Las especificaciones a controlar son:

- Contenido en P y en Ca, relación Ca:P y presencia de CaCO_3 (medible mediante la técnica de producción de CO_2).
- Solubilidad del P en ácido cítrico al 2% (> 95%) y en citrato amónico (> 95%). Aunque no siempre se cumple, la disponibilidad del P para monogástricos está relacionada con su solubilidad en el medio intestinal. El uso de ácido cítrico presenta una correlación aceptable a este particular.
- Solubilidad en agua. Valores superiores al 80% indican predominancia de P en forma monocálcica mientras que una solubilidad inferior al 50% indica una mayor presencia de la forma dicálcica.
- pH en torno a 7 para el fosfato dicálcico dihidratado tradicional e inferior a 5 para el fosfato monocálcico y monoamónico. Podría ser interesante el uso de las formas más ácidas de fosfatos cálcicos en piensos de iniciación para lechones.
- Control de elementos indeseables, como indicativo de la calidad de la fosforita inicial y del proceso de fabricación. La pureza mínima exigida a los fosfatos en la UE viene establecida por la directiva 74/63/EEC. Los valores máximos tolerables de los contaminantes son: F < 2.000 ppm (es recomendable que la relación P:F sea superior a 100); Cd < 10 ppm; As < 10 ppm; Pb < 30 ppm; Hg < 0,1 ppm.

El proceso incluye dos pasos (Figura 2.6 Hallsworth y Fawcett, 2006): la defluorización del ácido fosfórico y la reacción, granulación y manejo de los sólidos. La eliminación del flúor del ácido fosfórico bajo la forma de ácido fluorsilícico, se obtiene con la incorporación de vapor, aire y aditivos (tierras diatomeas con suplencia de sílice) al AF el cual es alimentado al paso de reacción donde se mezcla con carbonato de calcio molido generándose el fosfato mono o dicálcico que luego es secado, clasificado por tamaño de sus gránulos donde los muy finos o muy gruesos son reciclados al proceso y los del tamaño adecuado son transferidos a un depósito en granel y luego empacado para su comercialización. (Casanova, 2008).

Figura 2.6 Esquema de proceso industrial de producción de fosfato dicálcico. (Hallsworth y Fawcett, 2006).



(Fuente: Hallsworth and Fawcett, s/f).

3.0 SELECCIÓN DE LOS PROCESOS DE MODIFICACION A ESTUDIAR CON LA ROCA FOSFORICA DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA.

Dadas las características del Departamento del Huila, las principales tecnologías reseñadas en el Capítulo 2, y el interés expreso solicitado por la Secretaría de Agricultura y Minería de la Gobernación del Huila, a través del Contrato de Consultoría No. 1364, celebrado entre el Departamento del Huila y ZEOLITAS AFL Ltda, en su cláusula segunda, inciso d), se procederá en este estudio, a evaluar los procesos:

- o Vía Húmeda o Procesos Químicos
- o Calcinación ó Proceso Físico
- o Biolixiviación ó Procesos Biológicos

Las RF a utilizar en el estudio, corresponden a los minerales fosfáticos comercializados por las Empresas FERTILIZANTES DEL PAEZ S.A y Fosfatos del Huila S.A respectivamente, los cuales son los mayores productores de RF en el Departamento del Huila. A continuación, se relacionan las diferentes variantes o parámetros a estudiar dentro de cada tecnología seleccionada, así como su justificación técnica.

PROCESOS QUIMICOS

Se evaluará la solubilización del contenido total de Fósforo (P) en las RF, considerando el ácido sulfúrico (AS) y el ácido fosfórico (AF), como medios para lograr una solubilización química de las fuentes de fósforo.

La adición del ácido y el agua al proceso, tendrán como finalidad también, lograr la granulación de la RF acidulada, es decir lograr la formación de pellets ó gránulos de friabilidad similar a las materias primas portadoras de nitrógeno (urea y sulfato de amonio) y potasio (cloruro y sulfato de potasio), para asegurar con ello, la posible elaboración de mezclas físicas N-P-K granulares, en el caso de que ello sea la mejor variante a utilizar.

Las variantes diseñadas fueron:

- **Acidulación al 40 % con AS y AF.**
- **Acidulación con AF al 100 %.**
- **Acidulación al 40 % con AS + MAP ,**
- **Acidulación al 40 % con AF y Zeolita Natural.**

A continuación se detalla la información a obtener en el procesamiento de los resultados, a fin de establecer las conclusiones en cada caso.

Acidulación al 40 % con AS y AF.

La acidulación de las RF con estos dos ácidos, permitirá establecer desde el punto de vista químico y económico las ventajas de utilizar uno u otro, no solo en base a la composición química final de los productos obtenidos, sino también teniendo en cuenta la respuesta agronómica.

Acidulación al 100 % con AF

Esta variante, comparada con la anterior, puede determinar la conveniencia o no de solubilizar total ó parcialmente, el contenido total de P en ambas RF, para ello se determinará el costo de transformación, expresado en \$COP / tm P_2O_5 total y \$COP / tm P_2O_5 asim. (\$COP: pesos colombianos), también se considerará el costo de transportación para 1000 kg de P_2O_5 como base.

En los Anexos 1 y 2, se presentan los resultados primarios obtenidos para la composición química considerada para ambas RF y el precio base en los insumos.

Acidulación al 40 % con H_2SO_4 + MAP

Esta variante, se considera una intermedia entre la acidulación con AS y la acidulación con AF, la misma también permitirá cuantificar para ambas RF, la diferencia entre utilizar AF, ó una mezcla de AS y MAP, como alternativa de producción.

El uso de AS + MAP, pudiera ser una alternativa de acidulación inmediata a corto plazo, en el caso de que la misma de resultados favorables, con lo cual puede en un momento dado, atenuarse las consecuencias por la falta de AF.

Acidulación al 40 % con AF y Zeolita Natural

Está demostrado por resultados investigativos y referencia de la literatura (Barbarick, 1988), como se mencionó en el Capítulo 1, el efecto positivo que tiene la zeolita natural (ZN) cuando se modifica a su forma ácida o amónica en la solubilización del P de la RF, dando resultados favorables, además de mejorar el uso de los restantes nutrientes de Nitrógeno y Potasio por el cultivo, en Cuba se comercializa el fertilizante 3-11-0 conteniendo 22 por ciento de ZN junto con RF del Yacimiento de Trinidad de Guedez, Matanzas, y en Pesca, Colombia, la Empresa Fosfatos de

Boyacá S.A , tiene registrado y comercializa el ZEOFOS , a partir de la RF del Yacimiento de Pesca /Boyacá y ZN .

Con los tratamientos anteriores , se espera conocer la respuesta de la RF de ambas empresas, aciduladas con AF y conteniendo ZN.

PROCESOS FISICOS

El grupo de ensayos a realizar , comprenderán la calcinación de las RF, con vista a evaluar tanto la eliminación de flúor en el proceso térmico, como la solubilización del contenido de P en el producto final.

Con un tiempo de 60 minutos y una temperatura de 1000 °C, se procederá a calcinar las muestras de RF, sin otro componente. También se procederá al proceso de calcinación con una mezcla de carbonato de sodio y serpentinita (silicato de magnesio) en un caso y con arena sílice y carbonato de sodio en otro caso.

El análisis de los tratamientos anteriores permitirá seleccionar, el que brinde la mejor respuesta desde el punto de vista de costo y agronómicamente.

Para evaluar las condiciones requeridas para defluorinar las RF que permita la elaboración de una fuente de P para alimentación animal , se calcinará a 1300 °C y 60 minutos , dos muestras de RF sin añadirle otro insumo y dos muestras con una adición de 5kg de H₃PO₄ al 100 % / 100 kg de RF de ambas empresas. Los ensayos anteriores conformaran otro bloque de 4 tratamientos.

PROCESOS BIOLÓGICOS

Para evaluar la actividad fosfosolubilizadoras de un grupo de bacterias, se realizaron ensayos de campo bajo condiciones de invernadero, con un total 3 tipos diferentes de bacterias, en todos los casos el proceso que se aplicó fue el de inoculación de la bacteria , junto con la fuente de fósforo y la semilla en el momento de la siembra.

Las bacterias evaluadas fueron:

- o Burkodelia Cepacea.
- o Pseudomona
- o Micorrizas

Los ensayos tanto de Laboratorio como agronómicos , se realizaron por triplicado y a los mismos se le aplicó el Análisis de Varianza (ANOVA) y la comparación entre medias mediante la Prueba de Rango Múltiple de Duncan con un 95 % de Confiabilidad ($p < 0,005$), para determinar diferencias significativas entre los valores medios de los tratamientos estudiados.

Para la realización de los ensayos de laboratorio y agrícola, la totalidad de los tratamientos a evaluar, quedaron identificados como se muestra en la Tabla No. 3.1.

Tabla No. 3.1 Descripción e identificación de los tratamientos a estudiar

Tratamiento	Codificación	Descripción
PRUEBAS DE CALCINACION PARA DEFLUORINACION DE LA RF		
TC1	RFFH	RF de Fosfatos del Huila S.A
TC2	RFFP	RF de FERTIPAEZ S.A
TC3	RFFHAF	RF de Fosfatos del Huila S.A +5kg AF al 100% / 100 kg de RFFH
TC4	RFFPAF	RF de FERTIPAEZ S.A + +5kg AF al 100% / 100 kg de RFFP
PRUEBAS DE ACIDULACION, TERMOFOSFATOS , BIOSOLUBILIZACION PARA ENSAYOS AGRICOLAS (400 mg de P/kg de suelo)		
T1		Control , sin Fertilización fosfórica
T2		Fertilización con DAP
T3	RFFH	RF de Fosfatos del Huila S.A
T4	RFFP	RF de FERTIPAEZ S.A
T5	TFFHS	Termofosfato de RFFH con Serpentina
T6	TFFPS	Termofosfato de RFFP con Serpentina
T7	TFFHSi	Termofosfato de RFFH con Arena Sílice
T8	TFFPSi	Termofosfato de RFFP con Arena Sílice
T9	RFFH40AS	RFFH acidulada al 40 % con AS
T10	RFFP40AS	RFFP acidulada al 40 % con AS
T11	RFFH40AF	RFFH acidulada al 40 % con AF
T12	RFFP40AF	RFFP acidulada al 40 % con AF
T13	RFFH100AF	RFFH acidulada al 100 % con AF
T14	RFFP100AF	RFFP acidulada al 100 % con AF
T15	RFFH40ASMAP	RFFH acidulada al 40 % con AS + MAP
T16	RFFP40ASMAP	RFFP acidulada al 40 % con AS + MAP
T17	RFFH40AFZN	RFFH acidulada al 40 % con AF + ZN
T18	RFFP40AFZN	RFFP acidulada al 40 % con AF + ZN
T19	RFFHBSBU	RFFH Biosolubilizada con Burkodelia Cep.
T20	RFFPBSBU	RFFP Biosolubilizada con Burkodelia Cep.
T21	RFFHBSSE	RFFH Biosolubilizada con Pseudomona.
T22	RFFPBSSE	RFFP Biosolubilizada con Pseudomona.
T23	RFFHBSMI	RFFH Biosolubilizada con Micorrizas
T24	RFFPBSMI	RFFP Biosolubilizada con Micorrizas
T25	RFFHCA	RFFH Calcinada a 1000 °C
T26	RFFPCA	RFFP Calcinada a 1000 °C

4.0 DESARROLLO A ESCALA DE LABORATORIO DE LOS PROCESOS DE MODIFICACION DE LA RF SELECCIONADOS.

Las muestras a estudiar fueron las provenientes de los yacimientos Media Luna y La Juanita, las cuales son en la actualidad comercializadas por Fosfatos del Huila S.A y FERTIPAEZ S.A respectivamente. Cada muestras de RF fue inicialmente tamizada en la fracción - mesh 100 (- 0.15 mm) , a fin de asegurar homogeneidad en las mismas, en este importante parámetro de trabajo y favorecer con ello tanto los resultados de acidulación , como de eficiencia agronómica a obtener.

PROCESOS FISICOS (TERMOFOSFATOS Y PRUEBAS DE CALCINACION)

Los diferentes montajes de laboratorio se dividieron en dos grupos:

1. Los tratamientos T5, T6, T7, T8, T25 y T26 se realizaron para analizar el efecto sobre la solubilidad del fósforo al someter la RF a una temperatura de 1000 °C durante 60 minutos, para esto se utilizó una mufla de laboratorio de alta temperatura modelo 1200-220 marca BTPH, con una temperatura máxima de 1200 °C, y un sistema de control comandado por pirometro marca MaxThermo.

- En los tratamientos T5 y T6, se utilizo una mezcla de RF y serpentinita (fundente), en una proporción tal que el contenido final de MgO estuviera alrededor del 12% (Nielsson F), en nuestro caso se utilizo 67% de RF y 33% de serpentinita.
- En los tratamientos T7 y T8 se siguió la relación estequiometrica para la RF, carbonato de sodio (fundente) y dióxido de silicio (fundente), según la siguiente ecuación:



- Finalmente para los tratamientos T25 y T26 se trabajo la RF sin adicionar ningún tipo de fundente.

En todos los tratamientos una vez agotado el período de exposición a la temperatura indicada, las muestras fueron sometidas a un "shock térmico", mediante contacto con agua destilada en una proporción muestra: agua de 1: 5, posteriormente la muestra se secó en una estufa a 105 grados celsius y se le determinaron los parámetros indicados (P total, P asimilable). El objetivo de este shock térmico, fue eliminar los cationes calcio que pudieron quedar libre como resultado de la modificación de la estructura cristalina de las RF a la temperatura de trabajo, debido a la liberación de Flúor y material volátil (carbonatos, materia orgánica, etc), evitando así que este calcio libre pueda reaccionar reversiblemente con el P solubilizado en la roca fosfórica y se revierta desfavorablemente el proceso de solubilización térmica. El tamaño de muestra a estudiar será de 150 – 200 gr.

2. Los Tratamientos TC1, TC2, TC3 y TC4 se realizaron para analizar el efecto sobre el contenido de fluor y la solubilidad del fósforo al someter la RF a una temperatura de 1200 °C durante 60 minutos para esto se utilizo un horno de fundición de 240 KW, marca BTPH, con un sistema de control comandado por pirometro.

- En los tratamientos TC1 y TC2 se trabajo la RF sin adicionar ningún tipo de fundente.
- En los tratamientos TC3 y TC4 se siguió la relación estequiometrica para la RF, carbonato de sodio (fundente) y AF , según la siguiente ecuación:



Para todos los tratamientos una vez agotado el periodo de exposición a la temperatura indicada, las muestras fueron sometidas a un "shock térmico", mediante contacto con agua destilada en una proporción muestra : agua de 1:5, posterior al apagado, se somete a un ataque con AF para convertirla en un producto cercano al fosfato dicalcico o monocalcico de interés para la investigación, en este sentido las cantidades de AF que se añadieron fueron aproximadamente para el caso de la RF de Media Luna , 18 g de AF al 100 % / 100 gramos de RF y en el caso de la RF de Fertipaez 13 g de AF al 100 % / 100 g de RF. A continuación la muestra se secó en una estufa a 105 grados celsius y se le determinaron los parámetros indicados (P total, P asimilable, Fluor).

Los ensayos se realizaron en muflas de laboratorios y hornos metalúrgicos con capacidad térmica para variar el rango de temperatura en los valores fijados. En el caso de los tratamientos para solubilizar fósforo (T3 : T8 y T25 : T26), una vez agotado el periodo de exposición a la temperatura indicada, las muestras fueron sometidas a un " shock térmico " , mediante contacto con agua destilada en una proporción muestra : agua de 1: 5, posteriormente la muestra se secó en una estufa a 105 grados celsius y se le determinaron los parámetros indicados (P total , P asimilable y Fluór).

PROCESOS QUIMICOS

En este grupo de ensayos, se utilizó un tamaño de muestra de 400 – 1000 gr, cuya composición química inicial y final , fue evaluada por el Laboratorio " Dr. Calderón, Asistencia Técnica Agrícola ", Ltda, de Bogotá el cual cuenta con Registro ICA. Durante el proceso de acidulación, mediante adición de agua y agitación, se ajustaron las condiciones requeridas para obtener una buena granulación o formación del pellet.

Fig. 4.1



Los insumos tanto líquidos como sólidos se añadieron a un recipiente plástico de 10 L de capacidad (Ver Fig. 4.1), a fin de apreciar la plasticidad de la mezcla formada, la dureza del grano o pellet y el arribo a las condiciones finales de granulación de la mezcla. En paralelo a la adición de productos, se le fue aplicando al recipiente una rotación manual equivalente a la de un tambor rotatorio, para propiciar la formación del gránulo o pellet. En todos los casos el tiempo de adición, mezcla y granulación de los insumos, se ajustó a 6-10 minutos que es el tiempo aproximado de retención del producto formado en la unidad de granulación a escala industrial.

Fig. 4.2



El secado final del producto se realizó al aire libre y durante 24 horas (Ver Fig. 4.2), una vez seco se envió al Laboratorio. En el Anexo 3, se presenta, las cantidades de cada insumo que se utilizaron en la corrida experimental de cada tratamiento.

En los ensayos se pudo observar visualmente que ambas RF presentaron muy buenas condiciones para la granulación, diferenciándose ambos productos solamente por el color, siendo el producto final de la RF del yacimiento La Juanita de un color gris oscuro y la del yacimiento de Media Luna de color beige – carmelita. En todos los casos se

determinó la Índice de solubilización (P_2O_5 asim./ P_2O_5 total) x 100), para comparar un tratamiento con otro y poder así de esta forma establecer cual de los tratamientos, permitía obtener mayor por ciento de solubilización de la RF.

PROCESOS BIOLÓGICOS

Las bacterias fosfolubilizadoras que se utilizaron (*Burkodelia Cepacea*, *Pseudomona* y *Micorrizas*), se aplicaron en cada caso directamente en el sustrato junto con la semilla, en una dosis de 1,5 cc/ semilla ó planta, esta dosis se considera suficiente para alcanzar las máximas potencialidades solubilizadoras en cada caso, es decir que se aplicó una dosis superior a la recomendada por el fabricante de cada producto en cada caso. Una vez aplicadas las bacterias se ajustó la humedad del sustrato a un valor de 60 – 80 % de humedad de saturación, para ello se aplicó un régimen de dos riegos diarios a razón de 3 L / 10 m², que aseguró en todo momento la humedad esperada en el sustrato. Las características de los microorganismos solubilizadores utilizadas fueron:

a) *Burkodelia Cepacea*

- Composición : *Burkodelia Cepacea*
- pH : 5.5 – 5.6
- Densidad: 1.02 gr/cc
- Concentración: 1×10^6 Unidades Formadoras de Colonia por centímetro cúbico.
- Productor : AGROBIOLOGICOS SAFER, La Ceja /Antioquia

b) *Micorriza*

- Composición: *Glomus sp.*, *Entrophospora sp.*, *Scutellospora sp* y *Acaulospora sp.*
- Concentración : 230 – 250 esporas por gramo de suelo
- Productor : AGROBIOLOGICOS SAFER, La Ceja /Antioquia

c) *Pseudomona*

- Composición : *Pseudomonas fluorescens*
- Concentración : 18×10^8 UFC / ml
- pH : 7.0
- Productor : FUNDASES, Bogotá, Cundinamarca

EVALUACION AGRONÓMICA

Para evaluar la respuesta agronómica de las muestras de RF, tratadas con las tecnologías objetos de estudio, se seleccionaron los cultivos de maíz (*Zea Mays, L*) y Fríjol (*Phaseolus Vulgaris L*), empleándose semillas certificadas. Los ensayos agrícolas (Ver Fig. 4.1 y 4.2) se desarrollaron en condiciones de invernadero, para ambos cultivos, en la Finca Amanecer de Engativa/Cundinamarca, (2400 m.s.n.m, 18-24 °C) para lo anterior y teniendo en cuenta el tiempo relativamente corto en que se llevarían a cabo las evaluaciones agrícolas, los ensayos quedaron montados en bandejas plásticas de propileno de 400 cc / celda, lo cual asegura un volumen de sustrato adecuado, para el período de tiempo a evaluar.

Fig. 4.1 Ensayos de Fríjol (*Phaseolus Vulgaris*) 22 d. d. s bajo invernadero



Fig. 4.2 Ensayos de Maíz (*Zea Mays L.*)



Para favorecer el desarrollo foliar y radicular en el período de 0-25 días, durante los 5 primeros días cada bandeja fue sometida a un régimen de pregerminación sin luz, simulando una cámara de germinación de plántulas, mediante colocación de capas finas de poli sombra encima de las bandejas, observándose a los 5 - 6 días, el inicio de la germinación. Todos los ensayos fueron ajustados para asegurar una dosis uniforme fósforo (P) equivalente a 400 mg de P / kg de suelo, para ello se ajustaron las dosis de fertilizantes fosfóricos correspondiente a cada tratamiento y sustrato, como se muestra en el Anexo No. 4. A partir de la emergencia de las hojas en las plantas, se aplicó dos veces al día una solución de fertirriego, conteniendo 50 ppm de N y 50 ppm de K₂O.

El suelo utilizado como sustrato, fue primeramente tamizado, utilizándose la fracción inferior a 2 mm, según Tamiz Malla No. 10, US Standard Series Sieve, siendo posteriormente enviado al Laboratorio " Dr. Calderón- Asistencia Agrícola Ltda" en Bogotá, obteniéndose los resultados analíticos que se muestra en la Tabla 4.2

Tabla 4.2 Resultados del Analisis del Sustrato

ANALISIS QUIMICO

pH	Ca (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)	M.O (%)	P (ppm)	N-NH ₄ (ppm)	N-NO ₃ (ppm)	S (ppm)
5.78	1184	191	325	23	15,10	6	8	10	58

Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	B (ppm)	C.O. (%)
138	11	0,1	4,4	0,08	8,76

ANÁLISIS FÍSICO

CE (ms/cm)	TEXTURA (%)			Densidad Aparente (gr/cm ³)
	Arena	Limo	Arcilla	
0,53	0	100	0	0.66

Como se observa, los parámetros del suelo resultaron adecuados para este tipo de evaluación de fuentes de fertilización fosfórica, al observarse un bajo contenido de P, un contenido elevado de materia orgánica y un pH moderadamente ácido.

5.0 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

En los Anexos 9, 10 y 11, se muestran los resultados de Laboratorio, obtenidos para los ensayos de modificación de las RF con las diferentes tecnologías a evaluar, así como los resultados de las mediciones realizadas a los ensayos agrícolas en los cultivos de maíz y frijol.

TERMOFOSFATOS

Los resultados obtenidos para las pruebas realizadas con esta tecnología, se muestran en la Tabla 5.1

Tabla 5.1 RESULTADOS DE LA MODIFICACION DE LAS ROCAS FOSFORICAS POR VIA TERMICA

Tratamiento	IDENTIFICACION	P ₂ O ₅ total			P ₂ O ₅ asim.			% SOLUB. (P ₂ O ₅ asim/ P ₂ O ₅ total)x100		
T3	RFFH	30,53	31,73	30,33	1,40	2,99	1,40	4,6	9,4	4,6
T4	RFFP	26,14	26,33	25,74	1,38	1,38	0,98	5,3	5,2	3,8
T5	TFFHS	20,84	20,65	20,46	4,11	3,92	3,54	19,7	19,0	17,3
T6	TFFPS	15,29	16,44	16,06	2,01	2,68	2,58	13,1	16,3	16,1
T7	TFFHSi	26,02	25,83	26,02	3,25	4,02	4,31	12,5	15,6	16,5
T8	TFFPSi	19,12	19,31	19,50	4,30	4,68	4,59	22,5	24,3	23,5

Un análisis estadístico comparativo de los valores promedios en cada tratamiento, permitió obtener los resultados que se muestran en la Tabla No. 5.2:

Tabla 5.2 Valores medios de solubilización de la fuente P en cada tratamiento

Tratamiento	Valor Medio P ₂ O ₅ CAN (% del P ₂ O ₅ total)
T4	4,76 d
T3	6,20 d
T7	14,86 c
T6	15,16 c
T5	18,66 b
T8	23,43 a

Letras iguales denotan que no hay diferencias significativas, según prueba Duncan, para p<0,05

De los resultados anteriores se concluye:

- El tratamiento de las RF por la vía térmica, aumentó el contenido de P total y P soluble en las RF de manera significativa, respecto a los valores originales de las RF naturales.
- El mejor resultado correspondió a la RF de FERTIPAEZ con el Tratamiento de Arena Silice.
- Al comparar los resultados para ambas RF, se obtiene $p > 0,05$, lo que indica que ambas RF presentaron un comportamiento promedio similar, en la solubilización del contenido de P en las mismas siendo de 10,2 %, descontando la fracción de P soluble original en la RF sin modificar, es decir que estadísticamente no existe diferencia significativa entre la solubilización mediante procesos térmicos para ambas RF.
- Los resultados obtenidos en los ensayos de termosolubilización guardan cierta relación con los obtenidos por Shirley (2003) donde al calcinar a temperaturas cercanas a 900°C por 5 horas, las RF de Riecito (P_2O_5 CAN =1,45 %) y Montefresco (P_2O_5 CAN =0,43 %) , ambas de Venezuela, logró aumentar el P_2O_5 soluble en CAN en un 12 % y 3 % respectivamente, lo cual está estrechamente ligado a la reactividad de ambas RF.

CALCINACION

Para comparar la efectividad del proceso de calcinación como vía para defluorinar la RF, se determinó en todos los casos la relación Flúor / Fósforo (F / P) , considerándose como aceptables los valores < 1.0 , presentándose en la Tabla 5.3 , los resultados alcanzados para ambas RF.

Tabla 5.3 Resultados de defluorinación de las Muestras de RF

Tratamiento	(F / P) x 100
TC4	0,87 c
TC2	0,89 c
TC3	1,68 cb
TC1	2,78 a

Letras iguales denotan que no hay diferencias significativas, según prueba Duncan, para $p < 0,05$

- Como se observa la RF del yacimiento La Juanita (FERTIPAEZ), presentó los mejores resultados en cuanto a la relación final F: P, encontrándose los resultados obtenidos, dentro del rango permisibles para la aplicación de la RF en alimentación animal.
- La adición de AF no tuvo mayor incidencia significativa en la defluorinación de la RFFP, sin embargo en la RFFH aunque se obtuvieron mejoras significativas en la reducción de los valores F/P, en todos los casos los valores finales estuvieron muy por encima del valor permisible, debiéndose continuar el estudio con esta RF para definir las condiciones de operación mas favorables.
- En el caso de la RF de Media Luna, deberán continuarse las evaluaciones para determinar las condiciones de operación que permitan obtener un fosfato que reúna las condiciones para alimentación animal , en base a la relación F : P.

ACIDULACION QUIMICA

Al utilizarse como indicador (% de P solubilizado/ % de P total) x 100 , en el producto final y evaluar estadísticamente los resultados obtenidos para los tratamientos estudiados , se obtienen los valores que se muestran en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4 Resultados de la eficiencia de acidulación (% P asimilable/% P total) x 100 obtenidas en los ensayos de acidulación de RF

Tratamiento	Eficiencia de acidulación (% P asimilable/% P total) x 100
T16	80,37 a
T15	78,76 ab
T13	77,60 b
T14	77,56 b
T17	56,40 c
T11	48,83 d
T9	48,26 d
T18	47,83 d
T12	45,00 e
T10	32,80 f

Letras iguales denotan que no hay diferencias significativas, según prueba Duncan, para $p < 0,05$

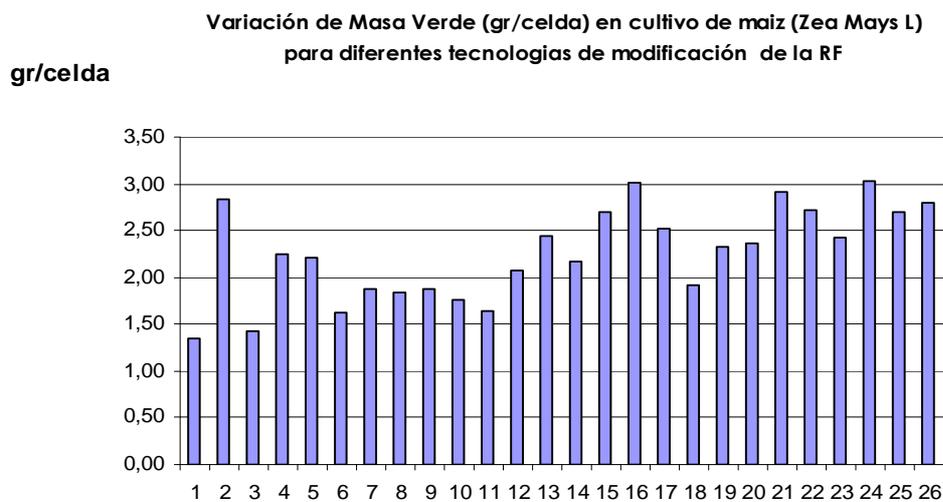
De los resultados anteriores se concluye que:

- Hubo diferencia significativa entre los diferentes métodos químicos utilizados, para solubilizar las fuentes naturales de P.
- Todos los valores de solubilización obtenidos mediante métodos químicos, superan los alcanzados con el método de termosolubilización.
- La secuencia de efectividad en la eficiencia de acidulación para ambas RF fue: RF acidulada con 40AS + MAP = RF acidulada al 100 % con AF > RF acidulada al 40 % con AF + ZN > RF acidulada al 40 % con AF > RF acidulada al 40 % con AS.
- Ambas RF exhibieron igual disposición o efectividad a la solubilización de su contenido de P, no existiendo diferencias significativas ($P > 0.05$)

RESULTADOS AGRONÓMICOS

Análisis de los valores de MV (gr/celda) en el cultivo de frijol (*Phaseolus Vulgaris L*)

Fig. 5.0



Al procesar los resultados presentados en el Anexo 10 y agruparlos por las tecnologías de modificación de RF evaluados, se obtiene los resultados que se muestran en las Fig. 5.0 y 5.1 y Tabla 5.2.

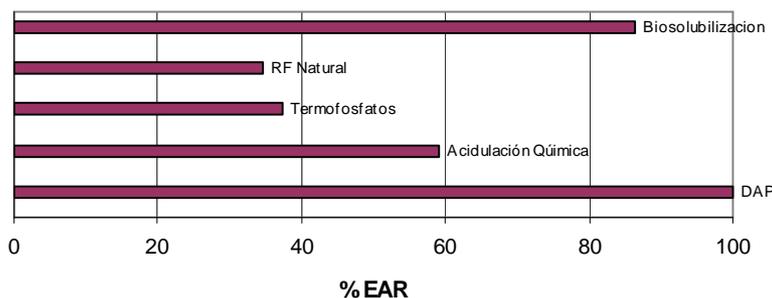
Tabla 5.2. Eficiencia agronómica en el cultivo de frijol (Phaseolus Vulgaris) Según tecnología de transformación de la fuente de RF

Tecnología	MV (gr / celda)	EAR,%
Sin fertilización P	1,31 d	0
Fosfato Diamónico	2,84 a	100
Roca Fosfórica Natural	1,84 c	35
Termofosfatos	1,88 c	37
Acidulación química	2,21 b	59
Biosolubilización	2,63 a	86

Letras iguales denotan que no hay diferencias significativas, según prueba Duncan, para $p < 0,05$

Fig. 5.1

Variación de la EAR según MV (gr/celda) en el Cultivo del Frijol para diferentes Tecnología de solubilización de la RF



En cuanto al variable diámetro del tallo (cm), en la Tabla 5.3 y Fig. 5.2 se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 5.3. Eficiencia agronómica en el cultivo de frijol (Phaseolus Vulgaris) Según diámetro de tallo y tecnología de transformación de la fuente de RF

Tecnología	Diámetro de Tallo (cm)	EAR,%
Sin fertilización P	0,36	
Fosfato Diamónico	0,48 a	100
RF Natural	0,40 c	31
Termofosfatos	0,41 c	42
Acidulación química	0,42 c	49
Biosolubilización	0,44 b	64

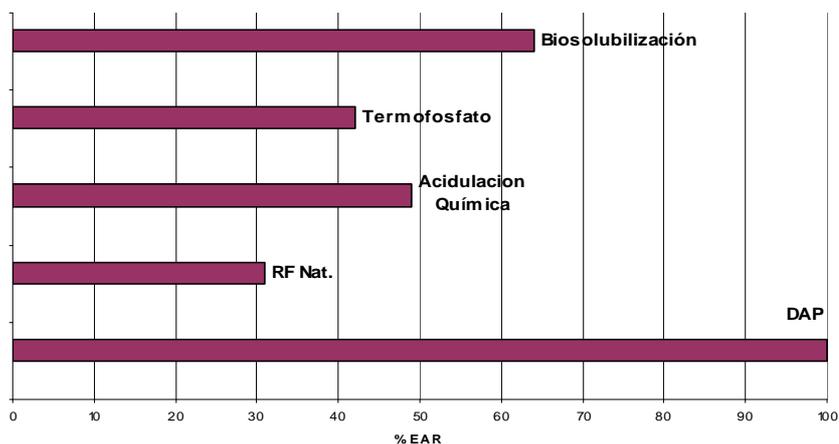
Letras iguales denotan que no hay diferencias significativas, según Prueba Duncan, para $p < 0,05$

Como se observa en los resultados de las Tablas 5.2 y 5.3 y las Fig. 5.0, 5.1 y 5.2, el orden de efectividad de las tecnologías de modificación de la RF evaluadas fue:

Biosolubilización > Modificación Química > Termofosfatos > RF

Se estima que los resultados favorables alcanzados en la biosolubilización, estuvo muy influido por el elevado contenido de materia orgánica (MO) del sustrato (15,10%), que potenció la acción de los microorganismos biosolubilizadores, no obstante se requiere verificar estos alentadores resultados, mediante nuevos ensayos de mayor escala y duración de tiempo, por cuanto el mismo se realizó, en solo 24 días del ciclo vegetativo del cultivo y se debe buscar un período de toma de P más representativo. La modificación de la RF mediante la producción de termofosfatos no presentó ventajas significativas, ni en el incremento de la solubilidad de la fuente de P, ni en la respuesta agronómica.

Fig. 5.2
Variación de la EAR en el cultivo de Frijol, para la variable diámetro de tallo (cm) y la tecnología de solubilización de la RF



Análisis de los valores de MS en el cultivo de maíz (Zea Mays L)

Siguiendo igual procedimiento que en el caso del frijón, los valores de EAR obtenidos en base a la producción de materia seca (mg/celda), se muestran en la Tabla 5.3 y la Fig. 5.2

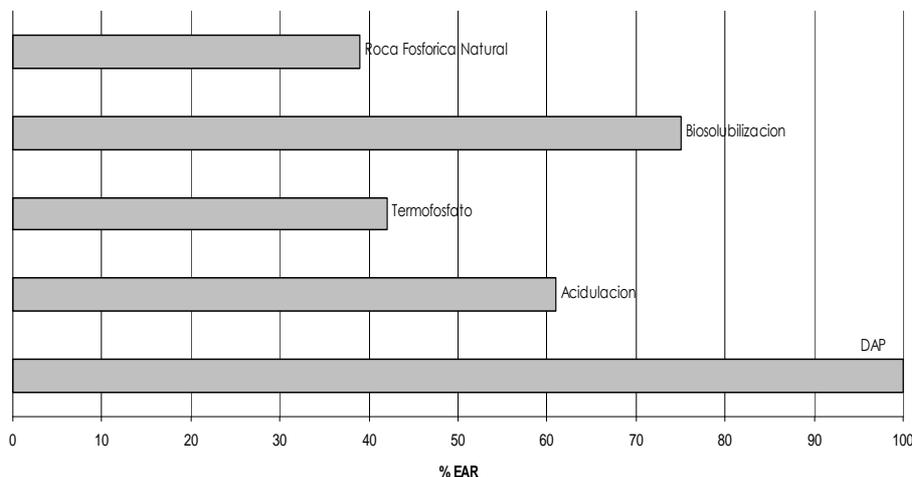
Tabla 5.3. Eficiencia Agronómica en el cultivo de maíz (Zea Mays L) según tecnología de modificación de la RF

Tecnología	MS (mg/celda)	EAR,%
Fosfato Diamónico	44.0 a	100
RF Natural	30,5 d	39
Termofosfatos	31,8 d	42
Acidulación Química	35,4 c	61
Biosolubilización	38,0 b	73

Letras iguales denotan que no hay diferencias significativas, según prueba Duncan, para p<0,05

Fig. 5.2

Variación de la EAR en MS, con los métodos de solubilización de P en cultivo de maíz bajo invernadero



Un análisis de la producción de MS (mg/celda) y MV (gr/celda) en los cultivos indicadores por los diferentes métodos de biosolubilización evaluados, permitió apreciar la capacidad superior de solubilización de la RF por parte de la pseudomona, como se muestra en la Tabla 5.4

Tabla 5.4
Producción de MS (mg/celda) y MV (mg/celda) en los cultivos de maíz Y frijol, bajo condiciones de invernadero, con diferentes microorganismos Biosolubilizadores

Medios Biosolubilizadores	Maiz MS (mg/celda)	Fríjol MV (gr/celda)
Burkodelia Cepacea	39,8	2,35
Micorizas	38,0	2,73
Pseudomonas	45,0	2,82

Como conclusiones generales de los resultados obtenidos en los ensayos agronómicos con los cultivos de maíz (*Zea Mays L*) y frijol (*Phaseolus Vulgaris*) bajo invernadero, se pueden mencionar:

- La modificación de la RF mediante la termosolubilización, no incrementó de forma significativa la respuesta agronómica de la RF en los cultivos evaluados.
- Las tecnologías de biosolubilización y acidulación química, se presentaron como las más atractivas para incrementar la EAR de las RF del Departamento.
- Dentro de los medios evaluados para la biosolubilización, la aplicación de pseudomona presentó los mejores resultados.
- Aunque ambas RF tuvieron, desde el punto de vista estadístico igual respuesta agronómica, la RF del yacimiento La Juanita, presentó tendencia a mayor reactividad que la RF del yacimiento de Media Luna, aunque ambas resultaron adecuadas en las diferentes tecnologías de modificación evaluadas.

- El tiempo de realización de los ensayos agrícolas, si bien fue corto (25 d.d.s) permitió establecer un orden en la efectividad de las diferentes tecnologías evaluadas, en una fase de crecimiento donde el nutriente P, cobra importancia para el desarrollo vegetativo del cultivo, no obstante se recomiendan no considerar estos resultados como concluyentes, y realizar durante el 2009, ensayos de campo de mayor envergadura y extensión, donde se puedan validar los resultados obtenidos, a través de una fertilización edáfica balanceada de los tres nutrientes principales (NPK)
- Los favorables resultados obtenidos en la biosolubilización y con el sustrato utilizado, demuestra la importancia de propiciar un adecuado contenido de MO en el suelo, para una efectiva acción solubilizadora de los microorganismos aplicados, como quedó expuesto en el Capítulo 1.
- La RF del Departamento del Huila, puede ser una importante fuente de P en la producción ecológica de algunos cultivos de importancia en Colombia, mediante la aplicación de pseudomonas, un adecuado contenido de MO en el suelo y un adecuado manejo integral del cultivo.

6.0 ANALISIS DEL MERCADO

El desarrollo de una industria del fósforo en el Departamento del Huila, a partir de sus importantes reservas físicas y adecuada calidad de las mismas, como fue evaluado en el Capítulo 1, conllevaría un análisis de mercado, donde se justifiquen mediante estudios de factibilidad, las cantidades y precios de los nuevos productos a comercializar, así como el nivel de inversión dentro de los indicadores financieros establecidos, que favorezca tal decisión, unido a una inteligencia de mercado donde se recomienden y demuestren las vías para la introducción de los nuevos productos en el mercado colombiano.

Con lo anterior se busca lograr la mayor competitividad posible, siendo importante caracterizar bien el escenario de mercado para cada uno de los productos a elaborar. Para las tres tecnologías objeto de estudio, se consideran tres escenarios de mercado diferentes por cuanto constituyen tres productos completamente diferentes, los cuales se describen a continuación:

ACIDULACION DE ROCA FOSFORICA

Si se parte de la base de los prometedores resultados que se han obtenidos internacionalmente en la aplicación de la RFPA y su comparación con fuentes fosfóricas de completa solubilización, como se mencionó en el Capítulo 1 y como también se comprobó en las pruebas agronómicas realizadas en este estudio, un escenario de mercado para la RF modificada por los métodos de acidulación, sería el existente en la actualidad para la comercialización de fertilizantes NPK, a partir de DAP y MAP, que es el mayoritario en Colombia con cerca de 825,000 / 850,000 tm de NPK/año, la idea sería diseñar un producto fosfórico granular, que posteriormente se mezclaría físicamente con los restantes portadores simples granulares de Nitrógeno y Potasio, para obtener así fertilizantes NPK equivalentes a los comercializados en la actualidad en el mercado colombiano.

TERMOFOSFATOS

Esta tecnología y su producción, no son muy conocidos y demandados en el mercado colombiano de fertilizantes, a excepción del CALFOS, que es el fosfato residual ó escoria, obtenido en la ACERIA DE PAZ DEL RIO, el cual presenta un contenido de un 10 % de P_2O_5 asimilable y su mayor uso es como acondicionador de suelos con acidez y déficit de fósforo y calcio, mas que

como fertilizante fosfórico, donde su elevado contenido de hierro (Fe_2O_3) y su posible incremento en el suelo, son factores limitante a tener en cuenta, durante su aplicación.

En los ensayos agronómicos realizados, se pudo también comprobar que el incremento de la EAR que se logra por esta vía respecto a la RF natural, no es muy significativo, y dado los elevados costos de energía que ello presupone, no debe ser una alternativa que permita su amplia comercialización e incremento de los niveles actuales de producción y comercialización de RF en el Departamento.

BIOSOLUBILIZADORES DE FOSFORO

Esta vía de solubilizar el fósforo, es muy efectiva, económica y prometedor, como se demostró en los ensayos agronómicos llevados a cabo en los cultivos de maíz y frijol, pero requiere como complemento o condición un Manejo Integrado del Cultivo a partir del uso de productos de origen natural ó biológicos, tanto en la fertilización como en el Manejo Integrado de Plagas y

Enfermedades (MIPE), algo que no se realiza en la mayoría de los cultivos en Colombia, como fue expuesto en el Capítulo 1, por ello se considera que el mercado que puede ser de acceso para esta tecnología, sería equivalente al mercado que en la actualidad existe para la producción ecológica, según la Resolución No. 0187, del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Para el análisis de la información estadística, que permita identificar y cuantificar los diferentes mercados a proponer para cada tecnología de modificación de la RF, se consideró la base de datos existente en el Instituto

Colombiano Agropecuario (ICA), correspondiente al cierre de los años 2006-2007, recogida en los Boletín Estadístico de Comercialización de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos en Colombia, para estos años, así como también las Bases de Datos de PROEXPORT y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (AGRONET).

Colombia, dispone de un importante potencial de producción agrícola (Ver Tabla 6.1), dado por su extensión de área sembrada y la posición líder que ocupa internacionalmente en varios cultivos, donde se destacan el café, maíz, arroz, palma de aceite, caña de azúcar, papa y banano entre otros, sin embargo la producción y comercialización nacional de fertilizantes NPK, se lleva a cabo en la actualidad basado en la importación de la mayor parte de los insumos agrícolas que se consumen en el agro colombiano, al no disponerse de importantes fuentes de recursos naturales y los existentes RF, no están asociadas a un desarrollo industrial acorde a la demanda nacional.

Tabla 6.1

Resumen área sembrada cultivos transitorios y permanentes. Año 2006

Cultivos Transitorios	Area sembrada (ha)	Cultivos Permanentes	Area sembrada (ha)
Maíz total	429.667	Café	723.761
Arroz total	382.316	Plátano	397.176
Yuca	165.037	Palma de aceite	297.878
Papa total	144.083	Caña de azúcar	210.284
Hortalizas	108.932	Caña panelera	194.599
Frijol	82.561	Otros frutales	98.879
Algodón	53.166	Banano	44.623
Sorgo	42.128	Otros cítricos	30.078
Soya	27.300	Naranja	29.527
Cebada y trigo	21.655	Otros permanentes	110.565
Tabaco	10.680	Mango	13.569
Total	1.467.526		2.150.941

Fuente: Encuesta Nacional Agropecuaria 2006.
Corporación Colombia Internacional CCI-
Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

Por otro lado el mercado de los fertilizantes , tanto en producción como importación es liderado por Monómeros Colombo – Venezolanos S.A, una empresa extranjera de capital venezolano, perteneciente a PEQUIVEN S.A (**Petro Química Venezolana**) de Venezuela, por ello los mayores ingresos provenientes del mercado de fertilizantes en Colombia, son extraídos del país por esta empresa multinacional , constituyendo así una fuga de capital , siendo esto otra razón importante , para impulsar el desarrollo de una industria nacional sólida de fertilizantes , basado en la explotación y transformación industrial eficiente de las reservas minerales locales , siendo la RF uno de ellos, donde existen condiciones para llevar a cabo un proceso inversionista a gran escala.

El fósforo (P) como elemento básico de la nutrición de plantas y animales, está presente en forma mayoritaria en el mercado colombiano en los siguientes productos terminados:

o **Fertilizantes NPK**

Estos fertilizantes de diferentes grados N-P-K ($N - P_2O_5 - K_2O$) son elaborados por un grupo de Empresas nacionales en mayor medida, y son importados en cantidades no significativas, en menor medida. Para la elaboración de estos fertilizantes NPK o mezclas, el componente fósforo esencial que se emplea son el Fosfato Diamónico (DAP) y el Fosfato Monoamónico (MAP), ambos granulados, aunque también se procesan cantidades discretas de RF , tanto de producción nacional como de importación, para satisfacer otras necesidades del mercado agrícola colombiano.

o **Fuentes de Fósforo**

En este grupo, se incluyen las RF naturales , aciduladas o con algún otro elemento secundario o menor (ICA,2007), y el fosfato de calcio defluorinado , el cual se utiliza en la alimentación animal en forma de fosfato tricalcico, dicalcico y monocalcico, siendo MONOMEROS COLOMBO-VENEZOLANOS S.A y PQP S.A , los mayores productores nacionales de este renglón.

MERCADO NACIONAL DE LOS PRODUCTOS FOSFORICOS Y PROVEDORES ACTUALES

ACIDULACION DE LA ROCA FOSFORICA

El mercado nacional de fertilizantes NPK en el 2006 y el 2007, se comportó según la distribución que se muestra en la Tabla No. 6.2

Tabla No. 6.2 TOTAL DE FERTILIZANTES NPK COMERCIALIZADOS EN 2006-2007 (TM)

	2006	2007
TOTAL NPK	849,028	828,805

Fuente: ICA, Comercialización de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelo 2006/2007

La comercialización de los fertilizantes por Empresas, se muestran en la Tabla No. 6.3.

Tabla No. 6.3 COMERCIALIZACION DE FERTILIZANTES NPK POR EMPRESAS EN EL 2006-2007

No.	NOMBRE DE LA EMPRESA	% DEL TOTAL
1	ABONOS COLOMBIANOS S.A " ABOCOL "	26.95
2	AGRINTEL LTDA	1.42
3	COLINAGRO S.A	1.54
4	ECOFERTIL S.A	18.13
5	EMPRESA FOSFATOS DEL HUILA S.A	0.78
6	MONOMEROS COLOMBO VENEZOLANOS S.A	42.42
7	YARA COLOMBIA LTDA	5.80
	TOTAL NACIONAL	100.00

Fuente: ICA, Comercialización de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelo 2006/2007

Como se observa en la Tabla No. 6. 3, solo 3 empresas en Colombia, ABOCOL, ECOFERTIL S.A y MONOMEROS COLOMBO VENEZOLANO S.A dominan el mercado de fertilizantes NPK, alcanzando un 87,5 % del total de NPK comercializado nacionalmente en el período 2006-2007.

Las importaciones de Fertilizantes NPK en el 2006, tuvieron un comportamiento que se muestra en la Tabla No. 6.4.

Tabla No. 6.4 IMPORTACION DE FERTILIZANTES NPK POR EMPRESAS EN EL 2006

No.	NOMBRE DE LA EMPRESA	PRODUCTO TERMINADO (TM)	MATERIA PRIMA (TM)	TOTAL (TM)
1	@AGRO S.A		285.0	285.0
2	AGROCORP S.A	4.6		4.6
3	BAYER CROPS SCIENCE S.A	11.0		11.0
4	MAGRO S.A	8.0		8.0
5	MICROFERTISA W. F & CIA LTDA		328.0	328.0
6	YARA COLOMBIA LTDA	1979.02		1979.02
	TOTAL	2002.62	613.0	2615.62

Fuente: ICA, Comercialización de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelo 2006

Si se compara el nivel de importación de fertilizantes NPK mostrado en la Tabla No. 6.4 (2615 tm) y las cantidades NPK comercializadas en el 2006-2007 (Ver Tabla 6.2), se hace evidente que el consumo de fertilizantes NPK en Colombia, se desarrolla mayoritariamente, a través de la producción nacional de las mezclas físicas granulares, con un volumen estimado de 825-850 miles de tm anuales.

Así mismo, esta producción nacional de fertilizantes NPK, depende en su casi totalidad de la importación de portadores simples de Nitrógeno (Urea, DAP y Sulfato de Amonio), Fósforo (DAP, MAP y NK), Potasio (KCL, K₂SO₄ y Sulfato de Potasio - Magnesio) y Magnesio (Sulfato de Magnesio y Sulfato de Potasio - Magnesio), por tanto se puede concluir que la producción de fertilizantes en Colombia, es fuertemente dependiente del comercio exterior, siendo necesario ir revirtiendo

este escenario, hacia uno donde predomine el desarrollo de fuentes propias de fertilizantes de origen mayoritariamente nacional.

La producción de DAP y MAP nacional, es muy baja con niveles de 33 tm en el año, por tanto, para analizar el mercado del fósforo (P_2O_5) en la agricultura colombiana, se tomará como referencia, las importaciones de MAP y DAP, reportadas oficialmente.

Las importaciones de DAP y MAP en el 2006-2008 (PROEXPORT, 2008), se muestran en las Tablas No. 6.5 y 6.6, respectivamente donde se puede apreciar el volumen de importación anual, los principales actores y proveedores.

Tabla No. 6.5 IMPORTACION DE DAP EN 2006- 2008

No.	NOMBRE DE LA EMPRESA	2006		2007		2008 (SEP)	
		TM	%	TM	%	TM	%
1	ECOFERTIL S.A	3,500	2,45	3,200	1,01	0	0
2	MONOMEROS COLOMBO-VENEZOLANOS S.A	64,000	44,8	100,000	33,9	60,000	45,73
3	YARA COLOMBIA LTDA	3,700	2,59	2,400	0,81	3,300	2,52
4	ABONOS COLOMBIANOS S.A "ABOCOL"	23,200	16,24	20,000	6,78	40,000	30,49
TOTAL		142,896	100	295,121	100	131,200	100

Fuente: Base de Datos de PROEXPORT, 2008

Tabla No. 6.6 IMPORTACION DE MAP EN 2006- 2008

No.	NOMBRE DE LA EMPRESA	2006		2007		2008 (SEP)	
		TM	%	TM	%	TM	%
1	MONOMEROS COLOMBO-VENEZOLANOS S.A	21,208	19,64	130,000	56,86	80,000	40,02
2	ABONOS COLOMBIANOS S.A "ABOCOL"	23,200	21,48	65,000	28,42	57,000	28,51
3	ECOFERTIL S.A	23,000	21,29	12,500	5,47	60,000	30,01
TOTAL		108,010	100	228,708	100	199,907	100

Fuente: Base de Datos de PROEXPORT, 2008

Como se observa MONOMEROS COLOMBO VENEZOLANOS S.A, y ABOCOL S.A, precisamente las mayores empresas productoras de fertilizantes NPK, como se reflejó en la Tabla No. 6.1, son también las mayores importadoras de portadores de fósforo (MAP y DAP), con cerca de un 70 por ciento del total de las importaciones, por tanto la fertilización fosfórica en la agricultura colombiana, es muy dependiente de las importaciones y de las fluctuaciones de los precios en el mercado internacional, lo cual no asegura la adecuada sostenibilidad a los productores agrícolas.

Los principales países proveedores de DAP en Colombia, grado fertilizante son Estados Unidos (Florida-Tampa), Islas Vírgenes Británicas, Alemania y Venezuela. En el caso del MAP, Estados Unidos, Islas Vírgenes y Bélgica, son los principales proveedores.

Si se considera como base de cálculo, un volumen anual promedio de importación de DAP y MAP de 150,000 tm respectivamente, ello representa un mercado interno anual de 147,000 tm de P_2O_5 , lo cual es una referencia a tomar en cuenta, para comparar las posibilidades del Departamento del Huila, de iniciar un trabajo encaminado a satisfacer la demanda de la agricultura colombiana e impulsar el desarrollo minero en el Departamento. Lo anterior se realizaría a través de un mercado nacional de mezclas físicas granulares NPK, ascendente a 830-850 miles de toneladas métricas por año, según estadísticas de los años 2007 y 2008, mostradas con anterioridad.

Si se considera teóricamente, una posible planta de 150,000 tm/año de un fertilizante fosfórico 0-35-0 ($0 - P_2O_5 - 0$), ello equivaldría a producir 52,5000 tm de P_2O_5 / año, que representa el 35,7 % del mercado interno de P_2O_5 , por tanto se concluye que la conversión de las RF del Departamento en un fertilizante fosfórico granular tipo 0-35-0 y mezclado con otras fuentes de Nitrógeno y Fósforo, puede tener un importante mercado, de lograrse en las mezclas finales, precios competitivos, para el consumidor y eficiencias agrícolas relativas (EAR), similares o superiores a los fertilizantes NPK convencionales, lo cual debe ser comprobado mediante ensayos agrícolas de mayor envergadura.

Del análisis de la información contenida en las Tablas anteriores, se puede concluir que existe un mercado en Colombia para los fertilizantes NPK, de alrededor de 850,000 tm/año y un consumo de P_2O_5 a través del DAP y MAP, estimadas de 147,000 tm/año, lo cual daría un contenido promedio de 17,3 % P_2O_5 en los fertilizantes NPK comercializados, en la agricultura colombiana.

El mercado de fertilizantes y las importaciones de DAP y MAP, son en su mayoría lideradas por 2 Empresas que son MONOMEROS COLOMBO-VENEZOLANOS S.A y ABOCOL S.A, por este orden, el resto son productores menores que no tienen gran influencia en el mercado colombiano.

De estas dos Empresas, una es ciento por ciento de capital extranjero (Monómeros Colombo Venezolana S.A) y la otra de capital nacional, ambas Empresas se encuentran ubicadas en la parte Norte de Colombia (Barranquilla y Cartagena), donde se facilita el acceso a puertos de las materias primas que importan en volúmenes considerables, para la elaboración de fertilizantes granulares NPK, ello le daría cierta ventaja logística a los fertilizantes producidos en el Departamento del Huila, para abastecer la parte central y sur del territorio colombiano.

En el caso del fosfato para alimentación animal (mono, di y tricalcico), MONOMEROS COLOMBO VENEZOLANOS S.A importó en 2006 (ICA,2007), 40,225 tm de fosfato de calcio por un valor FOB US de 2 283 053,00, para un costo unitario final estimado de 154 COP / kg, el cual lo utiliza para su producción de fosfato para alimentación animal, aunque no se ha podido verificar estas cifras en los años siguientes, ni las de otros productores como PQP S.A por entrevistas individuales realizadas se ha logrado fijar el mercado de estos productos nacionalmente en alrededor de 40,000 tm/año, el cual será el que se tomará como base, a los efectos de este estudio.

TERMOFOSFATOS

El mercado estimado para los TERMOFOSFATOS, sería equivalente al de las RF que se comercializan en la actualidad en la agricultura colombiana, donde se incluye la RPPA, que se comercializa como fuente de fósforo simple ó independiente.

Como se mencionó en el punto anterior, la principal fuente de fósforo que se comercializa con una tecnología similar en el mercado colombiana es el CALFOS, producido como escoria del proceso Thomas, por la Empresa Acería Paz del Río, S.A, en la Tabla 6.7 (ICA,2007) se presenta el mercado esperado para los productos elaborados con esta tecnología y los principales productores

Tabla No. 6.7 COMERCIALIZACION DE ROCAS FOSFORICAS Y SUS DERIVADOS EN EL 2006 (TM)

FUENTES DE FOSFORO	2006	2007
P + Ca	37,756	-
FOSFORITAS	10,928	37,953
RFFA	4,505	11,374
TOTAL	52,542	49,327

Se observa que el mercado de productos derivados de la RF, está en el orden de 49,000 – 52,000 tm/año, para el período 2006 – 2007, constituyendo así una referencia a considerar para la posible producción de TERMOFOSFATOS.

BIOSOLUBILIZACION DEL FOSFORO

Esta tecnología, como se mencionó en el Capítulo 1, es aplicable a cultivos, donde se utiliza un Manejo Integrado del Cultivo, a base de productos naturales y/o biológicos, por ello se decidió caracterizar el área dedicada en Colombia a la producción ecológica, la cual fue de 45,386 Ha (MADR,2008), la misma se divide en 36,992 Ha certificadas y 8,394 Ha en proceso de conversión.

Estos productores basan principalmente el balance nutricional de sus cultivos a partir de materia orgánica compostada de fuentes vegetales o animal como la gallinaza, porquinaza y compost, entre otros, por tanto el considerar una fuente alternativa de fósforo para sus cultivos, sería una opción complementaria a la ya disponible por ellos, debido a esto se estimó un consumo de 500 kg de RF/ha, lo cual equivale aproximadamente a 150 kg de P_2O_5 / Ha, una dosis apropiada para este sistema de producción. Para un contenido de P_2O_5 de 28 % en la RF promedio del Departamento, lo anterior significaría un consumo de 24,314 tm de RF por aplicación, y un estimado de 48,628 tm/año, en el caso de que se consideraran dos aplicaciones ó fertilizaciones anuales con RF. Dado que en muchos de los casos, esta producción orgánica corresponden a hortalizas que son cultivos de ciclo corto, se podría estimar en 48,628 tm de RF el mercado existente, para la comercialización de la RF Biosolubilizada, una cifra superior a la que se comercializa la RF anualmente producida por la totalidad de los productores de RF en el Departamento del Huila.

MERCADO NACIONAL PARA LOS POSIBLES NUEVOS PRODUCTOS FOSFATADOS

Como se mencionó en el Capítulo 1, el Departamento del Huila, con una reserva estimada de 138 millones de tm de roca fosfórica, y un contenido promedio de 15-31 % de P_2O_5 , posee un

importante potencial minero , para desarrollar la industrialización de sus reservas de RF, con lo cual se estarían creando las condiciones para ir sustituyendo progresivamente las importaciones de fuentes de fósforo que se hacen en la actualidad , por productos de producción nacional .

Lo anterior , además de buscar una mejor balanza en el manejo y control de los recursos financieros del país , al reducirse la fuga de capitales hacia otros países, le daría una mayor solidez , estabilidad y sostenibilidad a la agricultura nacional, antes futuros conflictos políticos , devaluación de monedas , dificultades presentadas en otras naciones vecinas o proveedoras de insumos agrícolas al país, o un aumento inesperado en los precios internacionales de los insumos agrícolas, como se apreció a lo largo del año 2008 .

En el Capítulo 2. se evaluaron las ventajas de producir RFPA, sobre la producción de fosfatos de solubilidad total , atendiendo a su relativo menor costo de producción y su comparable Eficiencia Agronómica Relativa (EAR) , respecto a las fuentes tradicionales de fósforo (P) de solubilización total (superfosfato triple y fosfatos de amonio) .

También en este capítulo, se señaló la conveniencia de utilizar como medio de acidulación el AF , con lo cual se pueden obtener mayores concentración de P_2O_5 en el producto final , y se reducirían los costos de producción y transportación.

Se observó también en las tecnologías que se utilizan para la producción de RFPA , se pueden también utilizar para producir SFT, DAP y MAP , utilizándose un tambor granulador en ambos casos , después de las etapas de reacción química del AF con la RF y/ó amoniaco respectivamente.

Venezuela, cuenta en el complejo Morón (FAO,2007) con una planta de 150,000 tm /año de RFPA, con lo cual comercializan el fertilizante 0-28-0, denominado , FOSFOPODER que es una RFPA con una mezcla de AS y AF, a partir de las RF de los yacimientos de Riecito y Montefresco , que son de menor reactividad y contenido de P_2O_5 que las existentes en el Departamento del Huila.

Por todo lo antes señalado, es importante darle un valor agregado a las reservas de RF en el Departamento del Huila, con vista a buscar a mediano y largo plazo la competitividad, tanto de la industria de fertilizantes nacional , como de la agricultura colombiana, por ello los productos que se proponen elaborar , para la industrialización de la RF se dividirán en dos etapas, una a corto plazo y otro a mediano plazo , recomendándose en todos los casos , la producción de mezclas NPK granulares, que es el producto que contendrá la RFPA a producir , a partir de las reservas de RF del Departamento del Huila.

Por lo anterior, a corto plazo se recomienda, para cada uno de los métodos de solubilización de fósforo considerados, la producción de:

A- ACIDULACION DE LA RF

o RFPA con Acido Fosfórico

La producción de 150 ,000 tm de un fertilizante con 35 % de P_2O_5 , daría una capacidad de producción de 52,500 tm de P_2O_5 / año , y como se demostró en las Tablas No. 6.5 y 6.6 respectivamente , el mercado colombiano presenta un nivel de consumo de P_2O_5 próximo a las 131,100 tm/ año, lo cual representa el 40 % de la demanda del mercado colombiano, por lo tanto existe mercado para esta producción de lograrse precios de producción competitivos, la forma de comercializar esta producción sería a través de mezclas NPK donde se alcanzan niveles de comercialización de 830,000 – 850,000 tm /año en la agricultura colombiana.

o Mezclas NPK

Estas mezclas tendrían en una primera etapa, una relación de nutrientes similar a las utilizadas en la actualidad para los cultivos de importancia en Colombia, principalmente:

- a) 13-26-6 (Papa)
- b) 10-30-10 (Papa)
- c) 10-20-20 (Papa)
- d) 17-6-18-2 (Café)
- e) 15-15-15 (Arroz)

B TERMOFOSFATOS

Fosfato Defluorinado

El fosfato defluorinado que se comercializa en Colombia es producido por MONOMEROS, e importado también de EEUU y México, a un precio de 2000-2300 \$COP/kg, también Productos Químicos Panamericanos, S.A produce este tipo de producto. La instalación tecnológica a utilizar sería muy similar a la utilizada para producir la RFPA, para ello se considerará un mercado nacional de 40,000 tm/año.

Con la capacidad de producción de fosfato defluorinado y RFPA propuesta (50,000 y 150,000 tm/año respectivamente), se alcanzaría una capacidad de producción de 200,000 tm/año de productos fosfóricos, para lo cual se requerirá, la ejecución de inversiones en las diferentes minas del Departamento, a fin de lograr el suministro de RF en las cantidades y calidades demandadas.

En esta primera etapa, el AF se importaría, estando ello en función de las capacidades de producción de RFPA y fosfato dicalcico que se vayan logrando comercializar paulatinamente, para lo cual se recomienda disponer cerca la zona portuaria de una batería de tanques de almacenamiento de ácido fosfórico, que permita recibir barcos de no menos de 2500 tm/ mes de capacidad, bombeándose desde esa zona por ductos, el AF hasta el área de consumo proyectada.

C BIOSOLUBILIZACION DEL FOSFORO

Microorganismos fosfosolubilizadores

La producción de microorganismos fosfosolubilizadores o la asociación comercial con algún productor de este género de microorganismos biológicos, puede ser una vía, para potenciar la RF del Departamento en el mercado de los productores ecológicos, bien mediante inoculación de los microorganismos en el suelo o mediante la fosfocompostación, lo cual debe ser estudiado a mayor detalle y representatividad en los próximos períodos.

7.0 ANALISIS DE PREFACTIBILIDAD ECONOMICA DE LAS TECNOLOGIAS EVALUADAS

ANALISIS D.O.F.A DE LAS TECNOLOGÍAS SELECCIONADAS

PROCESO QUÍMICO.

Matriz D.O.F.A General.

En la matriz que se muestra a continuación se identifican los cuatro aspectos fundamentales de la matriz D.O.F.A como son las debilidades, oportunidades, fortalezas, y amenazas de la tecnología química.

Cada ítem va numerado para analizar posteriormente todos los factores, teniendo como base de justificación todos los datos e información recopilada en este trabajo, y los que son conocidos en general por el gremio minero de la RF.

<p style="text-align: center;">FORTALEZAS INTERNAS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Los productos obtenidos pueden brindar una eficiencia agrícola equivalente a los importados. 2. Los fertilizantes obtenidos a partir de la mezcla del 0-35-0 y otros insumos son importantes para la agricultura 3. En los procesos de acidulación se alcanzan altos porcentajes de solubilización del fósforo total. 4. Se puede solubilizar grandes cantidades de RF en corto tiempo. 5. La tecnología de acidulación es de conocimiento nacional. 6. Utilidad Neta mayor a las otras dos tecnologías. 7. Los equipos que se utilizaron para el diseño de planta aseguran emisiones ambientales en gases y líquidos debajo los límites permisibles. 	<p style="text-align: center;">DEBILIDADES INTERNAS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La inversión económica de esta tecnología es alta con respecto a las otras dos tecnologías. 2. Alta importación de materias primas para realizar este proceso. 3. El producto intermedio 0-35-0 debe ser complementado con fuentes de fósforo y potasio para el consumo agrícola. 4. El uso de ácidos en esta alternativa puede generar condiciones de operación de cierta peligrosidad.
<p style="text-align: center;">OPORTUNIDADES EXTERNAS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Adecuación de la RF para acidulación y producción de ácido fosfórico. 2. Aumento de empleo para el sector minero del Huila. 3. Aumento de la comercialización y producción de la RF. 4. Importantes reservas de RF en el Huila. 5. Tener a nivel nacional menos precios en fertilizantes, ya que el nutriente más caro en la agricultura es el fósforo. 6. Los fosfatos con solubilidad parcial reducen las perdidas en el suelo lo cual contribuye a reducir el impacto ambiental. 	<p style="text-align: center;">AMENAZAS EXTERNAS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Producción de RF en Venezuela y Perú a bajo costo. 2. Su factibilidad económica estaría dependiendo de los precios de otros insumos en el mercado internacional. 3. Reducción del precio internacional de los fosfatos solubles.

Ampliación de la Matriz D.O.F.A

A continuación se ampliará cada factor que afecta las Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas enunciadas anteriormente como base de una ponderación que se realizará posteriormente.

Así mismo se especifica el aspecto a tener en cuenta con relación a las variables Técnicas, Económicas, Sociales, Ambientales y Financieras.

DEBILIDADES		
FACTOR	AMPLIACIÓN	ASPECTO
1. La inversión económica de esta tecnología es alta con respecto a las otras dos tecnologías.	Con la técnica química, se necesita un capital de inversión de 371.948.310.480 como se especifica en el capítulo de factibilidad económico.	ECONÓMICO
2. Alta importación de materias primas para realizar este proceso.	En la actualidad Colombia tiene muy baja disponibilidad de AF y AS. Por lo anterior se tienen limitantes para ser autosuficientes con relación a estas materias primas, y se tendrá que pensar en la importación de otros países como Alemania, Australia, Bélgica, Canadá, Japón, China, Estados Unidos, España, o Francia que son productores.	ECONOMICO
3. El producto intermedio 0-35-0 debe ser complementado con fuentes de fósforo y potasio para el consumo agrícola.	Para mayor competitividad, se requiere comercializar fertilizantes NPK similares a los actuales, por tanto a la fuente local de P, se requiere agregarle las de N y K.	TECNICO
4. El uso de ácidos en esta alternativa puede generar condiciones de operación de cierta peligrosidad.	Su uso puede generar afectaciones a la parte ambiental por la agresividad del ácido y la seguridad industrial porque es un producto con peligro químico.	AMBIENTAL

OPORTUNIDADES		
FACTOR	AMPLIACIÓN	ASPECTO
1. Adecuación del mineral fosfático para acidulación y producción de AF.	Las reservas de RF del Huila tienen un contenido de P_2O_5 , que varía entre 13% y 34%, en los yacimientos del departamento (Capítulo I, Tabla No.3), siendo de	TECNICO

	reactividad media alrededor del 3% de P ₂ O ₅ soluble en citrato de amonio, lo cual es apropiado para el uso agrícola.	
2. Aumento de empleo para el sector minero del Huila.	De acuerdo con la Secretaría de Agricultura y Minería del Huila, en el Departamento la producción minera esta distribuida de la siguiente manera en Tesalia e Íquira se desarrolla la explotación de RF y oro; en Palermo, Santa María, Teruel la minería se basa en la explotación de mármoles y gravilla y en Aipe se destaca la producción de arcillas y en una menor proporción carbón. Por lo anterior el proyecto contribuiría al objetivo de la región de reactivar la producción minera.	SOCIAL.
3. Aumento de la comercialización y producción de la RF.	La demanda actual de fósforo es superior a 130.000 Tm P ₂ O ₅ / año. Esta tecnológica es la que más se acerca a satisfacer la demanda nacional, por la cantidad de RF que puede procesar en un menor tiempo comparado con las otras tecnologías.	SOCIAL
4. Importantes reservas de RF en el Huila.	En el Departamento del Huila se encuentra una reserva de aproximadamente 138 millones de toneladas de RF, siendo una cantidad muy significativa para comenzar un proyecto de transformación de este producto. (Capítulo I, Tabla No.1.4)	SOCIAL
5. Poder alcanzar a nivel nacional un menor precio en los fertilizantes a producir, ya que el nutriente más caro en la agricultura es el fósforo.	Se reduce el precio de comercialización de los productos fosfóricos. En el estudio de factibilidad económica se puede observar que el precio del DAP en la actualidad es aproximadamente 6.304,35 (\$COP/Kg P ₂ O ₅), y con la tecnología propuesta se puede obtener 1.286,23 (\$COP/Kg P ₂ O ₅).	SOCIAL
6. Las RFPA reducen las pérdidas en el suelo de P lo cual contribuye a reducir el impacto ambiental.	La planta solo aprovecha una parte de los fosfatos de solubilidad total, la otra se pierde en el suelo, alcanzándose en ocasiones aprovechamiento de un 10-20 % del P aplicado, siendo	AMBIENTAL

	<p>las mayores pérdidas por fijación en el suelo a los cationes Al^{3+}, Fe^{3+} y Ca^{2+}, observándose también que otra parte se lixivia, pasando a contaminar las fuentes subterráneas de agua. Los productos de solubilidad parcial adquieren un patrón de solubilización controlada de nutrientes, lo cual favorece el mejor aprovechamiento del nutriente para el cultivo.</p>	
--	---	--

FORTALEZAS		
FACTOR	AMPLIACIÓN	ASPECTO
1. Los productos obtenidos pueden brindar una eficiencia agrícola equivalente a los importados.	La eficiencia agronómica relativa de estos productos puede ser superior el 75% respecto a las fuentes de importación que es el DAP y el MAP, lo cual indica que la producción nacional por acidulación puede ser competitiva con relación a las fuentes de importación.	ECONOMICO
2. Los fertilizantes obtenidos a partir de la mezcla del 0-35-0 y otros insumos de N, K y Mg son importantes para la agricultura	En el proceso químico se obtiene el fertilizante 0-35-0 que junto con otros insumos agrícolas permiten obtener fertilizantes NPK, equivalentes a los actuales como 13-26-6; 10-30-10; 10-20-20; 15-15-15; 17-6-18-2, etc.	TECNICO
3. En los procesos de acidulación se alcanzan altos porcentajes de solubilización del fósforo total.	Por este proceso se puede lograr la solubilización total de la fuente de fósforo natural, en caso que ello fuera necesario.	TECNICO
4. Se puede solubilizar grandes cantidades de RF en corto tiempo.	La reacción química entre los ácidos y la RF tiene un tiempo de 5 minutos aproximadamente, mientras el resto de las tecnologías puede conllevar un tiempo significativamente superior, que oscila entre semanas o meses.	TECNICO
5. La tecnología de acidulación es de conocimiento nacional.	En Colombia existen algunas empresas que ya utilizan el método de acidulación como,	SOCIAL

	Fosfatos de Boyacá, Productos Químicos Panamericanos S.A, Fosfatos de Boyacá y Multiquímica S.A.	
6. Utilidad neta mayor sobre las otras dos tecnologías.	La Factibilidad económica de la tecnología química se analizó teniendo en cuenta tres posibilidades, variando el precio de venta del fósforo. La utilidad neta presenta una variación de \$694.496 a \$225.496, siendo la más alta de las tres tecnologías si se analiza por tonelada. Además, con esta tecnología se puede abarcar un mercado superior que las otras dos, porque su capacidad es de 200.000 toneladas / año y las otras dos oscilan en capacidad de 30.000 a 50.000 toneladas / año.	FINANCIERA
7. Los equipos que se utilizaron para el diseño de planta aseguran emisiones ambientales en gases y líquidos debajo los límites permisibles.	En el tratamiento de los gases se contempla la utilización de lavadores venturi que aseguran más de un 99% de eficiencia de remoción.	AMBIENTAL.

AMENAZAS		
FACTOR	AMPLIACIÓN	ASPECTO
1. Producción de RF en Venezuela y Perú a bajo costo.	La RF de Perú es más económica y de mejor calidad que la de Colombia. La RF de Perú posee una reactividad entre 5% - 9% de P ₂ O ₅ solubles en citrato de amonio. Mientras que la del Huila varía entre 2,5% y 4%. (FAO, 2007).	ECONOMICO
2. La factibilidad económica estaría dependiendo de los precios de otros insumos en el mercado internacional.	La fluctuación que se ha observado en el transcurso del año 2008, ha sido significativa, y no se ha logrado obtener un análisis que realmente identifique el comportamiento económico a nivel mundial. Las mezclas que se deben realizar dependen de productos nacionales y de importación; al aumentar las materias primas importadas, pueden afectarse los precios internos de los fertilizantes NPK a	ECONOMICO

	producir.	
3. Reducción del precio internacional de los fosfatos solubles.	El precio actual de los productos fosfóricos de importación es cercano a los \$6000 / Kg de P ₂ O ₅ , pudiendo estar el producido de esta tecnología en \$1.652 / Kg de P ₂ O ₅ . Al reducirse el precio internacional se vería afectado las oportunidades nacionales, y la proyección estimada de utilidades se reduciría.	FINANCIERA

Estrategias tomadas de la matriz D.O.F.A (FO, FA, DO, DA).

A continuación se asignarán algunas estrategias de esta tecnología teniendo en cuenta siempre la matriz DOFA.

En las estrategias FO, se usan las fortalezas para aprovechar las oportunidades.

En las estrategias FA, se usan las fortalezas para evitar las amenazas.

En las estrategias DO, se vencen las debilidades aprovechando las oportunidades.

Y por último con las estrategias DA se pretende reducir a un mínimo las debilidades y las amenazas.

Estas estrategias son un enfoque inicial que se pueden ampliar en otra etapa del proyecto, en la medida que este tome otros enfoques de importancia en todas las variables.

ESTRATEGIAS FO	ESTRATEGIAS DO
La integración de los diferentes productores de RF de la región puede llevar a manejar mejores precios de materia prima y costo de producto más competitivos en el mercado, teniendo como ventaja la solubilización de grandes cantidades de roca fosfórica por este proceso (F4+F6 x O4+O5).	Manteniendo una capacidad de producción máxima dará como ventaja el aumento de la cantidad de producto a comercializar, y a la vez se tendrá un retorno de la inversión económica en menor tiempo. (D1xO3)
ESTRATEGIAS FA	ESTRATEGIAS DA
1. Siempre que se pueda escoger el mayor precio de venta del P ₂ O ₅ (\$4000 en el caso de estudio de factibilidad económica), se puede garantizar un retorno de la inversión en corto tiempo. De este modo el proyecto puede ser más competitivos con los precios de otros países en el momento que se tenga que disminuir el precio de venta o que la economía muestre reducción de precios de los fosfatos a nivel internacional (F6 x A2+A3)	1. Un estudio meticuloso de las importaciones de las materias primas que incluya precios, tiempos de entrega, manejo de inventarios, estabilidad del mercado, etc; puede generar mayor seguridad para realizar una negociación viable a futuro en la parte económica y financiera, logrando competir con otros países que manejan buenos precios de P ₂ O ₅ . (D2 x A1+A2)

Matriz de Ponderación.

Las tecnologías seleccionadas para ser evaluadas en sus cinco aspectos fundamentales (técnica, económica, Social, Ambiental y Financiera), tendrán inicialmente un porcentaje de importancia que será manejada como se explica a continuación, para hacer más comparativo el estudio manteniendo los mismos porcentajes en todas las tecnologías.

	IMPORTANCIA (EN PORCENTAJE)
ASPECTOS TÉCNICAS.	25%
ASPECTOS ECONÓMICOS.	25%
ASPECTOS SOCIALES.	10%
ASPECTOS AMBIENTALES.	15%
ASPECTOS FINANCIEROS.	25%
TOTAL	100%

Los porcentajes que se dan en el cuadro anterior son tomados teniendo en cuenta que este proyecto tiene como objetivo inicial buscar una adecuada tecnología (Aspecto Técnico 25%) que permita potenciar la comercialización de la RF teniendo en cuenta los importantes depósitos de RF del Huila, analizando la inversión más rentable (Aspectos Económicos), y la parte financiera en general (Aspectos financieros 25%). Las tecnologías que se analizan en el transcurso de este proyecto están diseñadas con bajos impactos ambientales (Aspectos Ambientales 15%), y todo lo que pueda generar mejoras a nivel social (Aspectos Sociales 10%), lo cual permite aumentar la posibilidad de una sostenibilidad del negocio en el Departamento y que dependerá básicamente de los aspectos técnicos, económicos y financieros.

❖ **Aspectos Técnicos.** Se tendrá en cuenta para la evaluación de los aspectos técnicos: Estructura, implicaciones energéticas, mecanismos de control, ubicación del desarrollo de la tecnología, como y donde obtener las materias primas, equipos y procesos a usar, aprovechamiento de la RF en cada tecnología, posible aumento o disminución de la producción y calidad del producto final.

❖ **Aspectos económicos.** Se tendrá en cuenta para la evaluación de los aspectos económicos: Inversión de cada tecnología, costos de producción, costos de importaciones, costos de los productos, costos fijos y variables, precio del producto, estimación de ventas en dinero y volumen.

❖ **Aspecto Social.** Se tendrá en cuenta para la evaluación de los aspectos sociales: Generación de empleo, desarrollo económico en el departamento, minería de la región, mercado.

❖ **Aspecto Ambiental.** Se tendrá en cuenta para la evaluación de los aspectos ambientales: Manejo de Recursos no renovables, Emisiones atmosféricas contaminantes, generación de residuos, sustancias perjudiciales.

❖ **Aspecto Financiero.** Se tendrá en cuenta para la evaluación de los aspectos financieros: ganancias, pérdidas, periodo de recuperación, Valor actual neto, Tasa interna de Retorno.

Metodología.

Se manejará una ponderación en cada matriz de evaluación (Interna y Externa), que corresponderá a la suma de todos los factores y debe corresponder a 1 (100%), manteniendo el porcentaje de

importancia que ya se indicó anteriormente para las variables económicas, sociales, financieras, ambientales y técnicas.

La casilla de clasificación tendrá la siguiente interpretación:

❖ **DEBILIDADES Y FORTALEZAS (FACTORES INTERNOS)**

CLASIFICACIÓN	
1	Debilidad Importante
2	Debilidad Menor
3	Fortaleza Menor
4	Fortaleza Importante

❖ **OPORTUNIDADES Y AMENAZAS (FACTORES EXTERNOS)**

CLASIFICACIÓN	
1	Amenaza Importante
2	Amenaza Menor
3	Oportunidad Menor
4	Oportunidad Importante

El resultado de cada factor se obtendrá multiplicando la ponderación por la clasificación.

La suma de todos los factores internos o externos darán el valor que nos indicará como se proyecta la tecnología globalmente.

Tabla 7.1 Matriz de Ponderación de Factores Internos del proceso Químico.

	FACTOR INTERNO	PONDERACIÓN	CLASIFICACIÓN	RESULTADO	
D E B I L I D A D E S	1. La inversión económica de esta tecnología es alta con respecto a las otras dos tecnologías.	0,15	1	0,15	(E)
	2. Alta importación de materias primas para realizar este proceso.	0,04	2	0,08	(E)
	3. El producto intermedio 0-35-0 debe ser complementado con fuentes de fósforo y potasio para el consumo agrícola.	0,04	1	0,04	(T)
	4. El uso de ácidos en esta alternativa puede generar condiciones de operación de cierta peligrosidad.	0,07	1	0,07	(A)

F O R T A L E Z A S	1. Los productos obtenidos pueden brindar una eficiencia agrícola equivalente a los importados.	0,06	4	0,24	(E)
	2. Los fertilizantes obtenidos a partir de la mezcla del 0-35-0 y otros insumos son importantes para la agricultura	0,05	4	0,20	(T)
	3. En los procesos de acidulación se alcanzan altos porcentajes de solubilización del fósforo total.	0,08	4	0,32	(T)
	4. Se puede solubilizar grandes cantidades de RF en corto tiempo.	0,08	4	0,32	(T)
	5. La tecnología de acidulación es de conocimiento nacional.	0,10	3	0,30	(S)
	6. Utilidad Neta mayor a las otras dos tecnologías.	0,25	4	1,00	(F)
	7. Los equipos que se utilizaron para el diseño de planta aseguran emisiones ambientales en gases y líquidos debajo los límites permisibles.	0,08	4	0,32	(A)
TOTAL		1		3,04	

PONDERACION GLOBAL DE LA MATRIZ INTERNA (DEBILIDADES + FORTALEZAS)	
VARIABLE	PORCENTAJE
(E) ECONOMICAS	25%
(T) TECNICAS	25%
(A) AMBIENTALES	15%
(S) SOCIALES	10%
(F) FINANCIERAS	25%

RESULTADO DE LA MATRIZ INTERNA DEL PROCESO QUIMICO		
DESCRIPCIÓN	RANGO	RESULTADO
Ambiente Interno hostil, no atractivo con graves debilidades internas.	1-1,99	
Ambiente interno medio en el que existe equilibrio entre las debilidades y las fortalezas	2-2,99	
Ambiente interno muy atractivo en el que existen abundantes fortalezas.	3,0-4,0	3.04

Tabla 7.2 Matriz de Ponderación de Factores Externos del proceso de Químico.

	FACTOR EXTERNO	PONDERACIÓN	CLASIFICACIÓN	RESULTADO	
O P O R T U N I D A D E S	1. Adecuación del mineral fosfático para acidulación y producción de ácido fosfórico.	0,250	4	1,000	(T)
	2. Aumento de empleo para el sector minero del Huila.	0,020	4	0,080	(S)
	3. Aumento de la comercialización y producción de la RF.	0,025	3	0,075	(S)
	4. Importantes reservas de RF en el Huila.	0,035	4	0,140	(S)
	5. Tener a nivel nacional menos precios en fertilizantes, ya que el nutriente más caro en la agricultura es el fósforo.	0,020	4	0,080	(S)
	6. Los fosfatos con solubilidad parcial reducen las perdidas en el suelo lo cual contribuye a reducir el impacto ambiental.	0,150	4	0,600	(A)
A M E N A Z A S	1. Producción de rocas fosfóricas en Venezuela y Perú a bajo costo.	0,100	2	0,200	(E)
	2. Su factibilidad económica estaría dependiendo de los precios de otros insumos en el mercado internacional.	0,150	2	0,300	(E)
	3. Reducción del precio internacional de los fosfatos solubles.	0,250	1	0,250	(F)
	TOTAL	1		2,725	

PONDERACION GLOBAL DE LA MATRIZ EXTERNA (OPORTUNIDADES + AMENAZAS)	
VARIABLE	PORCENTAJE
(E) ECONOMICAS	25%
(T) TECNICAS	25%
(A) AMBIENTALES	15%
(S) SOCIALES	10%
(F) FINANCIERAS	25%

RESULTADO DE LA MATRIZ EXTERNA DEL PROCESO QUIMICO		
DESCRIPCIÓN	RANGO	RESULTADO
Ambiente externo hostil, no atractivo con graves amenazas externas.	1-1,99	
Ambiente Externo medio en el que existe equilibrio entre las oportunidades y las amenazas.	2-2,99	2.725
Ambiente Externo muy atractivo en el que existen abundantes oportunidades.	3,0-4,0	

ANALISIS DE LA MATRIZ INTERNA Y EXTERNA PARA EL PROCESO QUÍMICO.

Los datos que nos brinda la matriz de ponderación interna y externa son las siguientes:

	RESULTADO
FACTORES INTERNOS (X) (DEBILIDADES Y FORTALEZAS)	3.040
FACTORES EXTERNOS (Y) (OPORTUNIDADES Y AMENAZAS)	2.725

FACTORES INTERNOS				
		Fuerte 3.0 – 4.0	Promedio 2.0 – 2.99	Débil 1.0 – 1.99
		4.0	3.0	2.0
FACTORES EXTERNOS	Alto 3.0 – 4.0	CRECER Y DESARROLLARSE (3.11;3.12)	CRECER Y DESARROLLARSE	RESISTIR
	Medio 2.0 – 2.99	CRECER Y DESARROLLARSE	RESISTIR	DESAPARECER O ELIMINAR
	Bajo 1.0 – 1.99	RESISTIR	DESAPARECER O ELIMINAR	DESAPARECER O ELIMINAR
		2.0		1.0

En la gráfica se observa que la tecnología química presenta una viabilidad global positiva ya que se encuentra en uno de los cuadrantes que tiene la opción "Crecer y Desarrollarse", lo cual indica que el proyecto presenta un equilibrio entre las factores internos y externos y entre los aspectos económicos, financieros, sociales, ambientales, y técnicos.

Los factores internos son fuertes, y los externos son medios, mostrando una estabilidad del proyecto que puede generar muchas expectativas de viabilidad en el momento de la puesta en marcha.

PROCESO TERMICO

Matriz D.O.F.A General.

En la matriz que se muestra a continuación se identifican los cuatro aspectos fundamentales de la matriz D.O.F.A como son las debilidades, oportunidades, fortalezas, y amenazas del proceso térmico.

Cada ítem va numerado para analizar posteriormente todos los factores, teniendo como base de justificación todos los datos e información recopilada en este trabajo, y los que son conocidos en general por el gremio minero de la RF.

<p style="text-align: center;">FORTALEZAS INTERNAS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La energía utilizada puede ser de procedencia nacional. 2. El capital de inversión de esta tecnología es menor que la alternativa química 3. Capacidad de producción adaptable al mercado 4. Baja complejidad tecnológica. 5. Los equipos que se utilizaron para el diseño de planta aseguran emisiones ambientales en gases y líquidos debajo los límites permisibles. 	<p style="text-align: center;">DEBILIDADES INTERNAS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Los niveles de sílice en la RF hacen prever posibles incrustaciones en el horno. 2. La inversión económica de esta tecnología es mayor que la Biológica 3. El costo de la energía es alto 4. El fósforo soluble en citrato de amonio es menor comparado con el proceso químico. 5. El contenido final del fósforo total no se incrementa muy significativamente. 6. Por este proceso se obtienen insumos que no son conocidos en su uso por los agricultores 7. La utilidad neta por tonelada es menor que la obtenida en la alternativa química 8. La Tasa interna de retorno es mayor que en la tecnología química y biológica.
<p style="text-align: center;">OPORTUNIDADES EXTERNAS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Su factibilidad económica no depende de insumos de importación. 2. Importantes reservas de RF en el Huila. 3. Los fosfatos con solubilidad parcial reducen las pérdidas en el suelo lo cual contribuye a reducir el impacto ambiental. 	<p style="text-align: center;">AMENAZAS EXTERNAS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Aumento del precio del combustible internacionalmente. 2. Producción de RF en Venezuela y Perú a menor precio. 3. Competencia con fosfatos más solubles. 4. Mayores gastos en fertilización por parte del agricultor 5. Reducción del precio internacional de los fosfatos solubles

Ampliación de la Matriz D.O.F.A

A continuación se ampliará cada factor que afecta las Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas enunciadas anteriormente como base de una ponderación que se realizará posteriormente. Así mismo se especifica el aspecto a tener en cuenta con relación a las variables Técnicas, Económicas, Sociales, Ambientales y Financieras.

DEBILIDADES		
FACTOR	AMPLIACIÓN	ASPECTO
1. Los niveles de sílice en la RF hacen prever posibles incrustaciones en el horno.	Los niveles SiO ₂ reportados para los diferentes yacimientos se encuentran entre el 11% y el 25%, generando mayor costo en mantenimiento.	ECONOMICO
2. La inversión económica de esta tecnología es mayor que la Biológica	Para realizar este proyecto utilizando el método químico se necesita un capital de inversión de \$367.757.610.000,0 como se especifica en el capítulo de factibilidad económica.	ECONOMICO
3. El costo de la energía es alto	Para el procesamiento de 50,000 toneladas al año se necesitan aproximadamente 30.000.000 de BTU/hr, siendo esta cifra elevada si se transforma a costos indirectos del proceso.	ECONOMICO
4. El fósforo soluble en citrato de amonio es menor comparado con el proceso químico.	Después de realizar los ensayos de laboratorio se obtienen solubilidades de P ₂ O ₅ en citrato de amonio a pH 7 entre 1-5%. En general en la bibliografía consultada se habla del 10% de solubilización con respecto a fósforo total.	TECNICO
5. El contenido final del fósforo total no se incrementa significativamente.	Según las características físico químicas de la RF del Departamento del Huila, y el uso de fundentes como carbonato de sodio, dióxido de silicio, serpentinita, entre otros, el contenido final de P ₂ O ₅ total según los análisis de laboratorio para la muestra de Fertipaez está entre el 16% - 22%, y para Fosfatos del Huila entre el 21% - 28%.	TECNICO
6. Con esta tecnología se obtienen insumos agrícolas que no son muy conocidos en su uso por los agricultores	Según el estudio de mercado a través de encuestas realizado por la Universidad Sur Colombia en el 2007, el 85% de los encuestados no conocen la RF calcinada.	SOCIAL

7. La utilidad neta por tonelada es menor que la obtenida en la alternativa química	Su utilidad neta oscila alrededor de \$157377 por tonelada, mientras que la química varía entre \$ 694496 y \$ 225496.	FINANCIERA
8. El período de recuperación de la inversión(PRI) inicial es mayor que en la tecnología química y biológica	El PRI de esta tecnología es de aproximadamente 14 años, en la alternativa química según el escenario varia entre 3 y 8 años, y en la biológica es de 12 años	FINANCIERA

OPORTUNIDADES		
FACTOR	AMPLIACIÓN	ASPECTO
1. Su factibilidad económica no depende de insumos de importación.	Los fundentes utilizados en la producción como la serpentinita, olivita, dióxido de silicio, entre otros, son minerales comercializados en el país.	ECONOMICO
2. Importantes reservas de RF en el Huila.	En el departamento del Huila se encuentra una reserva de aproximadamente 138 millones de toneladas de RF, siendo ello una cantidad muy significativa para comenzar un proyecto de transformación de este producto. (Capitulo I, Tabla No.1.4).	SOCIAL-MERCADEO
3. Los fosfatos con solubilidad parcial reducen las pérdidas en el suelo lo cual contribuye a reducir el impacto ambiental	La planta solo aprovecha una parte de los fosfatos de solubilidad total, la otra se fija en el suelo y otra parte se pierde por lixiviación. Los productos de solubilidad parcial adquieren un patrón de solubilización controlada de nutrientes, lo cual favorece el aprovechamiento óptimo del nutriente por el cultivo.	AMBIENTAL

FORTALEZAS		
FACTOR	AMPLIACIÓN	ASPECTO
1. La energía utilizada puede ser de procedencia nacional.	La Bolsa de Energía Colombiana es una de las más dinámicas y competitivas en Latinoamérica. Los recursos hídricos y el clima permiten manejar precios bajos y altos volúmenes de energía que	ECONOMICO

	le han servido para convertirse en un elemento importante en la región. Esto beneficia en lo económico los costos indirectos.	
2. El capital de inversión de esta tecnología es menor que la alternativa química	Para realizar este proyecto utilizando el método físico se necesita un capital de inversión de \$106,893,893,520.0 como se especifica en el capítulo de factibilidad económica.	ECONOMICO
3. Capacidad de producción adaptable al mercado	En el estudio de mercado se puede inferir que esta tecnología entraría a competir con la RF sin ningún tratamiento y el abono de Paz del Río. Cuyas ventas oscilan alrededor de las 50.000 Tm/año, esta tecnología es adaptable a esta producción.	TECNICO
4. Baja complejidad tecnológica.	Comparada con la alternativa química, requiere menos etapas de proceso para llegar al producto final.	TECNICO
5. Los equipos que se utilizaron para el diseño de planta aseguran emisiones ambientales en gases y líquidos debajo los límites permisibles	En el tratamiento de los gases y líquidos se contempla la utilización de sistema de lavado de gases de alta eficiencia y PTAR	AMBIENTAL

AMENAZAS		
FACTOR	AMPLIACIÓN	ASPECTO
1. Aumento del precio del combustible internacionalmente.	Al ser una tecnología dependiente de la energía en alrededor de 30.000.000 BTU/hr entre el horno de calcinación y el secador, la variación internacional del precio de este insumo podría afectar la viabilidad del proyecto	ECONOMICO
2. Producción de RF en Venezuela y Perú a bajo costo.	La RF de Perú es más barata y de mejor calidad que la de Colombia. La RF de Perú tiene una reactividad de 5% - 9% de P2O5 solubles en citrato de amonio. Mientras que la del Huila varía entre 2,5% y 4%. (FAO, 2007).	ECONOMICO
3. Competencia con fosfatos más solubles.	El P2O5 soluble en citrato de amonio entre el 1% al 5% de esta	TECNICO

	tecnología, es menor comparado con el DAP y el MAP cuyos contenidos de P ₂ O ₅ Soluble están por encima del 50%, y con la tecnología química que según análisis de laboratorio encontramos P ₂ O ₅ solubles entre el 10% al 32%.	
4. Mayores gastos en fertilización por parte del agricultor	Al ser una fuente de baja solubilidad, los requerimientos inmediatos de fósforo en la planta deben suplirse con aumentos en la dosis aplicada.	SOCIAL-MERCADEO
5. Reducción del precio internacional de los fosfatos solubles.	El precio actual de los productos fosfóricos de importación es cercano a \$6000 Kg de P ₂ O ₅ , pudiendo estar el producido en \$1582 Kg de P ₂ O ₅ . Al reducirse el precio internacional se vería afectado las oportunidades nacionales, y la proyección estimada de ganancias, se bajaría.	FINANCIERO

Estrategias tomadas de la matriz D.O.F.A (FO, FA, DO, DA).

A continuación se asignarán algunas estrategias de esta tecnología teniendo en cuenta siempre la matriz DOFA.

En las estrategias FO, se usan las fortalezas para aprovechar las oportunidades.

En las estrategias FA, se usan las fortalezas para evitar las amenazas.

En las estrategias DO, se vencen las debilidades aprovechando las oportunidades.

Y por último con las estrategias DA se pretende reducir a un mínimo las debilidades y las amenazas.

Estas estrategias son un enfoque inicial que se pueden ampliar en otra etapa del proyecto, en la medida que este tome otros enfoques de importancia en todas las variables.

ESTRATEGIAS FO	ESTRATEGIAS DO
1. Colombia es autosuficiente en la energía y en las materias primas que se necesitan para utilizar la tecnología térmica, siendo determinante una evaluación comparativa de estos dos puntos ya que será una ventaja comparada con otros competidores directos. (F1 x O1)	1. La capacitación de los agricultores es una buena opción para que el agro crezca en conocimientos del uso de fertilizantes, de insumos, y de manejo ambiental (D6 x O3).
ESTRATEGIAS FA	ESTRATEGIAS DA
1. La disponibilidad de la energía en el	1. La opción de capacitación sigue

país evita un impacto drástico en el momento en que exista un aumento del precio de los combustibles a nivel internacional, porque otros países productores no serán autosuficientes y sus costos pueden aumentar aún más. Por lo anterior se debe manejar la oportunidad de mercado en casos de aumento de precios. $(F1 \times A1 + A2)$	siendo una opción buena para evitar algunas debilidades con relación al uso de los productos obtenidos, ayudando al agricultor a manejar adecuadamente los productos más económicos para bajar en algún modo los gastos de fertilización. $(D4 + D5 + D6 \times A4)$
--	--

Matriz de Ponderación.

Las tecnologías seleccionadas para ser evaluadas en sus cinco aspectos fundamentales (técnica, económica, social, ambiental y financiera), tendrán inicialmente un porcentaje de importancia que será manejada como se explica a continuación, para hacer más comparativo el estudio manteniendo los mismos porcentajes en todas las tecnologías.

	IMPORTANCIA (EN PORCENTAJE)
ASPECTOS TÉCNICAS.	25%
ASPECTOS ECONÓMICOS.	25%
ASPECTOS SOCIALES.	10%
ASPECTOS AMBIENTALES.	15%
ASPECTOS FINANCIEROS.	25%
TOTAL	100%

Los porcentajes que se dan en el cuadro anterior son tomados teniendo en cuenta que este proyecto tiene como objetivo principal seleccionar una tecnología (Aspecto técnico 25%) que pueda potenciar la comercialización de la RF desde una factibilidad económica, teniendo en cuenta los importantes depósitos de RF del Huila, analizando la inversión (Aspectos económicos), y la parte financiera en general (Aspectos financieros 25%). Las tecnologías que se analizan en el transcurso de este proyecto están diseñadas con bajos impactos ambientales (aspectos ambientales 15%), y todo lo que pueda generar mejoras a nivel social (aspectos sociales 10%), ayuda a aumentar la posibilidad de una sostenibilidad en el Departamento que depende directamente de los aspectos técnicos, económicos y financieros.

❖ **Aspectos Técnicos.** Se tendrá en cuenta para la evaluación de los aspectos técnicos: Estructura, implicaciones energéticas, mecanismos de control, ubicación del desarrollo de la tecnología, como y donde obtener las materias primas, equipos y procesos a usar, aprovechamiento de la roca fosfórica en cada tecnología, posible aumento o disminución de la producción y calidad del producto.

❖ **Aspectos económicos.** Se tendrá en cuenta para la evaluación de los aspectos económicos: Inversión de cada tecnología, costos de producción, costos de importaciones, costos de los productos, costos fijos y variables, precio del producto, estimación de ventas en dinero y volumen,

❖ **Aspecto Social.** Se tendrá en cuenta para la evaluación de los aspectos sociales: Generación de empleo, desarrollo económico en el departamento, minería de la región, mercado.

❖ **Aspecto Ambiental.** Se tendrá en cuenta para la evaluación de los aspectos ambientales: Manejo de Recursos no renovables, Emisiones atmosféricas contaminantes, generación de residuos, sustancias perjudiciales.

❖ **Aspecto Financiero.** Se tendrá en cuenta para la evaluación de los aspectos financieros: ganancias, pérdidas, periodo de recuperación, Valor actual neto, Tasa interna de Retorno.

Metodología.

Se manejará una ponderación en cada matriz de evaluación (interna y externa), que corresponderá a la suma de todos los factores y debe corresponder a 1 (100%), manteniendo el porcentaje de importancia que ya se indicó anteriormente para las variables económicas, sociales, financieras, ambientales y técnicas.

La casilla de clasificación tendrá la siguiente interpretación:

❖ DEBILIDADES Y FORTALEZAS (FACTORES INTERNOS)

CLASIFICACIÓN	
1	Debilidad Importante
2	Debilidad Menor
3	Fortaleza Menor
4	Fortaleza Importante

❖ OPORTUNIDADES Y AMENAZAS (FACTORES EXTERNOS)

CLASIFICACIÓN	
1	Amenaza Importante
2	Amenaza Menor
3	Oportunidad Menor
4	Oportunidad Importante

El resultado de cada factor se obtendrá multiplicando la ponderación por la clasificación.

La suma de todos los factores internos o externos darán el valor que nos indicará como se proyecta la tecnología globalmente.

Tabla 7.3 Matriz de Ponderación de Factores Internos del proceso térmico.

	FACTOR INTERNO	PONDERACIÓN	CLASIFICACIÓN	RESULTADO	
D E B I	1. Los niveles de sílice en la roca hacen prever posibles incrustaciones en el horno.	0,040	1	0,040	(E)
	2. La inversión económica de esta tecnología es mayor que la Biológica	0,060	1	0,060	(E)

L I D A D E S	3. El costo de la energía es alto	0,050	1	0,050	(E)	
	4. El fósforo soluble en citrato de amonio es menor comparado con el proceso químico.	0,070	1	0,070	(T)	
	5. El contenido final del fósforo total no se incrementa significativamente.	0,060	2	0,120	(T)	
	6. Por este proceso se obtienen insumos que no son conocidos en su uso por los agricultores	0,100	1	0,100	(S)	
	7. La utilidad neta por tonelada es menor que la obtenida en la alternativa química	0,125	1	0,125	(F)	
	8. La Tasa interna de retorno es mayor que en la tecnología química y biológica.	0,125	1	0,125	(F)	
	F O R T A L E Z A S	1. La energía utilizada puede ser de procedencia nacional.	0,070	3	0,210	(E)
		2. El capital de inversión de esta tecnología es menor que la alternativa química	0,030	4	0,120	(E)
3. Capacidad de producción adaptable al mercado		0,050	3	0,150	(T)	
4. Baja complejidad tecnológica.		0,070	4	0,280	(T)	
5. Los equipos que se utilizaron para el diseño de planta aseguran emisiones ambientales en gases y líquidos debajo los límites permisibles.		0,150	3	0,450	(A)	
TOTAL		1		1,900		

PONDERACION GLOBAL DE LA MATRIZ INTERNA (DEBILIDADES + FORTALEZAS)	
VARIABLE	PORCENTAJE
(E) ECONOMICAS	25%
(T) TECNICAS	25%
(A) AMBIENTALES	15%
(S) SOCIALES	10%
(F) FINANCIERAS	25%

RESULTADO DE LA MATRIZ INTERNA DEL PROCESO TERMICO		
DESCRIPCIÓN	RANGO	RESULTADO
<i>Ambiente Interno hostil, no atractivo con graves debilidades internas.</i>	1-1,99	1,90
Ambiente interno medio en el que existe equilibrio entre las debilidades y las fortalezas	2-2,99	
Ambiente interno muy atractivo en el que existen abundantes fortalezas.	3,0-4,0	

Tabla 7.4 Matriz de Ponderación de Factores Externos del proceso de Térmico.

	FACTOR EXTERNO	PONDERACIÓN	CLASIFICACIÓN	RESULTADO	
O P O R T U N I D A D E S	1. Su factibilidad económica no depende de insumos de importación.	0,08	3	0,24	(E)
	2. Importantes reservas de roca fosfórica en el Huila.	0,06	3	0,18	(S)
	3. Los fosfatos con solubilidad parcial reducen las perdidas en el suelo lo cual contribuye a reducir el impacto ambiental.	0,15	3	0,45	(A)
A M E N A Z A S	1. Aumento del precio del combustible internacionalmente.	0,07	1	0,07	(E)
	2. Producción de RF en Venezuela y Perú a menor precio.	0,10	2	0,20	(E)
	3. Competencia con fosfatos más solubles.	0,25	1	0,25	(T)
	4. Mayores gastos en fertilización por parte del agricultor	0,04	1	0,04	(S)
	5. Reducción del precio internacional de los fosfatos solubles	0,25	1	0,25	(F)
	TOTAL	1		1,68	

PONDERACION GLOBAL DE LA MATRIZ EXTERNA (OPORTUNIDADES + AMENAZAS)	
VARIABLE	PORCENTAJE
(E) ECONOMICAS	25%
(T) TECNICAS	25%
(A) AMBIENTALES	15%
(S) SOCIALES	10%
(F) FINANCIERAS	25%

RESULTADO DE LA MATRIZ EXTERNA DEL PROCESO TERMICO		
DESCRIPCIÓN	RANGO	RESULTADO
Ambiente Externo hostil, no atractivo con graves amenazas externas.	1-1,99	1.68
Ambiente Externo medio en el que existe equilibrio entre las Oportunidades y las amenazas.	2-2,99	
Ambiente Externo muy atractivo en el que existen abundantes oportunidades.	3,0-4,0	

ANALISIS DE LA MATRIZ INTERNA Y EXTERNA PARA EL PROCESO TERMICO.

Los datos que nos arroja la matriz de ponderación interna y externa son las siguientes:

	RESULTADO
FACTORES INTERNOS (X) (DEBILIDADES Y FORTALEZAS)	1.90
FACTORES EXTERNOS (Y) (OPORTUNIDADES Y AMENAZAS)	1.68

FACTORES INTERNOS					
		Fuerte 3.0 – 4.0	Promedio 2.0 – 2.99	Débil 1.0 – 1.99	
		4.0	3.0	2.0	1.0
F	Alto 3.0 – 4.0	CRECER DESARROLLARSE	CRECER DESARROLLARSE	RESISTIR	
A					
C					
T					
R					
		3.0			

E S E X T E R N O S	Medio 2.0 – 2.99		CRECER DESARROLLARSE	Y	RESISTIR	DESAPARECER ELIMINAR	○
	Bajo 1.0 – 1.99	2.0	RESISTIR		DESAPARECER ELIMINAR	DESAPARECER ELIMINAR	○ ●
		1.0					

En la gráfica se observa que la tecnología térmica no presenta viabilidad, ya que se encuentra en el cuadrante “Desaparece o Eliminar”, indicando que tiene muchos riesgos a nivel interno y externo.

PROCESO BIOLÓGICO

Matriz D.O.F.A General.

En la matriz que se muestra a continuación se identifican los cuatro aspectos fundamentales de la matriz D.O.F.A como son las debilidades, oportunidades, fortalezas, y amenazas de la tecnología Biológico.

Cada ítem va numerado para analizar posteriormente todos los factores, teniendo como base de justificación todos los datos e información recopilada en este trabajo, y los que son conocidos en general por el gremio minero de la RF.

<p style="text-align: center;">FORTALEZAS INTERNAS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El capital de inversión de esta tecnología es menor que la alternativa química. 2. Baja complejidad tecnológica. 3. Los microorganismos fosfato solubilizadores se reproducen fácilmente después de su incorporación en el suelo. 4. La Fertilización ecológica utiliza como fuente de fósforo la RF. 5. La Tasa interna de retorno es menor que en la tecnología física 6. Los equipos que se utilizaron para el diseño de planta aseguran emisiones ambientales en gases y líquidos debajo los límites permisibles. 	<p style="text-align: center;">DEBILIDADES INTERNAS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La eficiencia agrícola en sistemas de ciclo corto de producción es baja, alcanzándose a los 2-3 años la mejor eficiencia. 2. La solubilización final de fósforo es baja, comparada con la tecnología química 3. El contenido final del fósforo total no se incrementa significativamente. 4. Incompatibilidad entre la fertilización química y biológica. 5. Los tiempos entre aislamiento de los microorganismos y su uso son bajos y en la mayoría de los casos requieren de refrigeración. 6. Poca practica en el país sobre el manejo integrado del cultivo a base de productos biológicos o naturales. 7. Falta de conocimiento y capacitación
---	---

	para utilizar métodos de biosolubilización. 8. La Tasa interna de retorno es mayor que en la tecnología química
<p>OPORTUNIDADES EXTERNAS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Importantes reservas de RF en el Huila. 2. Mejores rendimientos, como consecuencia del control biológico que ejerce. 3. Debido a los mecanismos indirectos de la solubilización mejoran la absorción de nutrientes. 4. Avance tecnológico enfocado a ambientes limpios. 5. Ampliación en Investigaciones de agriculturas ecológicas. 	<p>AMENAZAS EXTERNAS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Disponibilidad de tecnologías que generan fósforo soluble en menor tiempo. 2. Restricción en su uso por temperatura, humedad, características físicas y químicas del suelo. 3. Restricción internacional de uso por riesgo biológico.

Ampliación de la Matriz D.O.F.A

A continuación se ampliará cada factor que afecta las Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas enunciadas anteriormente como base de una ponderación que se realizará posteriormente.

Así mismo se especifica el aspecto a tener en cuenta con relación a las variables Técnicas, Económicas, Sociales, Ambientales y Financieras.

DEBILIDADES		
FACTOR	AMPLIACIÓN	ASPECTO
1. La eficiencia agrícola en sistemas de ciclo corto de producción es baja, alcanzándose a los 2-3 años la mejor eficiencia.	Las bajas tasas de solubilización en el tiempo, no permite cubrir los requerimientos nutricionales de fósforo en cultivos intensivos, siendo necesaria la adición de fuentes solubles de fósforo.	ECONOMICO
2. La solubilización final de fósforo es baja, comparada con la tecnología química	En estudios de laboratorio (Dr. Calderón, 2007) se han obtenido porcentajes de solubilización cercanos a 6%, después de 2 meses de inoculación, utilizando compost y RF como sustrato, siendo este valor inferior a la tecnología química.	TECNICO
3. El contenido final del fósforo total no se incrementa significativamente.	Los microorganismos fosfo solubilizadores son aquellos que, mediante mineralización de materia orgánica o producción de ácidos orgánicos solubilizan las formas inorgánicas insolubles del fósforo, lo hacen disponible en su forma de ortofosfato, el cual es asimilable tanto por las plantas	TECNICO

	como por los microorganismos, por consiguiente el contenido de fósforo total no aumenta.	
4. Incompatibilidad entre la fertilización química y biológica.	Las tasas de crecimiento de algunos microorganismos son inhibidas por la acción de plaguicidas y sustancias químicas.	TECNICO
5. Los tiempos entre aislamiento de los microorganismos y su uso son bajos y en la mayoría de los casos requieren de refrigeración.	En la mayoría de los productos comerciales este tiempo oscila alrededor de los tres a seis meses, con refrigeración a 4 °C	TECNICA
6. Poca practica en el país sobre el manejo integrado del cultivo a base de productos biológicos o naturales.	Según el estudio de mercado a través de encuestas realizado por la Universidad Sur Colombia en el 2007, solo el 11.3 % de los encuestados destaca el uso de fertilizantes orgánicos como una buena practica agronómica	SOCIAL
7. Falta de conocimiento y capacitación para utilizar métodos de biosolubilización.	El bajo nivel de escolaridad del campesinado, sumado a la poca difusión de esta tecnología, hacen que esta alternativa no sea muy utilizada.	SOCIAL
8. La período de recuperación de la inversión (PRI)es mayor que en la tecnología química	El PRI de esta tecnología es de aproximadamente 12 años, en la alternativa química según el escenario varía entre 3 y 8 años, y en el físico es de 14 años.	FINANCIERA

OPORTUNIDADES		
FACTOR	AMPLIACIÓN	ASPECTO
1. Importantes reservas de RF en el Huila.	En el departamento del Huila se encuentra una reserva de aproximadamente 138 millones de toneladas de RF, siendo una cantidad muy representativa para comenzar un proyecto de transformación de este producto. (Capitulo I, Tabla No.1.4).	ECONOMICO
2. Mejores rendimientos, como consecuencia del control biológico que ejerce.	Se han encontrado numerosos grupos bacterianos que además de solubilizar el mineral, producen fitohormonas que inducen a un gran desarrollo radicular, aumentando la absorción de	ECONOMICO

	nutrientes lo cual se traduce a una disminución de la fertilización mejorando la economía del agricultor, ver capítulo dos.	
3. Debido a los mecanismos indirectos de la solubilización mejoran la absorción de nutrientes.	Algunos microorganismos fosfolubilizadores producen antibióticos y sideróforos, disminuyendo las pérdidas económicas por plagas en el cultivo, ver capítulo dos.	ECONOMICO
4. Avance tecnológico enfocado a ambientes limpios.	Las consecuencias notables de ambientes contaminados, prevén políticas estatales con miras a potenciar las tecnologías limpias y desestimular el uso de tecnologías contaminantes	AMBIENTAL
5. Ampliación en Investigaciones de agriculturas ecológicas.	Las nuevas investigaciones marcan una tendencia en enfocarse en aquellas tecnologías que generen menor impacto al ambiente.	SOCIAL

FORTALEZAS		
FACTOR	AMPLIACIÓN	ASPECTO
1. El capital de inversión de esta tecnología es menor que la alternativa química.	Para realizar este proyecto utilizando el método Biológico se necesita un capital de inversión de \$36775761000 como se especifica en el capítulo de factibilidad económica.	ECONOMICO
2. Baja complejidad tecnológica.	Comparada con la alternativa química, requiere menos etapas de proceso para llegar al producto final.	TECNICO
3. Los microorganismos fosfolubilizadores se reproducen fácilmente después de su incorporación en el suelo.	En la mayoría de los casos se habla de tasas de crecimiento exponencial en algunas horas.	TECNICO
4. La fertilización ecológica utiliza como fuente de fósforo la RF.	Del estudio de mercado se puede inferir que esta tecnología entraría a competir con los insumos utilizados en cultivos ecológicos. El área cultivable en producción ecológica en Colombia (Certificada + conversión) es de 45,386 Ha. Aunque en esta producción se le exige al	SOCIAL-MERCADEO

	<p>productor independizarse de los suministros externos y autoabastecerse mediante el compostaje, se pudiera considerar la roca fosfórica no solo como mejorador de suelos sino como nutriente. Estimando una dosis de 200 kg de RF /Ha, estaríamos hablando teóricamente de un mercado potencial de 9077 tm/año de RF.</p>	
<p>5. El Período de Recuperación de la Inversión (PRI) es menor que en la tecnología física</p>	<p>El PRI de esta tecnología es de aproximadamente 12 años, en la alternativa química según el escenario varía entre 3 y 8 años, y en el físico es de 14 años.</p>	<p>FINANCIERA</p>
<p>6. Los equipos que se utilizaron para el diseño de planta aseguran emisiones ambientales en gases y líquidos debajo los límites permisibles.</p>	<p>En el tratamiento de los gases y líquidos se contempla la utilización de torres de lavado y PTAR</p>	<p>AMBIENTAL</p>

AMENAZAS		
FACTOR	AMPLIACIÓN	ASPECTO
<p>1. Disponibilidad de tecnologías que generan fósforo soluble en menor tiempo.</p>	<p>El P2O5 soluble en citrato de amonio de aproximadamente 6% en dos meses, es menor comparado con el DAP y el MAP cuyos contenidos de P2O5 Soluble están por encima del 50%, y con la tecnología química que según análisis de laboratorio encontramos P2O5 solubles entre el 10% al 32%, disponibles inmediatamente.</p>	<p>TECNICO</p>
<p>2. Restricción en su uso por temperatura, humedad, características físicas y químicas del suelo.</p>	<p>La efectividad de esta tecnología esta estrechamente relacionada con variables ambientales y las características del suelo. Restringiendo su uso en algunas regiones del país.</p>	<p>TECNICO</p>
<p>3. Restricción internacional de uso por riesgo biológico.</p>	<p>Las posibles mutaciones de algunos microorganismos pueden generar peligros directos o indirectos al ser humano. Al igual que el uso de algunas especies patógenas para el hombre, afectando directamente la</p>	<p>FINANCIERA</p>

	viabilidad financiera del proyecto al tener la necesidad de utilizar otra cepa.	
--	---	--

Estrategias tomadas de la matriz D.O.F.A (FO, FA, DO, DA).

A continuación se asignarán algunas estrategias de esta tecnología teniendo en cuenta siempre la matriz DOFA.

En las estrategias FO, se usan las fortalezas para aprovechar las oportunidades.

En las estrategias FA, se usan las fortalezas para evitar las amenazas.

En las estrategias DO, se vencen las debilidades aprovechando las oportunidades.

Y por último con las estrategias DA se pretende reducir a un mínimo las debilidades y evitar las amenazas.

Estas estrategias son un enfoque inicial que se pueden ampliar en otra etapa del proyecto, en la medida que este tome otros enfoques de importancia en todas las variables.

<p style="text-align: center;">ESTRATEGIAS FO</p> <p>1. Debido a las altas de crecimiento y los diferentes mecanismos directos e indirectos de solubilización, se puede potenciar su uso a través de pruebas de campo. (F3 x O2 + O3)</p>	<p style="text-align: center;">ESTRATEGIAS DO</p> <p>1. La capacitación de los agricultores es una buena opción para que el agro crezca en conocimientos del uso de agricultura ecológica (D6+D7 x O4).</p>
<p style="text-align: center;">ESTRATEGIAS FA</p> <p>1. Realizando pruebas de eficacia en campo, se garantizaría las condiciones optimas de uso del producto maximizando su eficacia. (F4x A2)</p>	<p style="text-align: center;">ESTRATEGIAS DA</p> <p>1. La capacitación junto con pruebas de campo siguen siendo una buena opción para evitar algunas debilidades con relación al uso de los productos obtenidos, ayudando al agricultor a manejar adecuadamente los productos para bajar en algún modo los gastos de fertilización. (D4+D5+D6 +D7x A2)</p>

Matriz de Ponderación.

Las tecnologías seleccionadas para ser evaluadas en sus cinco aspectos fundamentales (técnica, económica, Social, Ambiental y Financiera), tendrán inicialmente un porcentaje de importancia que será manejada como se explica a continuación, para hacer más comparativo el estudio manteniendo los mismos porcentajes en todas las tecnologías.

	IMPORTANCIA (EN PORCENTAJE)
ASPECTOS TÉCNICAS.	25%

ASPECTOS ECONÓMICOS.	25%
ASPECTOS SOCIALES.	10%
ASPECTOS AMBIENTALES.	15%
ASPECTOS FINANCIEROS.	25%
TOTAL	100%

Los porcentajes que se dan en el cuadro anterior son tomados teniendo en cuenta que este proyecto tiene como objetivo inicial buscar una tecnología (Aspecto técnico 25%) que pueda obtener fósforo teniendo en cuenta los depósitos de Roca Fosfórica del Huila, analizando la inversión (Aspectos económicos), y la parte financiera en general (Aspectos financieros 25%). Las tecnologías que se analizan en el transcurso de este proyecto están diseñadas con bajos impactos ambientales (aspectos ambientales 15%), y todo lo que pueda generar mejoras a nivel social (aspectos sociales 10%), ayuda a aumentar la posibilidad de una sostenibilidad en el Departamento que depende directamente de los aspectos técnicos, económicos y financieros.

❖ **Aspectos Técnicos.** Se tendrá en cuenta para la evaluación de los aspectos técnicos: Estructura, implicaciones energéticas, mecanismos de control, ubicación del desarrollo de la tecnología, como y donde obtener las materias primas, equipos y procesos a usar, aprovechamiento de la roca fosfórica en cada tecnología, posible aumento o disminución de la producción y calidad del producto.

❖ **Aspectos económicos.** Se tendrá en cuenta para la evaluación de los aspectos económicos: Inversión de cada tecnología, costos de producción, costos de importaciones, costos de los productos, costos fijos y variables, precio del producto, estimación de ventas en dinero y volumen,

❖ **Aspecto Social.** Se tendrá en cuenta para la evaluación de los aspectos sociales: Generación de empleo, desarrollo económico en el departamento, minería de la región, mercado.

❖ **Aspecto Ambiental.** Se tendrá en cuenta para la evaluación de los aspectos ambientales: Manejo de Recursos no renovables, Emisiones atmosféricas contaminantes, generación de residuos, sustancias perjudiciales.

❖ **Aspecto Financiero.** Se tendrá en cuenta para la evaluación de los aspectos financieros: ganancias, pérdidas, periodo de recuperación, Valor actual neto, Tasa interna de Retorno.

Metodología.

Se manejará una ponderación en cada matriz de evaluación (Interna y Externa), que corresponderá a la suma de todos los factores y debe corresponder a 1 (100%), manteniendo el porcentaje de importancia que ya se indicó anteriormente para las variables económicas, sociales, financieras, ambientales y técnicas.

La casilla de clasificación tendrá la siguiente interpretación:

❖ DEBILIDADES Y FORTALEZAS (FACTORES INTERNOS)

CLASIFICACIÓN	
1	Debilidad Importante
2	Debilidad Menor
3	Fortaleza Menor
4	Fortaleza Importante

❖ OPORTUNIDADES Y AMENAZAS (FACTORES EXTERNOS)

CLASIFICACIÓN	
1	Amenaza Importante
2	Amenaza Menor
3	Oportunidad Menor
4	Oportunidad Importante

El resultado de cada factor se obtendrá multiplicando la ponderación por la clasificación.

La suma de todos los factores internos o externos darán el valor que nos indicará como se proyecta la tecnología globalmente.

Tabla 7.5 Matriz de Ponderación de Factores Internos del proceso Biológico.

	FACTOR INTERNO	PONDERACIÓN	CLASIFICACIÓN	RESULTADO	
D E B I L I D A D E S	1. La eficiencia agrícola en sistemas de ciclo corto de producción es baja, alcanzándose a los 2-3 años la mejor eficiencia.	0,100	2	0,200	(E)
	2. La solubilización final de fósforo es baja, comparada con la tecnología química	0,050	1	0,050	(T)
	3. El contenido final del fósforo total no se incrementa significativamente.	0,050	1	0,050	(T)
	4. Incompatibilidad entre la fertilización química y biológica.	0,030	1	0,030	(T)
	5. Los tiempos entre aislamiento de los microorganismos y su uso son bajos y en la mayoría de los casos requieren de refrigeración.	0,020	1	0,020	(T)
	6. Poca practica en el país sobre el manejo integrado del cultivo a base de productos biológicos o naturales.	0,040	2	0,080	(S)
	7. Falta de conocimiento y capacitación para utilizar métodos de biosolubilización.	0,040	1	0,040	(S)
	8. El PRI es mayor que en la tecnología química	0,125	1	0,125	(F)
F O	1. El capital de inversión de esta tecnología es menor que la alternativa química.	0,150	4	0,600	(E)

R T A L E Z A S	2. Baja complejidad tecnológica.	0,060	4	0,240	(T)
	3. Los microorganismos fosfato solubilizadores se reproducen fácilmente después de su incorporación en el suelo.	0,040	4	0,160	(T)
	4. La Fertilización ecológica utiliza como fuente de fósforo la RF.	0,020	4	0,080	(S)
	5. El PRI es mayor que en la tecnología física	0,125	4	0,500	(F)
	6. Los equipos que se utilizaron para el diseño de planta aseguran emisiones ambientales en gases y líquidos debajo los límites permisibles.	0,150	4	0,600	(A)
	TOTAL	1		2,775	
PONDERACION GLOBAL DE LA MATRIZ INTERNA (DEBILIDADES + FORTALEZAS)					
VARIABLE		PORCENTAJE			
(E) ECONOMICAS		25%			
(T) TECNICAS		25%			
(A) AMBIENTALES		15%			
(S) SOCIALES		10%			
(F) FINANCIERAS		25%			

RESULTADO DE LA MATRIZ INTERNA DEL PROCESO BIOLOGICO		
DESCRIPCIÓN	RANGO	RESULTADO
<i>Ambiente Interno hostil, no atractivo con graves debilidades internas.</i>	1-1,99	
<i>Ambiente interno medio en el que existe equilibrio entre las debilidades y las fortalezas</i>	2-2,99	2.775
Ambiente interno muy atractivo en el que existen abundantes fortalezas.	3,0-4,0	

Tabla 7.6 Matriz de Ponderación de Factores Externos del proceso de Biológico.

	FACTOR EXTERNO	PONDERACIÓN	CLASIFICACIÓN	RESULTADO	
O P O R T U	1. Importantes reservas de roca fosfórica en el Huila.	0,13	4	0,52	(E)
	2. Mejores rendimientos, como consecuencia del control biológico que ejerce.	0,06	3	0,18	(E)
	3. Debido a los mecanismos indirectos de la solubilización mejoran la absorción de	0,06	4	0,24	(E)

N I D A D E S	nutrientes.					
	4. Avance tecnológico enfocado a ambientes limpios.	0,15	3	0,45	(A)	
	5. Ampliación en Investigaciones de agriculturas ecológicas.	0,10	3	0,30	(S)	
	A M E N A Z A S	1. Disponibilidad de tecnologías que generan fósforo soluble en menor tiempo.	0,15	1	0,15	(T)
		2. Restricción en su uso por temperatura, humedad, características físicas y químicas del suelo.	0,10	2	0,20	(T)
3. Restricción internacional de uso por riesgo biológico.		0,25	1	0,25	(F)	
	TOTAL	1		2,29		

PONDERACION GLOBAL DE LA MATRIZ EXTERNA (OPORTUNIDADES + AMENAZAS)	
VARIABLE	PORCENTAJE
(E) ECONOMICAS	25%
(T) TECNICAS	25%
(A) AMBIENTALES	15%
(S) SOCIALES	10%
(F) FINANCIERAS	25%

RESULTADO DE LA MATRIZ EXTERNA DEL PROCESO BIOLÓGICO		
DESCRIPCIÓN	RANGO	RESULTADO
Ambiente Externo hostil, no atractivo con graves amenazas externas.	1-1,99	
Ambiente Externo medio en el que existe equilibrio entre las Oportunidades y las amenazas.	2-2,99	2.29
Ambiente Externo muy atractivo en el que existen abundantes oportunidades.	3,0-4,0	

ANALISIS DE LA MATRIZ INTERNA Y EXTERNA PARA EL PROCESO BIOLOGICO.

Los datos que nos arroja la matriz de ponderación interna y externa son las siguientes:

	RESULTADO
FACTORES INTERNOS (X) (DEBILIDADES Y FORTALEZAS)	2.775
FACTORES EXTERNOS (Y) (OPORTUNIDADES Y AMENAZAS)	2.290

FACTORES INTERNOS				
		Fuerte 3.0 – 4.0	Promedio 2.0 – 2.99	Débil 1.0 – 1.99
		4.0	3.0	2.0
FACTORES EXTERNOS	Alto 3.0 – 4.0	CRECER Y DESARROLLARSE (3.11;3.12)	CRECER Y DESARROLLARSE	RESISTIR
	Medio 2.0 – 2.99	CRECER Y DESARROLLARSE	RESISTIR 	DESAPARECER O ELIMINAR
	Bajo 1.0 – 1.99	RESISTIR	DESAPARECER O ELIMINAR	DESAPARECER O ELIMINAR
		3.0	2.0	1.0

En la gráfica se observa que la tecnología biológica presenta una viabilidad poco opcional, pero es más factible que la tecnología térmica, ya que se encuentra en el cuadrante "Resistir", indicando que los factores internos están equilibrados pero los externos hacen que el proyecto pueda presentar riesgos altos.

RESULTADO DE LOS FACTORES	
RESULTADO DE LA MATRIZ INTERNA (DEBILIDADES-FORTALEZAS)	2.390
RESULTADO DE LA MATRIZ EXTRENA (OPORTUNIDADES-AMENAZAS)	2.600

FACTORES INTERNOS				
		Fuerte 3.0 – 4.0	Promedio 2.0 – 2.99	Débil 1.0 – 1.99
		4.0	3.0	2.0
FACTORES EXTERNOS	Alto 3.0 – 4.0	CRECER Y DESARROLLARSE	CRECER Y DESARROLLARSE	RESISTIR
	Medio 2.0 – 2.99	CRECER Y DESARROLLARSE	RESISTIR 	DESAPARECER O ELIMINAR
	Bajo 1.0 – 1.99	RESISTIR	DESAPARECER O ELIMINAR	DESAPARECER O ELIMINAR
		3.0	2.0	1.0

El proceso biológico muestra una calificación que se encuentra en uno de los cuadrantes de resistir mostrando al igual que la tecnología térmica que no es el proceso más apto para implementar en el Departamento del Huila.

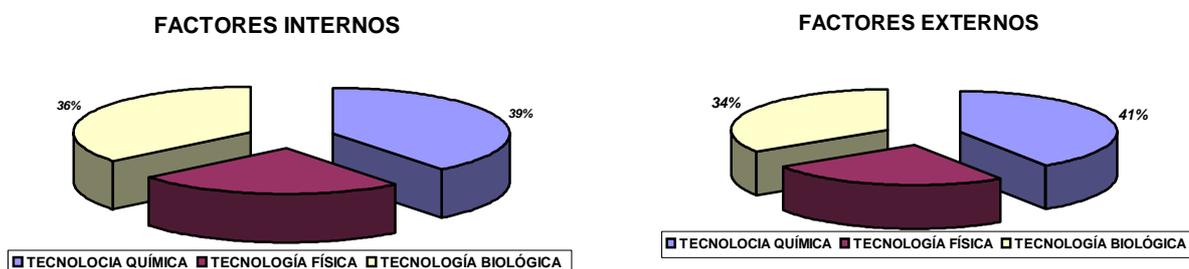
Esta técnica obtuvo mejor calificación que el térmico pero ambos se encuentran en el mismo cuadrante.

En la actualidad las condiciones internas y externas no ayudan a la realización satisfactoria de los procesos Biológico y térmico.

ANÁLISIS PORCENTUAL GLOBAL DE LOS TRES PROCESOS.

En las gráficas que se muestran a continuación se puede observar el porcentaje promedio de los factores internos y externos teniendo en cuenta los resultados analizados anteriormente.

	FACTORES INTERNOS		FACTORES EXTERNOS	
	D.O.F.A	PORCENTAJE	D.O.F.A	PORCENTAJE
TECNOLOGÍA QUÍMICA	3.040	39%	2.725	41%
TECNOLOGÍA FÍSICA	1.90	25%	1.68	25%
TECNOLOGÍA BIOLÓGICA	2.775	36%	2.290	34%
		100%		100%



Tomando los valores que arroja la matriz de ponderación, según en la matriz D.O.F.A, se observa que la viabilidad de las tres tecnologías analizándolas globalmente se presenta de la siguiente manera:

1. Tecnología Química (41% externo – 39% interno)
2. Tecnología Biológica (34% externo – 36% interno)
3. Tecnología térmica (25% externo – 25% interno).

Lo anterior determina que la tecnología química es la más viable desde el análisis de factores internos y externos, seguido de la biológica.

8.0 INTELIGENCIA DE MERCADO

PROCESOS DE ACIDULACION DE LA ROCA FOSFORICA

En la actualidad, la producción de RF del Departamento del Huila, se destina al consumo de empresas transformadoras (UPME, 2005), siendo hasta el momento limitado este volumen de comercialización, estimándose en 35,000 tm/a en el 2006 (3000 tm/mes), según la Fig. 1.5.1. Este esquema de comercialización, se considera frágil, por cuanto de existir una oferta más competitiva que la nacional en este recurso minero, las empresas transformadoras dejarían de consumir el producto nacional y sustituirían este mercado por el equivalente de importación.

Por otro lado la comercialización de la RF beneficiada o la RFPA, como fuentes de fósforo en el sector agrícola presenta la dificultad de que el productor de campo, tendría que comprar por separado el resto de los insumos, mezclarlos y aplicarlos, y lo más importante, contar en todo momento con una asesoría técnica para el cálculo de las proporciones requeridas en cada uno de los restantes insumos demandados por el cultivo y establecer la forma adecuada de aplicación.

Lo anterior determina, que el productor (exceptuando los productores orgánicos o ecológicos) en la actualidad prefiere la opción de compra de los fertilizantes NPK que se ofrecen en el mercado, tales como:

- Papa: 13-26-6, 10-20-20, 10-30-10 y 15-15-15, dependiendo las formulas de la zona de siembra y la variedad de papa.
- Café: 17-6-18-2
- Arroz: 15-15-15, 18-18-18
- Palma Africana: 13-4-23-2
- Pasto: 25-15-3

➤ Algodón : 21-7-15

Una encuesta entre un amplio sector agrícola realizada por la Universidad Surcolombiana (US , 2007 a) y llevada a cabo entre 560 encuestados , provenientes de 85 municipios y 7 Departamentos, reveló conclusiones interesantes, tales como :

- Solo un 37,5 % de los encuestados, realiza análisis de suelo, como vía para el cálculo de las demandas de fertilización.
- Un 78.5 % de los encuestados, no conoce la RFPA, ni los resultados a obtener.
- Un 60 % informó sus preferencias en la adquisición de los fertilizantes NPK en el mercado , otro por ciento menor en la compra de insumos portadores simples ,para realizar ellos mismos sus propias mezclas.

Lo anterior indica que la producción de RFPA y comercializada individualmente, no tendría de inmediato un impacto significativo en la demanda por el productor agrícola, sin embargo aunque esta vía no debe descartarse, la elaboración de los grados de fertilizantes granulares NPK, comúnmente conocidos en el agro colombiano , pudiera ser una alternativa mas viable y efectiva , lo cual brindaría mas potencialidad a corto plazo en este mercado , aunque para ello sería necesario la realización de ensayos agronómicos en diferentes escenarios y cultivos en Colombia, para validar su eficiencia agronómica, respecto a fuentes de fertilizantes convencionales, y poder brindar así , una mejor recomendación técnica para su empleo mas eficiente.

Se estima que los grandes importadores de DAP y MAP en Colombia, (Monómeros Colombo Venezolanos S.A y ABOCOL S.A) no estén totalmente motivados hacia la compra de los nuevos productos a elaborar a partir de la RF del Departamento, aunque esto no se descarta, pero se considera mas motivador y promisorio , el mercado agrícola existente en los diversos cultivos del territorio nacional , el cual se llevaría a cabo a través de las federaciones nacionales de cada cultivo de forma mayoritaria, para evitar que los intermediarios o distribuidores, graviten aun mas el precio final del producto y este incremento final en los costos, afecte la sostenibilidad de los productores.

Otras limitantes menores, que se consideran adicionales e importantes, para concluir en la posible falta de motivación de los grandes productores actuales de NPK, e importadores de MAP y DAP son:

- En la actualidad el volumen de fertilizantes que se comercializa en la agricultura colombiana , posee un registro de venta ICA, cualquier cambio en la composición de sus componentes originales, requerirá en algunos casos de un nuevo proceso de registro ó certificación , lo cual además de limitar la comercialización de los nuevos productos fertilizantes, creará una cierta resistencia a su desarrollo (resistencia al cambio).
- Muchos de los grandes productores y distribuidores de fertilizantes en Colombia, como MONOMEROS COLOMBO-VENEZOLANOS S.A , ABOCOL S.A y YARA COLOMBIA S.A, poseen sus propias fuentes de suministros de insumos agrícolas, por tanto no es lógico que ellos mismos alimenten y desarrollen su propia competencia.
- En Colombia se dificulta la introducción de un portador simple nuevo en el Manejo integrado de Cultivo , tanto por la falta de asesoría técnica y capacitación , como por las limitaciones de tipo logístico que ello crearía, esto provoca que en la aplicación de los fertilizantes no se trabaje en base al análisis de suelos como se demostró (US, 2007 a) anteriormente , sino que la fertilización se realicen en su mayoría en base a dosis tradicionales de fertilizantes que se han venido aplicando a lo largo de los últimos años, ello pudiera provocar que en algunos casos no se logre utilizar eficientemente estos nuevos productos, lo cual deberá evitarse .

- Lo anterior conlleva, la preferencia que tiene el productor agrícola colombiano, de aplicar los fertilizantes NPK conocidos tradicionalmente del mercado nacional, en lugar de disponer de portadores simples que les asegure igualmente las dosis de nutriente requerido por el cultivo, para lo cual el mismo tendrá que hacer sus propias mezclas.

Los factores anteriores determinarían que la estrategia de mercadeo y comercialización de los nuevos productos, esté dirigida a:

- Elaborar fertilizantes NPK granulares, a partir de la modificación de las fuentes locales de fósforo en el Departamento del Huila.
- Diseñar, los mismos grados de fertilizantes NPK que se comercializan en la actualidad en el mercado colombiano, a saber: 13-26-6 y 10-20-20 (papa), 17-6-18-2 (café), etc., para que el productor este familiarizado, con los mismos.
- Analizar, el lugar adecuado en el territorio Colombiano, donde se instalarían las plantas de mezclas granulares, que permita acercar la producción al consumidor y lograr así con ello una reducción en los costos de comercialización y logística de los fertilizantes.
- Estudiar las fuentes de abastecimientos externos de portadores simples de fertilizantes (N y K) a Colombia y seleccionar aquella que por su competitividad y calidad, aseguren una favorable relación costo/calidad en los fertilizantes NPK granulares a elaborar.
- Llevar a cabo en cada cultivo de importancia en Colombia, un programa de investigación para determinar la eficiencia agronómica relativa de los nuevos fertilizantes frente a las fuentes de fertilizantes NPK tradicionales, a fin de poder cuantificar en cada caso, las ventajas a obtener para mejorar la sostenibilidad de los cultivo, así como realizar las adecuaciones requeridas en su aplicación, que brinde las ventajas económicas esperadas.
- Acordar directamente con las Federaciones de cada cultivo en Colombia, el esquema de distribución y comercialización mayorista de los nuevos fertilizantes a elaborar, sin la participación de intermediarios, a fin de neutralizar las probables resistencias que ofrecerán los distribuidores actuales de fertilizantes, al ver desplazado del mercado, los productos que tradicionalmente han venido comercializando en el Agro Colombiano, para ello se requerirá en una etapa inicial, una agresiva política de marketing, donde se brinden facilidades financieras, logísticas y técnicas a los futuros consumidores.
- Crear en el Departamento del Huila, una estructura empresarial, productiva - comercializadora de los nuevos fertilizantes a producir, la cual se convertiría en un nuevo actor ó participante nacional, del mercado de los fertilizantes en Colombia.
- Desarrollar en algunas de las plantas de producción de RF existentes, la elaboración inicial de la RFPA 0-35-0 a menor escala, con la concepción propuesta de considerar todas las RF del Departamento, previamente mezcladas en condiciones aun pendiente de investigación, a fin de ir creando una cultura del producto 0-35-0 a desarrollar con la nueva inversión propuesta, ó sea no esperar a que se termine la inversión de la planta propuesta para dar a conocer los nuevos fertilizantes a producir, sino comenzar en el 2009, con las instalaciones existentes, la producción y comercialización de estos nuevos productos, aunque sea a menor escala.

Además de los aspectos logísticos antes referidos, será necesario buscar la mayor competitividad económica de los nuevos fertilizantes NPK granulares a producir, para lo cual se recomiendan las estrategias siguientes:

- a) El costo del P_2O_5 producido en el Departamento del Huila deberá ser siempre igual o inferior al precio equivalente del DAP FOB US comercializado en Tampa-EUA, que es el principal proveedor de Colombia en este insumo.
- b) Considerar en el proceso de elaboración de los nuevos fertilizantes NPK, como costo de los restantes portadores simples de Nitrógeno (N), Potasio (K) y Magnesio, el relacionado solamente a su costo final de adquisición, para su puesta en territorio nacional, es decir no

prever ningún margen de ganancia ó utilidad adicional por la comercialización de las fuentes de nitrógeno, potasio y magnesio importadas, para asegurar así la máxima competitividad de los nuevos productos a comercializar.

CALCULO DE LOS PRECIOS DE COMERCIALIZACION DE LOS NUEVOS FERTILIZANTES NPK A PRODUCIR.

El comportamiento durante 2008, de los principales insumos agrícolas de importación (AGRONET, 2008, PROEXPORT, 2008), se presenta en las Tablas No. 8.1 y No. 8.2

Tabla No. 8.1 COMPORTAMIENTO DE LOS PRECIOS DE IMPORTACION DE LOS INSUMOS AGRICOLAS DURANTE 2008 (FOB US)

INSUMO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	PROM.
DAP	744,6	845,6	1012,5	--	1181,5	--	1194,3	1176,8	1097,5	970,0	999,03
UREA	376,2	331,9	358,25	432,35	601,88	634,0	724,5	786,25	752,5	557,0	549,24
KCL	273,0	385,0	445,0	477,63	513,5	537,5	552,5	640,0	705,0	762,5	534,47
S. AMON.	192,5	184,0	179,38	181,25	230,63	268,63	246,0	275,0	245,0	201,0	219,84
MAP	670,6	778,1	981,3	1118,8	1180,0	1127,5	1133,5	1150,0	1136,7	832,0	945,80

En la Tabla 8.2 se muestra el costo final unitario de los insumos importados en el mercado colombiano.

Tabla No. 8.2 COSTO FINAL UNITARIO PROMEDIO DE LOS INSUMOS DE IMPORTACION EN 2008

INSUMO	PROCEDENCIA	FOB US/tm	GASTOS, US		TOTAL US	SCOP/USD	TRANSPORTE	COSTO FINAL (\$COP/kg)
			SEGURO (6 % FOB)	PUERTO (7 USD /tm)				
DAP	TAMPA-USA	999,03	59,94	7,0	1065,97	2329,16	139,815,0	2622,63
MAP	FSU	945,80	56,75	7,0	1009,55	2329,16	139,815,0	2491,22
UREA	UCRANIA	549,24	32,95	7,0	589,19	2329,16	139,815,0	1512,14
S. AMON	MAR NEGRO	219,84	13,19	7,0	240,03	2329,16	139,815,0	698,88
S. MAG.	CHINA	200,00	12,00	7,0	219,00	2329,16	139,815,0	649,90
KCL	VANCOUVER	534,47	32,07	7,0	573,54	2329,16	139,815,0	1475,68

De acuerdo a los resultados de la Tabla No. 8.2 , el costo unitario final de cada uno de los fertilizantes NPK a producir y su comparación con el precio de venta minorista de los fertilizantes , reportado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – AGRONET al cierre de Septiembre del 2008, se presentan en la Tabla No. 8.3

Tabla No.8.3 COSTO UNITARIO DE LOS FERTILIZANTES NPK A PRODUCIR (kg / tm)

INSUMO	COP/kg	13-26-6	10-30-10	15-15-15	17-6-18-2	10-20-20
UREA	1512,14	215	84	329	321	151
DAP	2622,63	180	345	0	0	0
0-35-0	1050,0	514	412	428	173	428
KCL	1475,68	101	168	253	303	253
S. AMONIO	698,88	0	0	0	117	0
S. MAGNESIO	649,90	0	0	0	0	0

COP /kg		1,296	1,570	1,295	1,240	1,295
Precio Venta /Sept.08		1,968	1,998	1,678	1,577	1,847
% Reducción		52	27	30	27	43

Como se observa en la Tabla No. 8.3, considerando un precio de venta para el 0-35-0 de 1050 \$COP/ kg y un costo final de los restantes insumos, equivalente al promedio alcanzado durante el año 2008, es posible reducir el precio final de los fertilizantes NPK en un 27-52 % aproximadamente.

Considerando como referencia los cultivos de Papa, Café y Arroz por su importancia económica, y el área cultivable significativa de los mismos, según se fue mostrado en la Tabla No. 6.1, se podría estimar la demanda de fertilizantes granulares NPK requerida en cada caso, y el consumo teórico esperado del fertilizante 0-35-0, el cual se muestra en la Tabla No. 8. 4.

Tabla No. 8.4 ESTIMACION DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCION REQUERIDA DE 0-35-0, PARA SATISFACER LA DEMANDA DE FERTILIZACION NPK EN LOS CULTIVOS DE PAPA, CAFÉ Y ARROZ

CULTIVO	AREA CULTIVADA (Ha)	13-26-6	10-30-10	10-20-20	15-15-15	17-6-18-2
		(dosis) 500 kg/ha	(dosis) 500 kg/ha	(dosis) 1000 kg/ha	(dosis) 1000 kg/ha	(dosis) 1500 kg/ha
Papa	144,083	72,042	72,042	144,083	0	0
Café	723,761	0	0	0	0	1,085,641
Arroz	382,316	0	0	0	382,316	0
	Total NPK (tm)	72,042	72,042	144,083	382,313	1,085,00
	(Kg/tm) 0 - 35 - 0	514	412	347	428	173
	(tm) 0 - 35 - 0	37,030	29,681	49,997	163,630	185,705
	Total 0-35-0 requerido (tm)	465,476				
	Total 0-35-0 a producir (tm)	150,000				
	% de aseguramiento	32,23				

Como se observa, existe un mercado nacional a través de los principales cultivos agrícolas colombianos, mediante el cual, se puede comercializar la producción final obtenida de la transformación de la RF del Departamento del Huila, en RFPA mediante el fertilizante 0-35-0, con lo cual solo se satisface a un 32 % la posible demanda teórica en tres de los cultivos principales en Colombia.

En el caso del fosfato dicalcico, la producción de fuentes de fósforo defluorinadas a un costo similar al considerado en este estudio (1050 COP / kg) ,debe tener una mayor ventaja competitiva que el actual producto comercializado de importación , el cual alcanza valores superiores a los 2000 COP / kg, por tanto se debe alcanzar una adecuada competitividad en el mercado, que justifique las inversiones a realizar .

Respecto a la biosolubilización de la RF, durante 2009, deberá realizarse un amplio programa de investigación con los productores ecológicos del país, a fin de comprobar la efectividad del uso de la RF del Departamento, tanto en la fosfocompostación, como en la inoculación de pseudomona, para solubilizar la RF.

9.0 DISEÑO BASICO DE INGENIERIA PARA LA TECNOLOGIA SELECCIONADA

El diseño básico de ingeniería, para la tecnología propuesta, constará de las etapas de proceso

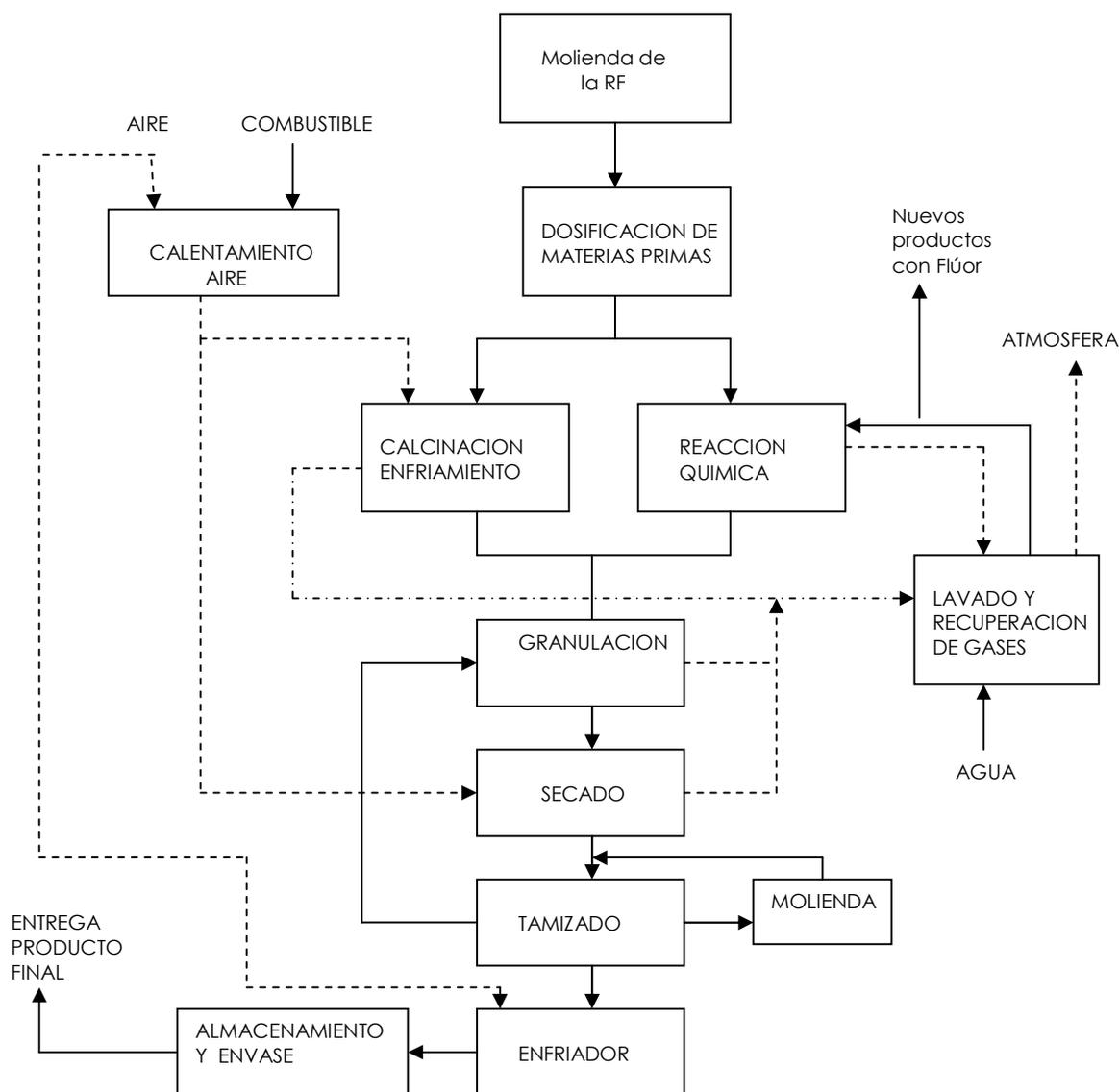


Fig. 9.1 ESQUEMA DE INGENIERIA BASICA DE LA TECNOLOGIA DE TRANSFORMACION PROPUESTA PARA LA ROCA FOSFORICA DEL DPTO. DEL HUILA

que se presenta en la Fig, 9.1

EL flujo de proceso se ha diseñado , previendo la producción simultánea de fosfatos defluorinados (dicalcico , monocalcico y tricalcico para la alimentación animal), así como fosfatos de solubilidad total y parcial para la nutrición vegetal , en una misma instalación industrial , teniendo en cuenta que los procesos industriales anteriores , tienen varias etapas comunes de operación.

DESCRIPCION DEL FLUJO TECNOLÓGICO

La RF previamente molida a -100 mesh , es mezclada con cantidades predeterminadas de AF , carbonato de sodio ó hidróxido de sodio , alimentando a un horno de calcinación (HC) , donde se pone en contacto con un aire pre-calentado a temperatura de 1250-1350 grados celsius, con vista a lograr la defluorinación de la RF , así como eliminar carbonatos y otras materias volátiles contenidas que permitirán aumentar la concentración final de P₂O₅ en el mineral , mediante la siguiente reacción:



Los gases a la salida del HC conteniendo compuesto de flúor y sílice , son llevados a un Lavador de gases tipo Venturi (VSF) de alta eficiencia de remoción, donde se ponen en contacto con una solución de lavado , que permite una adecuada remoción del contenido de flúor en los gases antes de su emisión a la atmósfera, procurándose las condiciones de operación que permita obtener concentraciones de flúor (F) , por debajo del límite permisible en las Normas Sanitarias Colombiana.

La solución de lavado de los gases del HC , es llevada finalmente a un tanque de neutralización, donde el ácido flúor silícico y fluorhídrico formados son neutralizados con hidróxido de sodio, para obtener las correspondientes sales fluoradas, posteriormente las sales son separadas de la solución y procesadas industrialmente para la obtención de los productos fluorinados correspondientes, el agua es recirculada nuevamente al sistema de lavado .

La RF a la salida del HC es llevada a un enfriador, donde se reduce su temperatura hasta un nivel de 600- 700 grados celsius. Para mejorar el balance energético del proceso , el aire a la salida del enfriador del horno , se pone en contacto con una corriente de aire frío, el aire precalentado es llevado a la cámara de combustión, a fin de reducir la demanda de consumo de combustible.

Una fracción de esta RF (15 - 30 %) es alimentada a un tanque de acidulación (TQA1), donde se hace reaccionar con el 100 % del ácido fosfórico estequiométrico a utilizar en el proceso y la solución resultante del lavado de los gases del Granulador y Secador respectivamente .

El licor ácido formado es bombeado al Granulador (DA) donde reacciona con la RF restante, el fino reciclado de los ciclones separadores de polvo y el fino proveniente de la zaranda de clasificación, la adición de zeolita natural en este punto del proceso , tienen como objetivo aumentar la eficiencia de utilización de los fosfatos , tanto para uso animal como para nutrición vegetal .

Los gases a la salida de DA son llevados a un lavador venturi (VSG) donde se reduce el contenido de contaminantes antes de su expulsión a la atmósfera. El producto a la salida de DA , es llevado a un secador (SEC) para reducir el contenido de humedad libre en el mismo , para lo cual se pone en contacto con un flujo de aire caliente (300-400 grados celsius) en flujo paralelo , el aire a la salida de SEC es llevado a un grupo de ciclones captadores de polvo (CIC1) y posteriormente a

un lavador de gases tipo venturi (VSS) , donde se remueven los contaminantes antes de su expulsión a la atmósfera.

El producto a la salida de SEC se tamiza en la zaranda (SCR) , obteniéndose tres fracciones, la gruesa (> 4 mm) que es enviada a un molino de masas (MOL) y el producto molido es recirculado al elevador de alimentación de la zaranda, el producto fino (< 0.5 mm) el cual es recirculado a la unidad de granulación, y la fracción de tamaño intermedio , la cual es llevada a un enfriador (ENF) para reducir su temperatura, a la salida del enfriador el producto es almacenado en una tolva (HOP) donde posteriormente se mezclará en una Planta de mezclas físicas granulares con otros portadores simples de nutrientes, para obtener los grados NPK deseados.

El ácido fosfórico a utilizar, será de proceso húmedo, en una primera etapa este será de importación y a mediano plazo se recomienda crear las condiciones técnicas-financieras para la construcción de una Planta para producir el Acido Fosfórico requerido , por ello se recomienda cerca de una zona portuaria , crear inicialmente una capacidad de almacenamiento de este insumo , que permita asimilar en corto tiempo la descarga de barcos de 2000- 3000 tm

DISEÑO Y CALCULO DEL EQUIPAMIENTO PRINCIPAL

En este punto solo se considerarán los equipos tecnológicos siguientes, por ser los de mayor importancia en el flujo tecnológico:

- a) Horno de Calcinación
- b) Tambor de Acidulación – Granulación
- c) Secador

a) Horno de Calcinación

Las experiencias comerciales (Gibbs, Rock. Prod. 45 (11), 58 (1942) sugieren emplear para la selección de hornos de calcinación, la expresión:

$$\text{Toneladas de producto / día} = \frac{KLD^2}{100}$$

Esta ecuación relaciona la capacidad de producción con el volumen del horno , siendo L la longitud del horno en pies, D el diámetro , pies , y K un factor cuya magnitud depende del material de carga y otras variables.

Considerando un valor de K = 1 para la dolomita y un Diámetro de 12 pies , para una producción esperada de 835 tm / día, se obtiene despejando la expresión anterior un valor de L = 580 pies (176 metros)

El tiempo de retención del producto en el horno (U.S Bur. Mines Tech. Paper ,384 ,1927) puede estimarse por la expresión:

$$\phi = \frac{0.19L}{NDS}$$

donde ϕ es el tiempo de paso por el horno en min. , L= Longitud del horno en pies, N= velocidad de rotación en rpm; S = pendiente del horno, en pie/pie y D = diámetro interno del ladrillo. Considerando $\phi = 30$ min, L = 580 pies, D = 12 pies y N = 3 RPM, se obtiene

$$S = 0.102 \text{ pie/pie}$$

b) Tambor de Granulación

Una guía efectiva (Sauchelli, V. " Química y Tecnología de los Abonos Nitrogenados", Ediciones Ariel, Barcelona, 1970) para la selección de un tamaño óptimo del área de granulación es considerar $0.6 - 0.8 \text{ m}^3 / \text{tm/h}$, entonces para una producción de 42 tm/hr y un reciclaje de 0.5 : 1 , se requerirá un volumen en el tambor de granulación de $50,4 \text{ m}^3$, para una relación L / D = 2 , las dimensiones del granulador serán diámetros 2 metros y longitud 4 metros.

De acuerdo a las dimensiones anteriores , el Flujo de aire a diseñar para la remoción de polvos y gases en el interior del tambor de granulación será de 23000 kg/hr ($23,000 \text{ m}^3 / \text{hr}$)

c) Secador rotatorio

Para el dimensionado del Secador se utilizará (Perry, 1982) la expresión:

$$Q_t = U_a V (\Delta t_m), \text{ kcal / hr}$$

Donde:

Q_t = Calor total transmitido, Btu /hr

U_a = Coeficiente Volumétrico de transmisión de calor, Btu/hr.pie³.°F

V = Volumen del Secador, pie³

(Δt_m) = Diferencia media de temperatura real entre los gases caliente y el material, ° F.

$$U_a = 0,5 G^{0.67} / D$$

G = lb/hr. pie²

D = Diámetro del Secador, pie

Calculo del Calor requerido para el secado del fosfato

$$Q = [M (H_2 - H_1) * \lambda] / 0.65, \text{ Kcal. /hr}$$

Donde;

M = Masa de Producto húmedo a secar $63\,000 \text{ kg/ hr}$ de fosfato

H_2 = Humedad del producto a la salida del secador = 1 % = 1 kg de Agua/100 kg de s. h

H_1 = Humedad del producto a la entrada del secador = 12 % = 12 kg de agua/ 100 kg de s. h

λ = Calor latente del agua = 537.4 Kcal/ kg

$$Q = 5,729,511 \text{ kcal /hr} (22,736,537 \text{ Btu /hr})$$

Calculo de la masa de aire de calentamiento

$$Q = M C_p (T_2 - T_1)$$

Q = calor requerido para el secado = $5,729,511 \text{ kcal /hr}$

C_p = Calor específico del aire = $0,25 \text{ kcal /kg. } ^\circ \text{C}$

T_2 = $400 \text{ } ^\circ \text{C}$

T_1 = $25 \text{ } ^\circ \text{C}$

Despejando queda: $M = Q / C_p (T_2 - T_1) = 5,729,511 / 0,25 (400 - 25) = 61,114 \text{ kg/hr} (122228 \text{ lb/h})$

Calculo del Coeficiente Volumétrico de transferencia de Calor

$$U_a = 0,5 G^{0,67} / D$$

$$G = 122228 \text{ lb/hr} \div (76.09 \text{ m}^2) = 1606 \text{ lb/hr.pie}^2$$

$$U_a = 7.02 \text{ Btu/hr. pie}^3. ^\circ\text{F}$$

Calculo de la Diferencia media de temperatura

$$(\Delta t_m) = (T_1 - T_2) / \ln [(T_1 - T_w) / (T_2 - T_w)]$$

$$(\Delta t_m) = 357,47$$

Calculo del Volumen del Secador

$$Q_t = U_a V (\Delta t_m) \quad , \quad V = Q / U_a. (\Delta t_m) = 22736537 / (7.02 * 357.47)$$

$$V = 9060 \text{ pie}^3 \quad L = 9060 \text{ pie}^3 / 78 \text{ pie}^2 = 116 \text{ pie} (35 \text{ m})$$

Es decir que las dimensiones del Secador serán 3m de diámetro x 35 metros longitud. Este valor se considera aceptable por cuanto una relación $L/D = 10$ es adecuada para operar este tipo de Secadores, en condiciones de eficiencia.

PLANTA PARA LA PRODUCCION DE MEZCLAS FISICAS DE FERTILIZANTES NPK GRANULARES Y MODIFICACION INDUSTRIAL DE LA RF

Las Plantas industriales para la producción de mezclas físicas granulares, se prevé ubicarlas en puntos cercanos al consumidor final y al puerto de importación de las materias primas granulares de otros portadores simples, de acuerdo al examen logístico de la operación que asegure, la obtención de un reducido gasto en las operaciones antes referidas.

La ingeniería básica de este proceso, cuenta con las operaciones básicas siguientes:

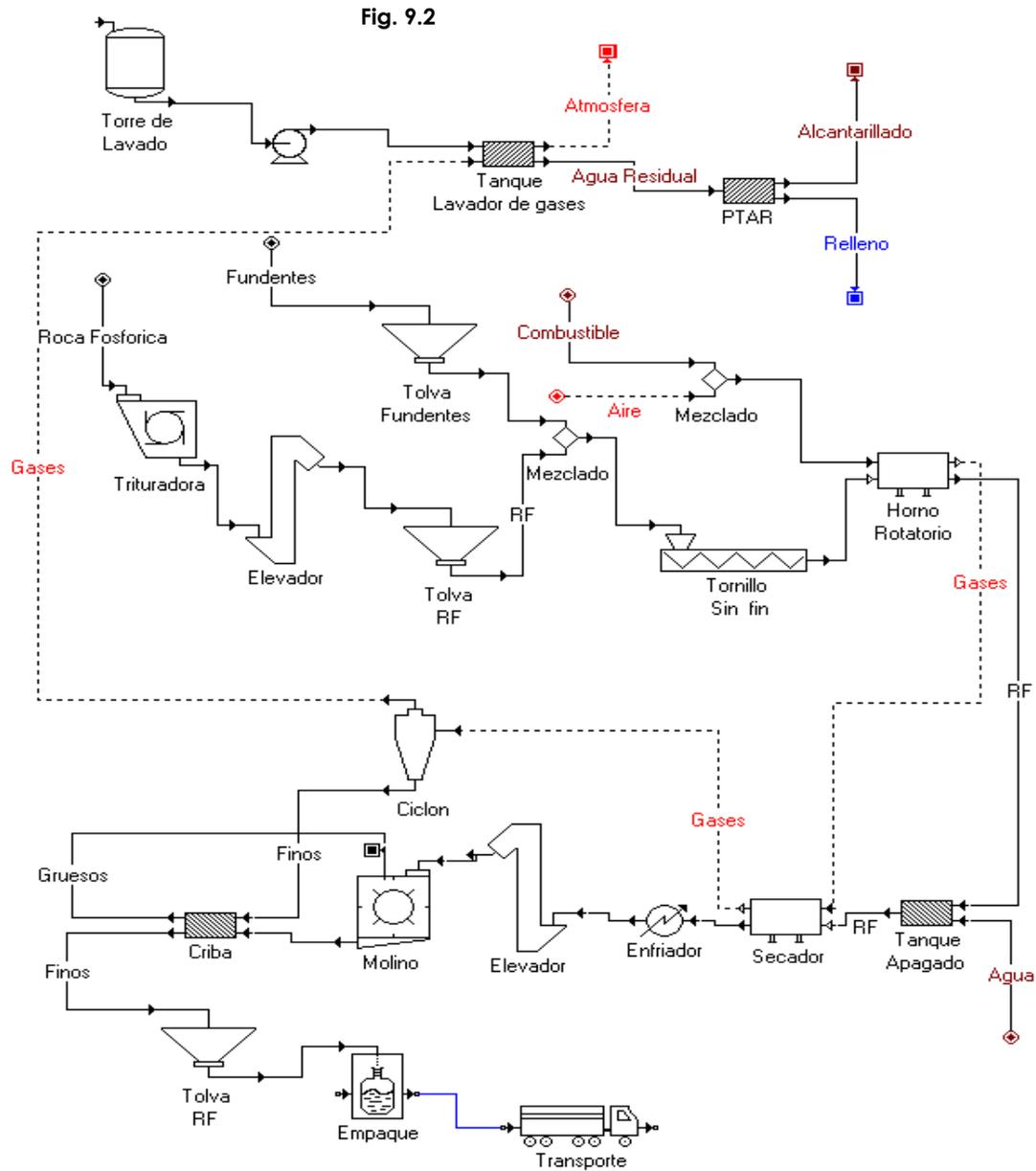
- Almacenamiento de las materias primas a granel.
- Dosificación y pesaje de las materias primas.
- Mezcla de las materias primas granulares
- Envase y entrega del producto.

Estas Plantas en ocasiones son portátiles, estando montado todos sus equipos en medios de transporte que facilita su traslado de un lugar a otro, su capacidad de producción puede variar desde 100 tm/día, hasta 500 – 1000 tm/día. Para el correcto funcionamiento de las mismas y lograr una mezcla final con calidad, se requiere controlar el SGN (Size Guide Number) de cada materia prima, asegurando que entre ellas exista la suficiente similitud (190 – 400) para que la mezcla sea lo suficiente friable y no se presenten problemas de falta de homogeneidad ó segregación de algunos de los insumos ó componentes utilizados.

Termofosfatos defluorinados

DESCRIPCION DEL FLUJO TECNOLÓGICO PARA LA PRODUCCION DE FOSFATOS DEFLURINADOS

En la Fig. No. 9.2, se muestra una descripción más detallada del flujo de proceso para la producción de RF defluorinada.



La RF previamente triturada, es llevada a una tolva utilizando un elevador de canchilones, de aquí sale a una mezcladora para combinarse con el fundente (serpentinita, carbonato de sodio, etc.), posteriormente la mezcla se alimenta a un horno de calcinación, donde se pone en contacto con aire pre-calentado a temperatura de 1000-1350 grados celsius, con vista a lograr la solubilización de la RF, así como eliminar carbonatos y otras materias volátiles contenidas que permitirán aumentar la concentración de P_2O_5 en el mineral .

La RF a la salida del horno es llevada a un tanque de apagado, donde se reduce su temperatura bruscamente.

El producto que sale del tanque de apagado, es llevado a un secador para reducir el contenido de humedad libre en el mismo, para lo cual se pone en contacto con un flujo de gases calientes en paralelo (300-400 grados celsius) provenientes del horno de calcinación, los gases a la salida de secador es llevado a un grupo de ciclones captadores de polvo y posteriormente a una Torre de lavado, donde se remueven los contaminantes antes de su expulsión a la atmósfera, el agua residual es llevada a una Planta de Tratamientos de Aguas Residuales (PTAR) para su tratamiento.

El producto a la salida del secador es enfriado y conducido a un molido, posteriormente se tamiza junto con los finos provenientes del ciclón, obteniéndose dos fracciones, los gruesos son enviados nuevamente al molino y los finos son enviados a una tolva de empaque.

CALCULO DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCION ESPERADA

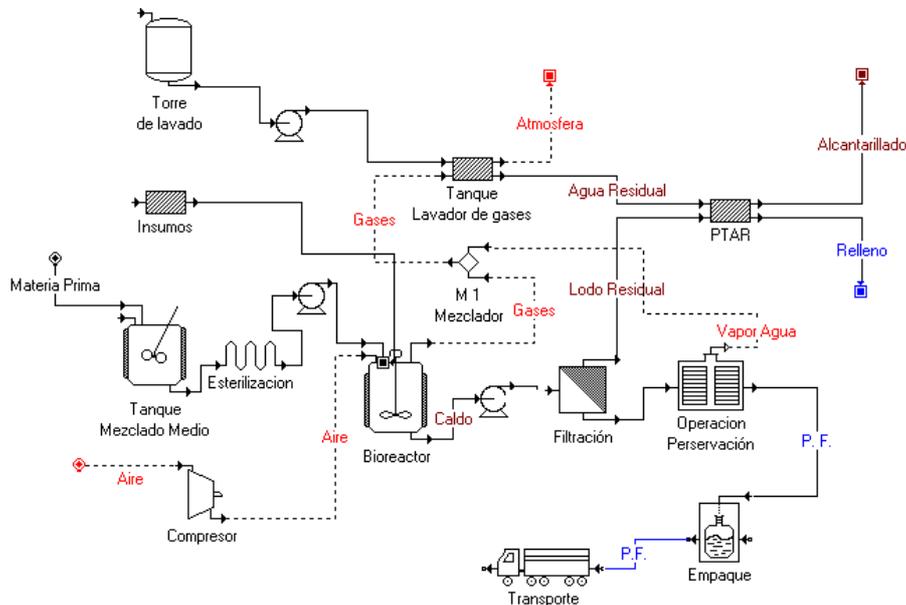
Debido a que no hay datos concretos sobre el uso de termofosfatos en Colombia, debemos partir del supuesto que debido a sus características físicas y químicas, esta tecnología entraría a competir en el mercado de la RF. Como se puede observar en el estudio de mercado la cifra de este supuesto para el diseño de planta estaría alrededor de las 50 Ktm / año.

Considerando que la Planta propuesta, tenga un tiempo planificado de 60 días-año para reparaciones capitales y restablecimiento de su capacidad de producción, y que en el restante tiempo (300 días/año) opere a un 80 % de eficiencia de Operación, la capacidad horaria de producción a obtener sería de aproximadamente de 208 tm/ día, es decir 13 tm/hr (trabajando en dos turnos), siendo esta la capacidad que se utilizará como referencia para el dimensionado de los equipos tecnológicos principales en el proceso .

DESCRIPCIÓN DEL FLUJO TECNOLÓGICO PARA LA PRODUCCIÓN DE MICROORGANISMOS FOSFOSOLUBILIZADORES

El proceso de biosolubilización o fosfocompostación consiste en la inoculación a la roca fosfórica, de un microorganismo que presente esta bondad, junto con una fuente de energía. Por este motivo este proceso puede partir desde la producción de la cepa, o simplemente la compra de la misma a una casa productora.

El proceso que vamos a estudiar es el referente a la producción en términos generales de microorganismos fosfolubilizadores. Se parte de la mezcla de las materias primas para formar el medio de cultivo, posteriormente se pasa este, a un sistema de esterilización y se alimenta al bioreactor en donde se controla la temperatura y pH, al bioreactor se le agregan el inóculo, junto con algunos insumos (por ejemplo antiespumante), después de un tiempo de permanencia, fijado por las curvas de crecimiento del microorganismo, el caldo pasa a un sistema de filtrado o purificación, de hay sale a un sistema de preservación que en muchos casos es



utilizado un liofilizador, el producto que se obtiene pasa a empaque.

Los gases que obtenemos en el bioreactor y en el liofilizador son enviados a una torre de lavado, donde se remueven los contaminantes antes de su expulsión a la atmósfera, el agua residual es llevada a una Planta de Tratamientos de Aguas Residuales (PTAR) para su tratamiento.

Los gases que obtenemos en el bioreactor y en el liofilizador son enviados a una torre de lavado, donde se remueven los contaminantes antes de su expulsión a la atmósfera, el agua residual es llevada a una Planta de Tratamientos de Aguas Residuales (PTAR) para su tratamiento.

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN ESPERADA

Debido a que no hay datos concretos sobre el uso de microorganismos fosfolubilizadores en Colombia, debemos partir del supuesto que esta tecnología entraría a competir con los insumos utilizados en cultivos ecológicos. El área cultivable en producción ecológica en Colombia (Certificada + conversión) es de 45,386 Ha. Aunque en esta producción se le exige al productor independizarse de los suministros externos y autoabastecerse mediante el compostaje, se pudiera considerar la roca fosfórica no solo como mejorador de suelos sino como nutriente. Estimando una dosis de 200 kg de RF /Ha, estaríamos hablando teóricamente de un mercado de 9077 tm/año de RF. Como se puede observar la cifra de este supuesto para el diseño de planta estaría alrededor de las 10 Ktm / año. Para la producción de la bacteria tomaremos como base la *Pseudomonas fluorescens* con las dosis recomendadas por proveedores de la misma, 60 litros por hectárea.

Considerando que la Planta propuesta, tenga un tiempo planificado de 60 días-año para reparaciones capitales y restablecimiento de su capacidad de producción, y que en el restante tiempo (300 días/año) opere a un 80 % de eficiencia de Operación, la capacidad horaria de producción a obtener sería de aproximadamente de 12000 litros/día, es decir 1500 litros/hr, siendo esta la capacidad que se utilizará como referencia para el dimensionado de los equipos tecnológicos principales en el proceso.

DISEÑO Y CALCULO DEL EQUIPAMIENTO PRINCIPAL

En este punto solo se considerarán como equipos tecnológicos de mayor importancia en el flujo tecnológico el Bioreactor, el cual se calculará a continuación.

Bioreactor

Debido a las características del producto a obtener, se parte de la selección de un reactor de tanque agitado provisto de un intercambiador de calor de cubierta externa. Las condiciones ambientales de un biorreactor tales como flujo de gases (por ejemplo, oxígeno, [nitrógeno](#), [dióxido de carbono](#), etc.), [temperatura](#), pH, [oxígeno disuelto](#) y velocidad de [agitación](#) o circulación, deben ser cuidadosamente monitoreadas y controladas.

Para el diseño de este tipo de reactor se deberá contar con la siguiente información del medio y microorganismo a) Curva de crecimiento, b) Modalidad de control de temperatura y presión c) Variación de la velocidad de crecimiento en función de la temperatura y pH, d) Características de transferencia de calor y masas, e) Características físicas y químicas, f) Características del sistema de erosión y corrosión. (Perry, 1996).

Balance general biomasa

Velocidad de Acumulación = Velocidad de Entrada – Velocidad de Salida + Velocidad de Formación – Velocidad de Consumo

Para nuestro caso es 1500 L/hr

Balance General por componente

Una vez dado el balance general de biomasa, debe tomarse en cuenta que, en un sistema de cultivo, existen muchos componentes: substratos, productos, compuestos metabólicos que conforman el caldo de cultivo (medio interno); incluso la biomasa, se considera un componente en sí misma. A partir del balance general, debe establecerse un balance general para cada componente "i" del cultivo o la biomasa.

De acuerdo al enunciado del balance general: la velocidad de acumulación del componente i es el flujo de entrada (F1) por la concentración inicial del componente i (Cio) [velocidad de entrada] menos el flujo de salida (F2) por la concentración del componente i (Ci) [velocidad de salida]; más la velocidad de formación del componente i [formación] menos la velocidad de consumo del componente i [consumo]:

$$d(VCi)/dt = F1Cio - F2Ci + Vrfi - Vrci \quad (1)$$

Respecto a las velocidades de formación y consumo:

Si se trata de un componente metabólico, responden a la acumulación (formación) del componente dentro de la célula y al consumo del metabolito por parte de la célula (consumo).

Si se trata de biomasa, formación corresponde a la generación de biomasa y el consumo al consumo de biomasa durante el bioproceso; esto es, a la producción metabólica en el primer caso y a la producción o productividad en el segundo.

Nomenclatura

- V = volumen del cultivo (m^3)
- F_1 = caudal de alimentación (m^3/s)
- F_2 = caudal de salida (m^3/s)
- C_{i0} = concentración del componente "i" en la alimentación (kg/m^3)
- C_i = concentración del componente "i" en el lavado (kg/m^3)
- r_{fi} = velocidad de formación del componente "i" (kg/m^3s)
- r_{ci} = velocidad de consumo del componente "i" (kg/m^3s).

Balance General por componente para cada modo de operación

La ecuación de balance general por componente, por ser general, se define para una operación continua. La condición fundamental de toda operación continua es:

En una operación continua el flujo de entrada (F_1) debe ser igual al flujo de salida (F_2): **$F_1 = F_2$**

Esta condición se conoce como flujo en estado estacionario (FEE). Para modelar el comportamiento de la biomasa del cultivo en el estado estacionario (EE) además de la condición de flujo (FEE) debe haber equilibrio en la densidad o concentración de ésta. Esto se conoce como quimioestásis o equilibrio quimioestático y es por eso que a los sistemas de cultivo continuó se les llama quimioestatos. Esta condición está dada por la ecuación:

$$dV/dt = F_1 - F_2 \quad (2)$$

Bajo la condición de FEE y suponiendo que la densidad del cultivo y de la alimentación son iguales, (1) se reduce a:

$$dC_i/dt = F(C_{i1} - C_i) + V(r_{fi} - r_{ci}) \quad (3)$$

(3) Se conoce como **ecuación de balance para una operación continua en estado estacionario**.

De no existir el estado estacionario (EE) se producirían dentro del biorreactor dos condiciones de flujo indeseables:

Si **$F_1 > F_2$** se produce el rebalse o desborde del biorreactor, condición que se da cuando el flujo de entrada sobrepasa la capacidad del reactor.

Si **$F_2 > F_1$** se produce el lavado o drenado de producto o biomasa, condición que se da cuando el flujo de salida sobrepasa la capacidad del reactor.

Cuando el modo de operación es semicontínuo (feed batch) el caudal de salida F_2 es nulo ($F_2 = 0$) por lo que, el volumen V aumentará con el tiempo en función del caudal de entrada:

$$dV/dt = F \quad (4)$$

Y en el balance de materia se anula el término $F_2 C_i$ resultando:

$$d(VC_i/dt) = FC_{i0} + V(r_{fi} - r_{ci}) \quad (5)$$

Observe que el volumen que permanece dentro del operador diferencial es porque varía con el tiempo (4), en tanto que el otro no lo hace (3). Esa es la razón por la que una operación semicontínua tiene duración limitada en el tiempo (el volumen no puede incrementarse más allá del volumen de trabajo o volumen útil del biorreactor). El tiempo que dura una operación semicontínua se conoce como tiempo de residencia (t_r) y es el tiempo que dura el cultivo o bioproceso en un sistema semicontínuo.

Cuando el modo de operación es discontinuo (batch) ambos caudales son nulos ($F_1 = F_2 = 0$) por lo que, el volumen es constante y se anulan los términos $F_1 C_{i0}$, $F_2 C_i$ (1) Eso da como resultado:

$$dC_i/dt = r_{fi} - r_{ci} \quad (6)$$

La duración de un cultivo discontinuo (batch) es también, limitada en el tiempo, pero se diferencia de la del cultivo semicontínuo (feed batch) en que depende únicamente de las condiciones iniciales del cultivo; esto por cuanto, no existe alimentación (F_1). Una vez cargado el biorreactor e inoculado el medio de cultivo, la concentración de la biomasa aumenta gracias a los nutrientes, pero una vez que el sustrato que limita el crecimiento se haya agotado, el crecimiento ya no es posible y finaliza el cultivo. Por este motivo, el tiempo que dura el cultivo dentro de un biorreactor con un modo de operación discontinuo se llama tiempo de cultivo (t_c). Tomando de las curvas de crecimiento teóricas un tiempo promedio de 24 horas. (Otiniano; Savino; Costa, 2001; Márquez, 2007). (<http://es.wikipedia.org/wiki/Biorreactor>).

En una operación discontinua el volumen del reactor es de 36000 litros (8000 galones), para realizar una operación continua se debe disponer de dos reactores de este tipo.

10.0 ANALISIS DE FACTIBILIDAD EN LA TECNOLOGIA RECOMENDADA

Toda inversión o proyecto requiere ser evaluado desde el punto de vista técnico y económico par asegurar una adecuada decisión de invertir con un mínimo de riesgo (Perry, 1982), para ello deben obligatoriamente revisarse un grupo de indicadores tanto cualitativos, como cuantitativos, que aseguren el éxito de la decisión a tomar.

La factibilidad técnica del proyecto, pretende evaluar un conjunto de condiciones dentro de las que se incluyen las del tipo: técnica, logística, política, social, ambiental ó de seguridad nacional.

La factibilidad económica pretende demostrar y asegurar, que bajo ciertas condiciones fijadas inicialmente en el Proyecto de Inversión (precios de comercialización del producto , volumen a comercializar, tasas de interes, calidad del producto final, depreciación de la instalación, gastos de operación, calificación de la fuerza laboral , etc ,etc , la decisión de invertir es adecuada

,desde el punto de vista principal del capital a invertir, las utilidades a recibir en un período de tiempo dado y el mantenimiento de la capacidad productiva.

Para lo anterior, debe demostrarse que el Capital de Inversión se recuperará, dentro de los límites del % de recuperación acordado con los inversionistas o financistas del Proyecto, y que la recuperación de la inversión, a través de las utilidades generadas, permitirá la aprobación del Negocio.

FACTIBILIDAD TECNICA

La propuesta de inversión que se realiza, presenta un grupo de factores favorables, que la hacen viable, entre las cuales se destacan:

- La tecnología que se recomienda es conocida, existiendo algunos procesos industriales en Colombia que la aplican.
- Su implementación conllevaría un importante incremento de la capacidad productiva y comercializadora de las reservas de roca fosfórica del Departamento, en beneficio de la economía tanto del Departamento como del país, al pasar de unas 35000 tm/año, a más de 180,000 tm/año.
- Se incrementaría, el uso de la fuerza laboral, al crearse nuevos empleos, en las actividades minera, industrial y comercial, estimándose en alrededor de 60 nuevos empleos, 15 en la actividad minera, 30 en la actividad productiva y 15 en la comercialización, administración y logística.
- Colombia depende en su casi totalidad de la importación de fuentes de Fósforo (P) para la agricultura, siendo esto un capital financiero que sale del país, por ello desarrollar una industria transformadora de la roca fosfórica, permitiría recuperar para el país un capital que en la actualidad se "fuga", lo cual permitirá mejorar los indicadores socio-económicos del Departamento y del país.
- Se le brinda una mayor sostenibilidad y seguridad al productor agrícola, al hacerse el precio de los fertilizantes menos dependiente de factores externos del país.
- La capacidad de este Proyecto, no resuelve en la totalidad las necesidades de fósforo en la agricultura colombiana, por tanto el mismo puede ser un importante punto de partida para próximos proyectos de inversiones en este campo, partiendo de las importantes reservas de roca fosfóricas en el Departamento y en el país.
- El Proyecto puede crear un nuevo rubro exportable para el país, pudiendo incrementarse los ingresos por esta vía, y mejorar la balanza financiera del país.
- Producir un insumo agrícola a un precio inferior, al que se comercializa en la actualidad mejora las condiciones de vida de un importante sector de la población colombiana que depende de la agricultura.
- La tecnología propuesta no es contaminante, de hecho se le considera "limpia" previniéndose la instalación de sistemas de recuperación de polvos y otros elementos químicos (Lavadores Venturi) que presentan técnicamente altas eficiencias de recuperación de contaminantes en este tipo de industria, superior al 99 %.
- Este tipo de Proyecto de industrialización, trae siempre efectos positivos o favorables en sectores económicos colaterales, como el de la construcción, transporte.
- Se abre una importante perspectiva de incursionar en otras tecnologías para elaborar nuevos productos químicos que se importan en la actualidad como los polifosfatos, el DAP y MAP, entre otros.

Basado en lo antes mencionado, se considera que técnicamente el proyecto es factible, al tener varias ventajas técnicas en el aspecto técnico, comercial, ambiental y social.

FACTIBILIDAD ECONOMICA

PROCESO QUIMICO DE ACIDULACION

La determinación de la factibilidad económica de una inversión (Perry, 1982), requiere primeramente de la estimación de los costos del proyecto, los cuales se desagregan en varias partidas tales como:

- Costo de capital fijo
- Costo de producción o capital de trabajo

Dentro de Costo de Capital fijo, se consideran, fundamentalmente: el Costo de compra de equipos, estimación de tuberías, instalaciones eléctricas, servicios auxiliares, costos de arranque de planta, costos de construcción en el extranjero, etc.

En el costo de producción se incluyen los gastos incurridos en: materias primas, catalizadores, productos químicos, servicios municipales, mano de obra y supervisión, gastos en mantenimiento, impuestos sobre la propiedad y seguro, y otros detalles adicionales, que dependerán del tipo de inversión y las características del proceso de producción.

Para evaluar la factibilidad económica de una inversión, se utilizan varios indicadores, entre los que destacan:

- Tiempo de recuperación de la inversión
- Valor Presente
- Tasa interna de recuperación

Los parámetros anteriores, generalmente se calculan sobre un horizonte de tiempo (5-10 años) y se determinan sobre la acumulación de los mismos su efectividad.

Estos criterios económicos de evaluación de inversiones para procesos químicos, se incluyen en varios software de simulación de procesos químicos, que se comercializan internacionalmente (CHEMCAD, SUPERPRO DESIGNE, ASPEN PLUS, HYSIS y HYSIM), en el caso nuestro, se utilizará la metodología de evaluación económica de inversiones que presenta el Programa SUPER PRO DESIGNE V. 3.04 (www.intelligen.com), el cual se presenta en el Anexo 6.

Para la estimación de los costos de compra, se cada equipo, se utilizará los datos brindados por www.matche.com, el cual tiene los mismos con base a 2007 y precios US Golf en EEUU.

En el Anexo 7, se presenta la relación de equipos que forman parte del flujo tecnológico, estimándose la inversión para la compra de los mismos en 59,152,085.00 COP.

En el Anexo 8, se presenta un análisis de sensibilidad sobre la incidencia del precio de venta del producto y el tiempo de recuperación de la inversión (TRI), a través de cálculo de 4 variantes posibles, el cual se muestra en la Tabla 9.1

Tabla 10.1 ANALISIS DE SENSIBILIDAD DE LA INCIDENCIA DEL PRECIO DE VENTA DEL 0 – 35 – 0, EN EL T. R. I

Variante	Precio de venta del 0-35-0 (COP/kg)	Precio Equivalente DAP-Tampa (FOB US/tm)	Precio de la roca fosfórica (\$ / kg)	T. R. I (años)
1	700	400	200	8,25

2	1050	600	200	4,04
3	1400	800	200	2,68
4	1050	600	140	3,17

Aunque en el estudio, se ha considerado como base un precio promedio de venta de 1050 COP/kg para el 0-35-0, se observa en la Tabla 9.1 que en un escenario pesimista, el TRI puede oscilar entre 4,04 – 8,25 años y en un escenario optimista variar de 2.68 – 4.04 años, lo cual es un indicador aceptable en ambos escenarios para este tipo de inversión.

En los casos anteriores (Variantes 1-3) se tomó como base un precio de la roca fosfórica de 200 \$ / kg, pero reduciendo este precio a 140 \$ /kg (Variante 4), lo cual puede ser un objetivo de trabajo para el sector minero, a fin de potenciar las capacidades de comercialización de la roca fosfórica en el mercado colombiano, se reduce en un 10 %, el TIR previsto en la Variante 2.

El precio del DAP importado (FOB US) desde Tampa-Florida, osciló en el 2008 (ENE - OCT) desde 744.6 hasta 970, pasando por un máximo de 1194,3 en Julio del 2008, como se mostró en la Tabla 6.3, aunque en NOV-DIC, se reportan (AGRONET,2008) precios de 400 y 800 FOB US respectivamente, constituyendo así los precios mas bajos observados durante el año 2008, se concluye que el escenario diseñado debe corresponder a lo esperado, aunque en estos tiempos de convulsión económica-financiera, se hace un poco difícil, realizar este tipo de pronóstico, de variación en los precios de venta en algún insumo.

También en el movimiento de estos precios, inciden las épocas del año con respecto a la demanda fertilizantes, las cuales son coincidentes con los períodos de siembra de cultivos en los diferentes países.

Basado en lo anterior, se concluye de que el proyecto, tanto en un escenario pesimista como en un escenario optimista, en cuanto a la oferta de precios FOB US del DAP y MAP en Tampa US, presenta indicadores de inversiones favorables en cuanto al T.R. I (Tasa Interna de Retorno).

PROCESO TERMICO DE DEFLUORINACION

En el Anexo 13, se muestran los resultados del análisis de factibilidad económica del proceso termico para defluorar la RF, donde se observa que comercializando el producto obtenido a 1000 \$ / kg, es decir al 50 % del precio del fosfato dicalcico en la actualidad que es 2000 \$ / kg, se obtienen indicadores financieros de rentabilidad que justifican la inversión a realizar, previéndose ingresos anuales de 50,000 millones de pesos, que permiten un TRI (Tiempo de Retorno de la Inversión) de 3,92 años, lo cual es un valor favorable, de lograrse niveles de comercialización de alrededor de 50,000 tm/año

PROCESO DE BIOSOLUBILIZACION

En el escenario de calculo diseñado (Ver Anexo 12), no se obtuvieron indicadores favorables de rentabilidad financiera, para el volumen de producción planificado y el precio de venta considerado, lo cual requiere de un nuevo durante el 2009, para diseñar estas condiciones que permitan definir el escenario de factibilidad económica para este proyecto.

11.0 CONCLUSIONES

1. Se dispone de un importante potencial de RF en el Departamento del Huila, en cuanto a reservas y calidad de la misma, que justifican el desarrollo de un proceso inversionista dirigido a la industrialización de la misma.
2. La RF del Departamento, es mayoritariamente del tipo fluoroapatita, aunque en algunos estudios puntuales se identifica como hidroxiapatita, y dada su reactividad media, requiere de un método de tratamiento para mejorar la eficiencia agronómica de la misma.
3. Los métodos que demostraron mayor efectividad en mejorar la eficiencia agronómica de las RF estudiadas fueron la biosolubilización y la acidulación química, existiendo un mercado para los productos obtenibles de ambos procesos.
4. Las evaluaciones agronómicas realizadas en los cultivos de frijol y maíz bajo invernadero, a partir de las variables masa seca, masa verde y diámetro del tallo, coincidieron en establecer el orden de efectividad de los métodos evaluados en métodos biológicos y métodos de acidulación química, por ese orden.
5. Los favorables resultados alcanzados por el método biológico, pueden estar dado por el elevado contenido de materia orgánica (15%) del sustrato utilizado, que favoreció la actividad de los microorganismos biosolubilizadores.
6. La modificación térmica de las RF de los yacimientos Media Luna y La Juanita, no incrementó significativamente el contenido de fósforo total y asimilable en el producto final, y están acorde a otros resultados obtenidos en estudios realizados a la RF de Venezuela (Monte Fresco y Riecito), no ofreciendo hasta el momento buenas perspectivas para su escalado.
7. Mediante modificación química de la RF con AF, para obtener el fertilizante fosfórico granular 0-35-0 y su mezcla final con portadores simples de nitrógeno y potasio, es posible obtener los diferentes fertilizantes que se emplean en la agricultura colombiana, a un costo inferior en un 35-50 %, al precio comercial de los productos equivalentes registrados en el 2008.
8. Los resultados de la comparación de los métodos de modificación de la RF mediante matriz DOFA y matriz de ponderación, estuvieron en correspondencia con los resultados de Eficiencia Agronómica Relativa obtenidos y los estudios de mercado, donde las alternativas de acidulación química y la biosolubilización, fueron las más favorecidas para su escalado, sobre los métodos térmicos de modificación de la RF.
9. El método térmico de modificación de la RF se recomienda solo desde el punto de vista de la defluorinación del mineral, donde la RF del Yacimiento "La Juanita", presentó mejores resultados en las pruebas de defluorinación sobre la RF del Yacimiento de Media Luna, desde el punto de vista estadístico, teniendo muy buenas opciones de producir RF defluorinada para alimentación animal.
10. La RF del Yacimiento "Media Luna" requiere de mayor investigación para ajustar el proceso de modificación térmica, que asegure contenidos de fluor, dentro del rango establecido.
11. La inversión de una planta para la producción anual de 150,000 tm de fertilizante granular 0-35-0 y 50,000 tm de fosfato defluorinado, presenta indicadores favorables de rentabilidad económica, previéndose recuperar la inversión en un período de 3-5 años.

12. La capacidad de producción proyectada para la planta propuesta, no sería suficiente para la demanda potencial nacional de fertilizantes fosfóricos, encontrándose solo para 3 cultivos considerados en este estudio, una satisfacción de la demanda en un 30-35 %, lo cual indica que existe mercado para el desarrollo de nuevos fertilizantes basados en la conversión química de la RF del Departamento del Huila para la producción de fertilizantes granulares completos NPK.
13. Se requiere en una primera etapa crear una infraestructura, para el almacenamiento y envío del AF importado que asegure las demandas de este insumo para la capacidad potencial de la planta propuesta y en una segunda etapa, ir a la construcción de sendas plantas de AF y AS para asegurar la autosuficiencia en los insumos requeridos, equivalentes a 65,000 tm/a de AF al 55 % y 100,000 tm/a de AS al 100 %.
14. Con las proyecciones realizadas en este estudio, la producción de RF en el Departamento puede pasar de unas 36,000 tm/a, a más de 150,000 tm/a para lo cual se requiere incrementar la capacidad de producción de RF en cada una de las minas en explotación, y estudiar las vías más adecuadas, para lograr la efectividad de las mezclas de diferentes RF provenientes de los Yacimientos del Departamento y su respuesta agronómica.
15. Los resultados de este estudio desde el punto de vista agronómico, no deben tomarse como concluyentes, ya que la investigación solo cubrió 25 días del ciclo vegetativo de los cultivos indicadores utilizados, debiendo realizarse en el 2009, pruebas de mayor representatividad, en cultivos de importancia económica nacional como café, papa, arroz, maíz, palma africana, plátano, etc.
16. Dado de que existen muchas alternativas de producir el fertilizante granular 0-35-0, deberá definirse mediante una investigación al respecto, la relación P asimilable / P total, que brinde eficiencias agronómicas competitivas para los diferentes cultivos y suelos en Colombia, respecto a las actualmente obtenidas con las fuentes de fósforo de importación.
17. La conveniencia de desarrollar la industrialización de las reservas de RF del Departamento, debe ser no solo un objetivo e interés de la gobernación del departamento, sino también del gobierno nacional, por cuanto el comercio de fertilizantes en Colombia, depende en gran medida de las importaciones de los diferentes insumos agrícolas que se requiere en el mercado nacional, constituyendo esto una fuga de capital financiero al exterior del país, haciendo vulnerable la agricultura colombiana, ante cualquier evento externo desfavorable y afectando la sostenibilidad del productor agrícola colombiano.
18. Es necesario en el 2009 crear las condiciones en el departamento, para a partir de las instalaciones existentes en las diferentes empresas productoras de RF, poder iniciar la producción a pequeña escala de los nuevos fertilizantes propuestos, a fin de ir trabajando el mercado e ir familiarizando al productor agrícola, con estos nuevos productos.
19. Dada los resultados obtenidos mediante encuestas tomadas como referencia en este estudio, es importante en el 2009, profundizar en el conocimiento de las prácticas técnicas más elementales en la producción agrícola, como análisis de suelo, análisis de tejido foliar, análisis de agua, etc, y profundizar también en el conocimiento de las diferentes fuentes de fertilización fosfórica, dado los elevados precios actuales de estos fertilizantes, a fin de aumentar la capacitación del productor agrícola en beneficio de lograr en estos nuevos productos, el mayor uso y beneficio posible.

20. Aunque para los efectos de este estudio , se tomó como base un precio base en la RF de 200,000 \$ COP / tm se requiere estudiar las vías para reducir el mismo , a niveles de 140-150, 000 \$ COP / tm , que asegure la mayor competitividad de los productos finales a obtener, frente a los de la competencia , que son mayoritariamente de importación.
21. Se requiere estudiar y proponer una figura jurídica, que represente los intereses de todos los productores de RF del Departamento , en el esquema de producción propuesto , por cuanto los elevados volúmenes de RF que se demandará, y el monto de inversión requerida, será muy difícil que una sola empresa pueda asimilarla, con lo cual se daría también un mejor uso a las reservas mineras totales del Departamento .
22. El mercado nacional de fertilizantes completos NPK en Colombia , estimados en 825,000 / 850,000 tm /año , puede ser abastecido a mediano y largo plazo , mediante el desarrollo de las capacidades de transformación de las RF del departamento .

12.0 RECOMENDACIONES

1. Proceder a analizar los resultados de este estudio, dentro del gremio de productores de RF del departamento y otras instituciones territoriales , a fin de considerar las preocupaciones, dudas y sugerencias, que permita elaborar y enriquecer un Programa de trabajo a corto y mediano plazo , para darle continuidad a las proyecciones propuestas en este estudio.
2. Enfocar las pruebas de campo a realizar en el 2009, con fertilizantes completos edáficos NPK, conteniendo las fuentes de P del Departamento y evaluar la eficiencia agronómica, respecto a los fertilizantes actualmente comercializados en el mercado colombiano, para lo cual previamente se deberá definir el grado óptimo de solubilización de la fuente de RF, que asegure una eficiencias agronómicas en los cultivos iguales o superiores a las actuales, con los productos convencionales DAP y MAP.
3. Estudiar la infraestructura logística que se requiere para brindarle fortalezas al proyecto , definiéndose : a) Las vías y fuentes mas económicas para importar los insumos que se requieren ,b) La instalación de plantas de mezclas granulares de fertilizantes , en puntos cercanos a los de mayor demanda física, en cada cultivo, para reducir los gastos en transportación y c) La instalación de una capacidad de almacenamiento y bombeo de AF de importación, que asegure en una primera etapa las demandas de este insumo.
4. Continuar las evaluaciones de los métodos de biosolubilización de la RF en los productores ecológicos, a fin de demostrar su eficacia y potenciar con ello, el mercado de la RF del departamento.
5. Desarrollar en la producción de RF defluorinada , pruebas comparativas respecto al fosfato dicalcico de importación, a fin de definir la Eficiencia Biológica de los nuevos productos a desarrollar a partir de las RF del Departamento , para buscar su mayor competitividad.
6. Trabajar en las RF de los yacimiento para definir, mediante investigaciones y pruebas de laboratorio , las mejores condiciones en cada caso que asegure un contenido óptimo de flúor en el mineral , para su uso como fuente de alimentación animal y reducir las importaciones por este concepto de fosfato dicalcico .

13.0 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AGRONET**, 2008, BASE ESTADISTICAS DE LOS INSUMOS AGRICOLAS DE IMPORTACION EN COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. www.agronet.gov.co
- Alvarado L., Barreto R.**, 2005 .Minerales Naturales utilizados en Colombia como fuentes en fertilizantes o enmiendas de suelo. CYTED, Brasil.
- Anandham R.**, 2008. Evaluation of shelf life and rock phosphate solubilization of Burkholderia sp. in nutrient-amended clay, rice bran and rock phosphate-based granular formulation. [World Journal of Microbiology & Biotechnology](http://www.worldjournalofmicrobiology.com); Aug, Vol. 23 Issue 8, p1121-1129, 9p.
- Altomare C., Norvel W. A. L, Bjorkman T., AND Harman G. E.**, 1999. Solubilization of Phosphates and Micronutrients by the Plant-Growth-Promoting and Biocontrol Fungus Trichoderma harzianum Rifai 1295-22. Applied and environmental microbiology, July, p. 2926–2933.
- Austin George T.** 1995. Manual de procesos químicos en la industria, tomo 2. McGraw-Hill, Inc., U. S. A.
- Barbarick, K; Lai , T.M; Ebel, D.** 1988. Response of Sorghum-Sundangrass in soils amended with Phosphate rock and NH₄ – Exchanged Zeolite (Clinoptilolite). Colorado State University. Technical Bulletin, TB88-1 , Agricultural Experiment Station, Department of Agronomy.
- Barrentine B. F., Maynard L. A. y Loosli J. K.** The availability of the calcium and phosphorus of defluorinated rock phosphate for the rat. Laboratory of Animal Nutrition, Cornell University, Ithaca, New York.
<http://jn.nutrition.org/cgi/reprint/27/1/35.pdf>.
- Bierman, L. W.** 1978. Direct granulation process for triple superphosphate. US. Pat. No. 4101637.
- Blank Leland T. y Tarquin Anthony J.** 1997. Ingeniería Económica. McGraw-Hill, Inc., U. S. A.
- Brană, V, Avramescu, C, Calugaru.** 1986. Substante minerale nemetalifere, Editura Tehnica, Bucarest, Rumania.
- Caballero T. Y Camelo M.**, 2006. Aislamiento y caracterización de bacterias solubilizadoras de fosfato a partir de suelo algodoneros, departamentos del Cesar y Meta. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de ciencias. Microbiología Industrial. Bogotá, D.C.
- Camacho, J.** 2002. "MAPA DE RECURSOS MINERALES DE COLOMBIA ". Minerale Industriale. INGEOMINAS.
- Cantera, V.** 1996. Diseño de la sección de lavado de gases de la Planta de Fertilizantes Granulados de la Empresa Rayonitro. Tesis presentada como opción al grado científico de Master en Ciencias Técnicas. Universidad de Matanzas. CUBA
- Cantera, V.** 1997. Informe Final de las pruebas de laboratorio para la producción de RFPa en un Granulador TVA. Empresa Rayonitro, Ministerio de Industria Básica. CUBA
- Cantera, L.** 1997a. Producción de Superfosfato Triple a partir de la roca fosfórica del yacimiento de Trinidad de Guedez, Matanzas, Cuba. Tesis de Grado para la opción del título de Ingeniería Química en la Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos ", CUBA.

Casanova Olivo Eduardo, 2008. Demanda del fosfato inorgánico por especie animal y su proyección nacional al año 2012 y 2018. Multic vol.8 no.1 Maracaibo Apr.

Cárdenas Alvarado Carmen Gloria, 2006. Evaluación de la roca fosfórica Carolina del Norte inoculada con cepas fúngicas como fertilizante para la producción de plántulas de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. Valdivia – Chile.

Casado Bujalance Ana I. y Fernández Herrera Mercedes, 1998. Estudio "in vitro" sobre la fertilización natural de pastizales. Suelos de la sierra de Guadarrama. Madrid.

Cordero Elvia jorge, Ortega-rodés Patricia, Ortega Eduardo, 2008. La inoculación de plantas con *Pantoea* sp., bacteria solubilizadora de fosfatos, incrementa la concentración de P en los tejidos foliares. Rev. Colomb. Biotecnol. Vol. X No. 1 Julio 111-121.

Costa M., Gómez M. F., Molina L. H. y Romero A., 2001. Cinética de crecimiento y producción de proteasas de *Pseudomonas fluorescens* en leche cruda a temperaturas de refrigeración. Archivo Latinoamericano de Nutrición. Vol 51 N° 4.

Cuesta Ihosvanni, Ferrer Anairad y Rengifo Emelina. Importancia de la inoculación dual de bacterias y *glomus mosseae* sobre crecimiento y micorrización de plántulas de *swietenia macrophylla* x mahagoni.

<http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/1064/cuf0112s.pdf>

Chien and Menon, 1995. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. Fert. Res., 41: 227 - 234.

Chien, S.H.2003. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock: a general review, in: S.S.S. Rajan y S.H. Chien, eds. *Direct application of phosphate rock and related technology: latest development and practical experience*. Proc. Int. Meeting, Kuala Lumpur, 16-20 July 2001. Muscle Shoals, Estados Unidos de América, IFDC, 441 pp.

Delgado Higuera Mario, Los microorganismos del suelo en la nutrición vegetal. www.oriusbiotecnologia.com.

Dibut Alvarez Bernardo, Martínez Viera Rafael, Fey Govín Luis y Ortega García Marisel. Un siglo de investigaciones y comercialización de biofertilizantes en Cuba. Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt". INIFAT. Cuba.

FAO, 1999. Fertilizer Yearbook 1998, FAO Statistics Series No.150 Rome

FAO, 2007, "Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible ", ISBN, 9789253050307. Job Number, Y5053/S. Número en series, 13 Boletines FAO:

FAOSTAT, 2001. Situación actual y perspectiva de los fertilizantes en el mundo hasta el 2005 / 2006.

Fassbender Hans W. y Bornemisza Elemer, 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América latina. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura. San José, Costa Rica.

http://books.google.com.co/books?id=UyflUzbPxpYC&pg=PA293&lpg=PA293&dq=Fosfato+de+Rena+nia.&source=web&ots=VWV6Nzair&sig=ImWJa1CXMk-YyRa94YiN3dnyDQw&hl=es&sa=X&oi=book_result&resnum=4&ct=result#PPP5,M1

Fernández L., Zalba P., Gómez P. Y Sagardoy M., 2005. Bacterias solubilizadoras de fosfato inorgánico aisladas de suelos de la región sojera. *Cienc. Suelo*. Vol 23, Nº 1.

Fernandez Shirley M., Meza Carlos A., 2004. Efecto residual de la roca fosfórica de Riecito modificada por calcinación o acidulación sobre plantas de maíz en suelos con nivel variable de calcio. *Bioagro* 16(2): 93-98.

Fernandez Shirley M. y Noguera Rómulo S., 2003. Producción de fosfatos térmicos a partir de rocas fosfóricas nacionales. *Agronomía Tropical* 53(1): 49-57.

Finck Arnold. Fertilizantes y fertilización.

http://books.google.com.co/books?id=llL8KcUQAQ0C&pg=PA70&lpg=PA70&dq=Fosfato+de+Renania.&source=web&ots=VUDRIsJe60&sig=7GhkceAxLoCZPI00nBCE97A1CSw&hl=es&sa=X&oi=book_result&resnum=1&ct=result#PPP1,M1

Francis T. Nelson. Manual of fertilizer processing. <http://books.google.com.co/books?id=J3omL5PPq4MC&pg=RA1-PA97&dq=fused+magnesium+phosphate>

Godoy Susmira, Chicco Claudio F., Requena Fanny y Obispo Néstor E., 2000. Fuentes de fósforo para la alimentación de bovinos. 2. retención de fósforo y flúor. *ZOOTECNIA TROPICAL*, 18(1). FONAIAP - CENIAP, Instituto de Investigaciones Zootécnicas, Maracay, Edo. Aragua. Venezuela.

Godoy Susmira y Chicco Claudio F., 2005. Mineralización y cinética del fósforo en el tejido óseo de pollos alimentados con fosfatos no defluorinados. *INCI* v.30 n.9. Caracas.

Gonzaga Ronaldo Luiz, Mendonça Vander, Smarsi Ronny Clayton, Da Silva Tosta Mauro, Biscaro Guilherme Augusto, de Aquino Freire Tosta Priscilla, 2008. Utilização de termofosfato magnesiano na produção de mudas porta-enxerto de nespereira. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. v. 38, n. 3, p. 195-200, jul./set.

González Gustavo, 2008. Bacterias Solubilizadoras de Fósforo. Rizobacter Argentina S.A.

Gupta Nibha, Sabat Jyotasanmayee, Parida Reena, Kerkatta Dipika., 2007. Solubilization of tricalcium phosphate and rock phosphate by microbes isolated from chromite, iron and manganese mines. *Acta Bot. Croat.* 66 (2), 197–204.

Hallsworth, J., Fawcett, C., 2006. Manufacture & use of animal feed ingredients derived from phosphate rock. *Davy Process Technology*.

Hameeda B., Kumar Reddy Y Harish., Rupela O. P., Kumar G. N., Reddy Gopal., 2006. Effect of Carbon Substrates on Rock Phosphate Solubilization by Bacteria from Composts and Macrofauna. *India*.

Hammond et al, 1986. Agronomic effectiveness of Bayovar phosphate rock in soil with induced phosphorous retention, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50: 1601 – 1606

Hammond, LL y Day, D.P, 1992. "Phosphate rock standardization and product quality "In: A.T Bachik y A. Bidin., eds. *Proceeding of a workshop on phosphate source for acid soils in the humidic tropic of Asia*, pp 73 - 89. Kuala Lumpur, Malaysian Society of Soils Science

Hignett, T.P, 1963, *Farm Chemicals*, 34, March.

ICA, 2007, "Comercialización de fertilizantes y acondicionadores de suelo". Producción, Ventas, Importación y Exportación. Boletín Técnico.

IFA, 1998. The Fertilizer Industry's manufacturing process and Environmental Issues. Technical Report No. 26 - Part. 1. International Fertilizer Industry association

Ivell, D. 1988". Practical Experience in the Granulation of Urea / Ammonium Phosphates. Proceedings of International Workshop NPK Fertilizer Production Alternatives, Madras, Bombay, India, February, pp: 133 – 141.

Ivanova Ralitsa P., Bojinova Darinka Y., Gruncharov Ivan N., y Damgaliev Dimitar L., 2006. The Solubilization of Rock Phosphate by Organic Acids. Phosphorus, Sulfur, and Silicon, 181:2541–2554.

Kucey, R.M.N., Janzen, H.H. y Leggett, M. E. 1989. Microbially mediated increases in plant-available phosphorous, Adv. Agron., 42: 199 – 228 .

Leal Nerio, Madrid de Cañizalez Cecilia. Compostaje de residuos orgánicos mezclados con roca fosfórica. Universidad de Los Andes Núcleo "Rafael Rangel" Trujillo Venezuela. Agron. Trop 48:335-357.

MacDonald, R. A. 1975. Method of making granular triple superphosphate fertilizer. US. Pat. No. 3868243.

Mantilla Cardenas Miguel Eduardo., 2007. Evaluación de la acción de un bioinoculante sobre un cultivo de crisantemo (*Chrysanthemum morifolium* var. Yoko ono) en período de enraizamiento. Bogotá.

Márquez G. Catherine, Piramanrique C. Karen, Carrascal C. Ana Karina, Clavijo D. Bernardo, Quevedo Balkis, 2007. Determinación cuantitativa de proteasas de bacterias psicrotóxicas aisladas de leche cruda. Laboratorio de Microbiología de Alimentos. Departamento de Microbiología, Facultad de Ciencias. Pontificia Universidad Javeriana.

Mateos G. G. y García Jiménez M. Uso de premezclas en fabricación de piensos. Características y composición de las materias primas utilizadas en macrocorrectores. XIV Curso de Especialización. avances en nutrición y alimentación animal.
<http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/98CAPX.pdf>

Mather R. E., Pratt A. D. y Holdaway C. W. Fused tricalcium phosphate as a low-fluorine phosphorus supplement for dairy cattle. Department of Dairy Husbandry, Virginia Agricultural Experiment Station, Blacksburg.
<http://jds.fass.org/cgi/reprint/32/3/228.pdf>

Mcdowell, L.R., 1992. Minerals in animal and human nutrition. Academic Press Inc. San Diego.

Mc Knight, D. 1958 Agr. Chem. Aug, 1958

Miche Lucie, Faure Denis, Blot Michel, Cabanne-Giuli Estelle and Balandreau Jacques., 2001. Detection and activity of insertion sequences in environmental strains of Burkholderia. Environmental Microbiology 3(12), 766-773.

Mitchell, H. H., 1942. The fluorine problem in livestock feeding. Nat. Res. Council Rep. and Gir. Series no. 113.

Molina Eloy y Meléndez Gloria, 2003. Fertilizantes: Características y manejo. CIA, Centro de Investigación agronómica, facultad de ciencias agroalimentarias. Costa Rica.

Mortvedt, J.J y Sikora, F, J, (1992). Heavy metals, radionuclides, and fluorides in phosphorous fertilizer, In; F.J. Sikora, ed *Future directions for agricultural phosphorous research*, pp 69 – 73 .TVA .Bulletin Y – 224. Muscle Shoals , Estados Unidos de América.

Oliveira Cardoso Marinice, Esfrain Pereira Walter, Pereira de Oliveira Ademar, Pereira de Souza Adailson, 2008. Crescimento da berinjela em função de doses de esterco bovino e de termofosfato magnesiano. Sci. agric. (Piracicaba, Braz.) vol.65 no.1 Piracicaba Jan./Feb.

Ortuño Angel V. Introducción a la química industrial.

http://books.google.com.co/books?id=Rkk04SmHTKEC&pg=PA249&lpg=PA249&dq=Fosfato+de+Rena+nia.&source=web&ots=pyFVIN33DW&sig=oblu0Y0z11dF_kb6QpKPj1ObgXo&hl=es&sa=X&oi=book_result&resnum=7&ct=result#PPA2,M1

Otálora Torres Jenny Angélica, Patiño Tovar Lina Fernanda., 2003. Estandarización de prueba para la detección de fosfatasa producida por bacterias solubilizadoras de fosfatos. Bogotá.

Otiniano García Milly, Tuesta CollanteS Lurdes, Robles Castillo Heber, Luján Velázquez Manuela y Chavez Castillo Milciades. Biorremediación de cromo VI de aguas residuales de curtiembres por *Pseudomonas sp* y su efecto sobre el ciclo celular de *Allium cepa*. Rev. Med. Vallejiana. Vol. 4 N° 1. Perú.

Paz del Rio. Manual técnico, abono paz del río grado 0-10-0-48(CaO).

http://www.pazdelrio.com.co/MANUAL_TECNICO_ESCORIAS_THOMAS.pdf

Pérez Guzmán Denia, Gandarilla Julio E., Curbelo Rodríguez Roberto, Caballero Alvarez Ricardo y Rodríguez Abalos Deisi., 2003. Alternativas orgánicas para mantener rendimientos estables en organopónicos. Agroecología. Cuba.

Pérez María Juana, Troung B., Fardeau J. C., 1995. Solubilidad y eficiencia agronómica de algunas rocas fosfóricas venezolanas (naturales y modificadas) mediante el uso de técnicas isotópicas. Venezuela.

Phillips, A.B, 1960, Agr. Food Chem, 8, 310 (July / Aug)

Pulido L. E., Medina N. y Abrera A., 2003 La biofertilización con rizobacterias y hongos micorrízicos arbusculares en la producción de posturas de tomate (*lycopersicon esculentum mill.*) y cebolla (*allium cepa l.*). Cultivos Tropicales, vol. 24, no. 1, p. 15-24.

Rajan, S.S.S y Marwaha, BC. 1993. Use of partially acidulated phosphate rock as phosphate fertilizers, *Fert. Res.*, 35; 47 – 59.

Rajan, S.S.S, 1983. Effect of sulphur contents of phosphate rock / sulphur granules on the availability of phosphate to plants . *Fert . Res.*, 11: 43 – 60.

Reyes de Alvarez Isbelia., 1991. Dinámica del fósforo y aislamiento de algunos microorganismos en la mezcla pulpa de café-roca fosfórica. Rev. Fac. Agron. (Maracay) 17:397-408.

Rodríguez Guerra Yoel, Valdés Valdés Juan Fco., Blanco Rodríguez Leonardo, Morales Chala Sorenia, Villate Gómez Magdiel., 2002. Influencia de los biofertilizantes en parámetros morfológicos del cultivo de *Plecthranthus amboinicus*, L (Orégano francés) en condiciones de vivero. Cuba.

Rodríguez, R. y Herrera, J. 2002 . Field evaluation of partially acidulated phosphate rocks in a ferrasols from Cuba. *Nut. Cyc. Agroecosys.* 63 (1): 43 – 48.

Rodríguez H. Y Fraga R., 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances.* Vol 17, pág 319–339.

Rossi Carla, Martins Dos Anjos Ana Rosa, Sartori de Camargo Monica, Santos Weber Oscarlina Lucia, Imhoff Silvia, Malavolta Eurípedes, 1999. Efeito residual de fertilizantes fosfatados para o arroz: avaliação do fósforo na planta e no solo por diferentes extratores. *sci. agric.* vol.56 n.1 piracicaba.

Rudresh D. L., Shivaprakash M. K., and Prasad R. D., 2005. Tricalcium phosphate solubilizing abilities of *Trichoderma* spp. in relation to P uptake and growth and yield parameters of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Canada. *Can. J. Microbiol.* 51: 217-222.

Santillana Villanueva Nery., 2006. Producción de biofertilizantes utilizando *pseudomonas* sp. Perú.

Sapag Chain Nassir y Sapag Chain Reinaldo. 1997. Preparación y Evaluación de Proyectos. McGraw-Hill, Inc., Chile.

Sauchelli, V. 1970, "Fertilizer Nitrogen. Its Chemistry and Technology ". American Chemical Society Monograph Series, pp: 147: 176.

Savino Maria Julieta. Actividad de sales de amonio cuaternario sobre bacterias alterantes de alimentos y/o patógenas para el hombre. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia, Instituto de Microbiología, Cátedra de Microbiología General.

Scott, W, H and Wilbanks, 1961 "J. A, Agr, Chem, May 1961

Seshadri S., Ignacimuthu S., Lakshminarasimhan C., 2002. Effect of nitrogen and carbon sources on the inorganic phosphate solubilization by different *aspergillus niger* strains. India.

Shekhar Nautiyal Chandra, Mehta Sangeeta, Pushpangadan Palpu., 2002. Composition for qualitative screening of phosphate solubilizing microorganisms and a qualitative method for screening microorganisms, United States Patent.

Siddique, M. , Ghonsikar, C.P y Malewar, G.U. 1986. Studies on the use of Mussoorie rock phosphate in combination with some indigenous solubilizing materials on calcareous soil, *in*: G.V. Kothandaraman, T.S. Manickan y K. Natarajan, eds. *Rock phosphate in agriculture*, pp. 142 – 149, Coimbatore, India, Tamil Nadu Agricultural University.

Solórzano P. Pedro R., 2001. Evaluación de Roca Fosfórica Natural y Compactada en Diversos Sistemas Suelo-planta en Venezuela. Venezuela.

Song Ok-Ryul; Lee SeunG-Jin; Lee Yong-Seok; Lee Sang-Cheol; Kim Keun-Ki; Choi Yong-Lark., 2008. Solubilization of insoluble inorganic phosphate by *Burkholderia Cepacia* Da23 isolated from cultivated soil. Korea.

-
- Stevenson F. J.**, 1967. Organic acids in soil. In: D.A. McLaren y G.H. Peterson, eds. *Soil biochemistry*, pp. 119–146. New York, Estados Unidos de América, Marcel Dekker Inc.
- Swaby, R.J.**, 1975. Biosuper – biological superphosphate. In: K.D. Mc Lachlan, ed. *Sulphur in Australasian agriculture*, pp. 213 -220. Sydney, Australia, Sydney University Press .
- Terrizzano Marcelo.** 1979. El secado de sólidos en la industria química. Editorial Reverte. Argentina.
- UPME**, 2005. "Análisis de la Estructura Productiva y Mercados de la roca fosfórica" .Informe Final, Contrato 1571-08-2005.
- Useche Yerly M., Valencia Hernando, Pérez Hernando.,** 2004. Caracterización de bacterias y hongos solubilizadores de fosfato bajo tres usos de suelo en el sur del trapecio amazónico. *Acta Biológica Colombiana*, Vol. 9 No. 2.
- Uzcátegui L. y Rodríguez N.**, 2007. Evaluación de la roca fosfórica en la alimentación de cerdos en fase de engorde. APPA - ALPA - Cusco, Perú.
- Vargas Marco A.** Fuentes de fósforo en la alimentación bovina. Bolivia. <http://www.cetabol.cotasnet.com.bo/Rzsp/2/marco.pdf>
- Whitela M. A. W, Harden T.J., Helyar K.R.**, 1998. Phosphate solubilisation in solution culture by the soil fungus *Penicillium radicum*. Australia.
- Zapata**, 2003 FAO / IAEA .Research activities on direct application of phosphate rock for sustainable crop production. In S.S.S Rajan y S.H Chien, eds: *Direct application of phosphate rock and related technology: latest development and practical experiences*. Proc. Int. Meeting, Kuala Lumpur, 16 – 20 July 2001, Muscle Shoals, Estados Unidos de América, IFDC, 441 pp.

14. ANEXOS

- Anexo 1. CALCULO DE LA ACIDULACION DE LA ROCA FOSFORICA DEL YACIMIENTO DE MEDIA LUNA.**
- Anexo 2. CALCULO DE LA ACIDULACION DE LA ROCA FOSFORICA DEL YACIMIENTO LA JUANITA.**
- Anexo 3. CALCULO DE LOS INSUMOS REQUERIDOS EN LAS PRUEBAS DE LABORATORIO PARA LA ACIDULACION DE LAS ROCAS FOSFORICAS DE LOS YACIMIENTOS A ESTUDIAR**
- Anexo 4. CALCULO DEL ENSAYO AGRICOLA BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO.**
- Anexo 5. DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO DE LA TECNOLOGIA PROPUESTA.**
- Anexo 6. METODOLOGIA PARA EL CÁLCULO DE LA FACTIBILIDAD ECONOMICA DE INVERSIONES EN PLANTAS QUIMICAS.**
- Anexo 7. ANALISIS DE FSACTIBILIDAD ECONOMICA PROCESO DE ACIDULACION QUIMICA**
- Anexo 8. ANALISIS DE SENSIBILIDAD SOBRE LA INCIDENCIA DEL PRECIO DEL FERTILIZANTE EN EL TIEMPO DE RECUPERACION DE LA INVERSION (TRI)**
- Anexo 9. RESULTADOS DEL CONTENIDO DE P Y MS FOLIAR EN EL CULTIVO DE MAIZ**
- Anexo 10. RESULTADOS DE MASA VERDE (MV) EN EL CULTIVO DE FRIJOL**
- Anexo 11. COMPOSICION QUIMICA DE LAS MUESTRAS PREPARADAS A ESCALA DE LABORATORIO**
- Anexo 12. ANALISIS DE FACTIBILIDAD ECONOMICA PROCESO DE BIOSLUBILIZACION**
- Anexo 13. ANALISIS DE FACTIBILIDAD ECONOMICA DEL PROCESO DE TERMOFOSFATOS**

