

PURIFICACION Y CONCENTRACION DE MINERALES DE FOSFORITA



ÁREA HISTÓRICA
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

HUMBERTO
SOSA
GONZALEZ

I.- INTRODUCCION

La Facultad de Ingeniería en Geología, Minas y Petróleo, a través de su Instituto Superior de Investigaciones ejecutó el proyecto de investigación: "Purificación y concentración de minerales de Fosforita". Esta investigación se justificaba tanto por sus alcances técnicos como es el establecer la calidad de las fosforitas del área del Reventador, para la producción de abonos fosfatados; como sus alcances económicos, al pretender establecer las bases para una posible explotación de un recurso natural, tan requerido en un país eminentemente agrícola, como lo es el Ecuador.

Como objetivos planteados, fueron el hallar la tecnología adecuada para la separación o concentración del $P_2 O_5$, del resto de minerales acompañantes, presentadas en las fosforitas del área del reventador. El estudio enfoca principalmente el análisis de un proceso de flotación, para asegurar una recuperación integral de las fosforitas. Sin embargo en el curso del trabajo se vio conveniente realizar también ensayos de producción de abonos a partir del mineral y de los concentrados obtenidos.

II.- CARACTERISTICAS DEL MINERAL DE FOSFORITA- AREA REVENTADOR

2.1. ASPECTOS GEOLOGICOS

El área del reventador, kilómetro 80, se halla enclavado dentro de las formaciones sedimentarias cretácicas de origen marino. Precisamente en el área afloran las rocas sedimentarias de la formación Napo, miembro superior, cubierta por las rocas de la formación Tena.

En la formación Napo, se presentan las fosforitas en forma de pequeñas concreciones y módulos esféricos o irregularmente redondeados. Según estudios realizados con anterioridad Bur Recherches Geologic y Minier (BRGM) estas fosforitas se encuentran como inclusiones tanto en rocas areno-arcillosas como en rocas carbonatadas, midiendo algunos centímetros de diámetro.

Los estudios geológicos realizados por la BRGM, por encargo del Instituto Nacional Ecuatoriano de Minería (INEMIN) en 1984, permitió establecer la existencia de tres secuencias o niveles mineralizados (A,B y C), con una existencia de 166,5 a 205 millones de toneladas de fosfato. El objetivo económico más interesante constituye la secuencia A, que representa de 83,5 a 105 millones de toneladas con una ley aproximada de 20 a 22% de P_2O_5 .

La secuencia A, puede definirse como un cuerpo estratificado, de potencia variable, entre 5 y 10 m, constituida por una sucesión finamente estatificada, con aspecto laminado, de lutitas arenosas fosfatadas, localmente carbonatadas y con intercalaciones de capas de fosforitas. Se pueden definir tres miembros principales: conjunto inferior (invadido por facies calcarias), conjunto principal (tramo explotable y utilizado en esta investigación) y el conjunto superior de poca importancia.

El estudio se centró fundamentalmente a la secuencia A, en base a muestras cogidas en la galería ubicada en el km 80 vía lago Agrio-Quito. En esta galería se muestreó los paquetes de fosforitas a la entrada, en la "frente" de la galería y también en la pared derecha de 3,4 m de la frente. (Figura 1)

2.2. ASPECTOS MINEROS

A pesar que un estudio minero de explotación para este yacimiento escapa a los objetivos del presente proyecto, las observaciones realizadas en el campo, permiten señalar lo siguiente:

La fosforita se presenta en capas diferentes que varían desde 8 cm hasta 32 cm y su conjunto forma un paquete de 1,62 m. Los análisis químicos sobre P_2O_5 , realizados por separado para cada capa, muestran que todas ellas contienen P_2O_5 , en porcentajes que varían de 0,2% hasta 36%. Estos porcentajes tan variables plantean la necesidad de una extracción seleccionada, sin embargo, el bajo contenido corresponde a capas de lutitas intermedias que en el proceso de extracción sería difícil aislarlas. Por otro lado una vez

FIGURA N° 1
ESQUEMAS DE CAPAS MINERALIZADAS

LUTITAS DEL TECHO		
CAPAS MINERALIZADAS	Lutita de techo con fosforita	32 cm
	Fosforita (A ₂)	21,5 cm
	Lutita	8 cm
	Fosforita (A ₂)	32,4 cm
	Lutita	22 cm
	Fosforita (A ₂)	31,4 cm
	Fosforita con Lutita	10 cm
Lutita del piso		

1.62
cm

establecido el contenido medio del paquete de fosforita se observa que el mismo es de 19-23%, lo cual justifica una explotación de todo el paquete (conjunto de capas), o sea una extracción no seleccionada ("bruta"), la cual sería más económica en costos y de mayor productividad en el proceso de arranque del mineral.

De otro lado, la ubicación de las fosforitas con respecto a la superficie muestra que se halla con una potente cobertura que varía de 50 a 100 m y más, lo cual desde el punto de vista de la selección del método de explotación ya señala la poca posibilidad de emplear el método a cielo abierto que tiene muchas ventajas técnicas y de seguridad sobre el método subterráneo que será el aplicable.

Dentro del método subterráneo, las condiciones geológicas y minero-técnicas del paquete de fosforitas, señalan que para su extracción posiblemente habrá que aplicarse el sistema de extracción por Cámaras y Pilares, sin embargo esta tarea de Selección del Método de Explotación y Sistema de extracción, debe constituir un tema de análisis y estudio más detallado y cuando se conozca mejor las características minero-técnicas del yacimiento y las rocas encajantes.

2.3. CARACTERIZACION DEL MINERAL

2.3.1. Análisis Mineralógico de muestra km 80

En el curso del trabajo se realizaron dos observaciones de láminas delgadas (en diferentes laboratorios), al microscopio con luz polarizada y un estudio semicualitativo con rayos X, en muestras de mena inicial (previa flotación) y pre-concentrado.

En un primer caso se analizaron láminas de tres capas de fosforita: A₂ (F-1), A-3 (F-2) y de una capa intermedia aparentemente de lutita, L-1.

El análisis microscópico de la lámina F-1 muestra que se halla compuesta de calcita, fosforita y sílice. Los granos de fosforita se presentan redondeados y subangulares.

Los granos de fosforita varían de tamaño desde 0.3 a 1 mm.

El cemento está constituido de carbonatos de calcio y algo de sílice con fósiles de globigena.

La roca se considera como una caliza fosfatada.

La lámina F-2, muestra que esta compuesta de calcita-fosforita-sílice. Los granos son redondeados y subangulares. El tamaño de los granos varían de 0.5 a 1 mm. Esta constituido de carbonatos de calcio, sílice filosilificados. La roca se considera una caliza fosfatada. El análisis de la lámina L-1, muestra que se trata de una roca calcárea compuesta en un 95% de carbonatos de calcio de forma redondeada y subangular, estratificada con loda vetillas de material orgánico de color negro, en sectores muestra acumulaciones de fosforitas isotrópicas de color café marrón redondeados de 0.2 a 0.7 mm de tamaño. La roca se considera una caliza negra fosfatada.

A un segundo laboratorio se enviaron una muestra de fosforita (F-2) y otra de lutita. El informe indica lo siguiente:

En la muestra de fosforita (F-2), se observan formas redondeadas de fosforita, acompañadas de buena proporción de foraminíferas calcáreas parcialmente reemplazadas por fosforitas y parches calcáreas angulosos. Como accesorios se presentan cuarzo y opacos, la roca se considera una "biofosforita".

El análisis de la muestra de lutita indica que se trata de una roca de grano medio, textura alotrimórfica granular, constituida de plagioclasas emplevada, octo y clino piroxeno y cuarzo. Como accesorios presenta opacos.

La roca se considera una Dioritacuarcífera o Tonalita

2.3.2. Análisis químico de muestras

En el análisis químico se determinó la pérdida por calcinación a 900°C , el contenido de P_2O_5 (anhidrodo fosfórico), R_2O_5 (óxido de hierro, aluminio, magnesio), CaO (óxido de calcio), SiO_2 (óxido de sílice).

Los resultados obtenidos en los análisis químicos se muestran en la tabla N° 1.

2.3.3. Análisis Granulométrico y químico de fracciones

Introducción.-

El análisis granulométrico asociado a un estudio de molienda es un índice de la dureza del mineral, razón por la cual se ha preferido en dos casos un análisis comparativo, solo chancado y otros 100%-10 mallas. Simultáneamente se realizó un análisis del P_2O_5 de las diferentes fracciones, pudiéndose así conocer su distribución por tamaño, información muy importante para decidir una preconcentración por cribado y para determinar, el verdadero % de P_2O_5 que se pierde en un deslamado o lavado de las arenas.

En las siguientes tablas se encuentran resumidos los datos del análisis granulométrico y químico de las muestras, MEG-1 MEG-2, MEG-1 y MEG-2. (Tabla N° 2)

III.- ESTUDIO DE PURIFICACION Y CONCENTRACION

Con los antecedentes reunidos, en especial en lo referente a la dificultad y bajos rendimientos alcanzados por los técnicos de la BRGM, en estas fosforitas y, con los análisis y observaciones realizados en el transcurso de esta investigación sobre muestreos

TABLA N° 1
ANALISIS QUIMICO DE MUESTRAS DE LA GALERIA

MUESTRA N°	DESCRIPCION DE SITIO DE MUESTRAS	P.C. %	SiO ₂ %	R ₂ O ₃ %	CaO %	P ₂ O ₅ %
CP-1	Lutita con fosforita Superior	23.12	42.48	5.05	22.09	2.90
CP-2	Fosforita, A ₂	10.74	18.37	2.73	36.23	27.57
CP-3	Lutita Intermedia	18.02	44.25	9.04	16.77	9.99
CP-4	Fosforita, A ₂	9.55	16.67	2.78	39.12	26.45
CP-5	Lutita Intermedia	31.00	26.44	3.98	29.74	4.04
CP-6	Fosforita, A ₁	11.29	7.16	3.70	38.07	33.62
CP-7	Lutita con fosforita, piso	33.87	10.37	4.01	43.48	1.74
C.G.	Compuesto general	16.9	19.86	2.91	35.1	22.26
MFG-1	Frente galeria	11.36	18.99	0.96	45.5	22.9
MFG-2	Muestra galeria, pared	21.00	19.44	1.65	43.3	14.0
MEG-1	Lutita del techo, galeria	24.6	33.00	1.5	36.4	4.4
MEG-2	Fosforita (A ₂), galeria	19.2	46.5	3.3	12.9	13.6
MEG-3	Lutita intermedia, galeria	11.2	24.84	2.9	34.92	22.1
MEG-4	Fosforita (A ₂), galeria	8.5	29.65	3.93	32.90	19.6
MEG-5	Lutita, galeria	33.0	29.9	2.4	31.6	0.2
MEG-6	Fosforita (A ₁), galeria		13.9		32.8	23.0
MAF-1	Fosforita, piso, aflor.	5.7			36.4	36.5
MAF-2	Lutita, afloram.	30.2			45.6	1.1
MAF-3	Fosforita techo, afloram.	10.5			34.1	9.7
MAF-4	Lutita con fosforita, afloram.	22.4			28.3	2.3

TABLA N° 2
ANALISIS GRANULOMETRICO Y
QUIMICO DE MUESTRA
MEG-1, Lutita del techo (galerías)

Nº Malla	% en Peso	% Ac Retenido	% P_2O_5
+ 35	77.4	77.4	5.67
+ 65	10.8	88.2	2.80
120	4.4	92.6	0.07
170	2.3	94.9	0.04
200	1.5	96.4	0.09
270	1.3	97.7	0.06
400	0.3	97.9	0.10
- 400	2.1	100.0	4.80

- 100% - 10 mallas
- % P_2O_5 global = 4.4

TABLA N° 3
ANALISIS GRANULOMETRICO Y QUIMICO
Muestra MEG2, fosforita (A_3), galería

Número de malla	a) 100% chancado a-10 mm			b) 100% - 10 mallas		
	% Peso Ret	% P Ac Ret	% P_2O_5	% Peso Ret	% P Ac Ret	% P_2O_5
+ 35	75.6	75.7	13.0	67.8	67.8	9.1
65	11.5	87.2	11.6	15.5	83.3	17.3
120	4.7	92.9	7.9	6.1	89.4	19.9
170	2.1	95.0	9.3	2.8	92.2	14.5
200	1.2	96.2	11.3	1.7	93.9	13.3
270	1.2	97.4	3.1	1.6	95.5	8.6
400	0.4	97.8	3.9	0.6	96.1	9.4
- 400	3.2	101.0	3.2	3.9	100.0	8.7

Para esta muestra el % P_2O_5 global es de 12.3

TABLA Nº 4

**ANALISIS GRANULOMETRICO
Y QUIMICO
(Muestra MEG-1, frente galería)**

Nº Malla	% Peso Ret.	% P.Ac.Ret	% P_2O_5
35	54.4	54.4	28.5
65	21.7	76.1	18.6
120	8.8	84.9	11.6
170	3.7	88.6	10.1
200	2.4	91.0	6.9
270	2.1	93.1	7.8
270	6.8	99.9	10.6

• 100% - 10 mallas

• % P_2O_5 global = 22.9

TABLA Nº 5

**ANALISIS GRANULOMETRICO Y QUIMICO
(Muestra MFG-2, Pared Galería)**

Nº de malla	100% Chancado a - 10 mm			10% - 10 mallas		
	% Peso Ret	% P. Ac. Ret.	% P_2O_5	% Peso Ret	% P.Ac. Ret.	% P_2O_5
+ 35	83.9	83.9	23.1	67.0	67.0	11.4
65	7.3	91.2	23.4	16.3	83.3	12.5
120	4.5	95.7	8.9	6.7	90.0	12.4
170	1.1	96.8	14.5	4.1	94.1	19.9
200	0.9	97.7	14.8	1.6	95.7	13.7
270	0.8	98.5	10.1	0.9	96.6	11.0
400	0.3	98.8	10.9	0.6	97.2	11.1
- 400	1.1	99.9	19.7	3.7	100.0	

• % P_2O_5 global = 22.1

realizados en la galería, que indican que luego de una voladura es posible realizar una fácil selección manual o por cribado de las fosforitas, se decide realizar un estudio de concentración por flotación, del compuesto general obtenido en esta galería.

Para fijar el grado de molienda del mineral a flotar se efectuó un estudio de molienda -flotación bulk, variando solo el tiempo de comunicación (10,30 y 40 min.) Las otras condiciones de flotación fueron las siguientes: 35% en peso de sólidos en la pulpa, 1,5 (g/kg) de flotador FS-2 (reactivo de Hoetchst-Eteco), 1,0 (g/kg) de silicato de sodio, (uso industrial), 0,7 (g/kg) de flotol B, 0,42 (g/kg) de NaOH y un pH de 9.1-9.4 en la flotación de 9.1 a 9.3 en la refluotación, 3,8 minutos de acondicionamiento y 5-7 minutos de tiempo de flotación.

El resultado de esta primera serie de experiencias indica que con 40 minutos de molienda, la separación de las especies mineralógicas favorece la flotación, así los porcentajes de P_2O_5 , CaO y SiO_2 obtenidos en este relave, son 8.81, 15.96 y 33.69, respectivamente.

Con toda esta información obtenida más otras experiencias efectuadas para estudio de la calidad de espuma y cantidades solo cualitativamente se programaron cinco experiencias: Exp. 13 (flotación de calcita y depresión de sílice) Exp. 14 (flotación de sílice y depresión de calcita), Exp. 15 (flotación de calcita-apatita y depresión de sílice), Exp. 16 (flotación de sílice-apatita y depresión de calcita) y Exp. 17 (repetición de la anterior reforzando la flotación de sílice). Las condiciones de operación se encuentran en la tabla N° 6.

TABLA N° 6

Condiciones de Flotación	Exp.13	Exp.14	Exp. 15	Exp. 16	Exp. 17
% sólidos	38	38	38	38	50
Flotigam	---	---	---	---	0.82

A continuación, se expresan los resultados obtenidos en las cinco experiencias, antes mencionadas.

TABLA N° 7

RESULTADOS DE LA FLOTACION DIFERENCIAL

Nº Ensayo					
FAnálisis	13	14	15	16	17
Conc. 1, P ₂ O ₅	20.91	18.97	16.91	24.49	24.44
Conc. 2, P ₂ O ₅	17.10	13.32	24.40	20.10	17.67
Relave, P ₂ O ₅	24.36	23.00	27.51	14.67	17.25
Conc. 1, CaO	30.97	29.12	30.24	27.33	24.83
Conc. 2, CaO	29.05	23.87	29.29	26.15	25.53
Relave, CaO	30.88	31.40	28.47	30.30	25.75
Conc. 1, SiO ₂	16.26	24.92	21.72	30.33	28.23
Conc. 2, SiO ₂	23.24	29.08	22.01	29.95	20.68
Relave, SiO ₂	19.94	16.48	29.29	20.23	18.10
Recuperación de P ₂ O ₅ (%)	31.5	65.5	38.3	82.0	81.3
Tiempo Total Flotación (min)	9.5	12.0	8.5	6.5	10.0

Por lo general en una primera flotación se busca una alta recuperación, más que una ley, que es precisamente lo que se va logrando con las flotaciones de repaso. Por esto los subsiguientes ensayos se encaminaron a precisar la dosificación de reactivos y las condiciones de las etapas de flotación.

Además, como también se realizaron ensayos de lixiviación ácida de estos pre-concentrados, a objeto de producir abonos, se han logrado a estas flotaciones otras adicionales, en las mismas condiciones de la Exp. N° 16, para obtener suficiente cantidad de concentrado (alrededor de 2.000 gr. por prueba) para experiencias.

Este es el caso de la Exp. 18, donde se obtiene un concentrado con una ley $P_2 O_5$ de 25, 59% con solo 20,5% de CaO.

Así las siguientes pruebas buscan mejorar tanto la ley en $P_2 O_5$ de los concentrados, como el disminuir las pérdidas de fosforita. En la tabla N° 8 se resumen las condiciones de operación y los resultados obtenidos. (Tabla N° 8)

Estas experiencias se realizaron con los equipos de molienda y flotación adquiridos con los recursos del proyecto, y por ello en las pruebas 19 y 20 se obtienen resultados un tanto confusos que luego fueron rectificadas operando con una mejor velocidad (sobre los 1400 RPM).

OTROS ENSAYOS DE PURIFICACION

DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

A más de las pruebas de concentración por flotación se realizan dos ensayos de deslamado con pesos de 2.000 y 1.200 g. respectivamente y 100% - 10 mallas. Los resultados se exponen en la Tabla N° 9.

IV.- LIXIVIACION ACIDA DE FOSFORITAS

Pese a que esta parte de la investigación no estaba en los objetivos iniciales del proyecto, se creyó conveniente realizarlo a fin de alcanzar las siguientes metas:

- Analizar la respuesta de muestras de fosforitas de la zona del Reventador (km 80), en su transformación como fertilizante.
- Convertir el fosfato tricálcico del fluorapatito, (componente mineral

TABLA N° 8

**DIFERENTES CONDICIONES DE REFLOTACION
Y RESULTADOS**

Condiciones de reflotación	Exp. 19	Exp. 20	Exp. 21	Exp. 22	Exp. 23
Reflotación de	R-17	R-18	R-7	R-12	C-14
% sólidos, pulpa		60.0	50.0	50.0	50.0
Flotol B (g/kg)	0.6	0.6	0.55	0.8	0.8
Acido Oleico (g/kg)	0.4	0.4	0.4	0.45	0.45
Quebracho (g/kg)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
NaOH (g/kg)	0.4	0.42	0.42	0.42	indeter- minado
Silicato de sodio (g/kg)	—	—	—	—	2.0
pH flotación	9.5	9.0	9.1	9.0	9.0
tp acondicionamiento (min)	21	10	18	18	12
tp flotación (min)	10	17	20	20	10
Conc. % P_2O_5	17.53	19.30	16.97	16.83	14.16%
Rel. P_2O_5	13.86	18.46	20.76	17.67	1.40%
Conc. % CaO	22.69	23.41	22.64	23.79	21.0%
Rel % CaO_2	21.91	21.26	23.70	22.82	21.4%
Conc. % SiO_2	21.44	19.84	21.12	26.43	22.24
Rel % SiO_2	21.82	20.25	20.62	25.00	21.22
Recuperación % P_2Q	—	48.5	69.0	78.6	94.13



ÁREA HISTÓRICA
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

TABLA N° 9

**CONDICIONES DE FLOTACION CON
DESLAMADO PREVIO Y RESULTADOS**

Condición experimental y resultados	Exp. N° 1	Exp. N° 2	
Flotigam ITV (g/kg)	0.82	0.82	
Flotol 1638	0.74	0.79	
Depresante calcita (g/kg)	0.20	0.20	
NaOH (g/kg)	0.42	0.42	
pH flotación	9.7	9.6	
pH flotación reposo	9.4	9.0	
Tiempo acondición	12 y 5	12 y 6	
Tiempo flotación	5.5 y 4	7 y 5	
Muestra:	P ₂ O ₅ (%)	CaO (%)	SiO ₂ (%)
C2 - 1	14.48	17.41	22.76
C2 - 2	17.88	14.94	29.20
R2	14.52	35.26	19.26
C1 - 1	18.04	14.69	25.01
C1 - 1	8.62	10.09	27.60
R1	19.51	20.74	16.60
Lamas 1	17.11	18.77	22.65
Lamas 2	12.07	10.29	26.52

de las fosforitas y de naturaleza insoluble) en formas solubles y asimilables, para los vegetales, por el método de lixiviación ácida.

- Determinar experimentalmente el fósforo efectivo (asimilable) en el producto final mediante pruebas de solubilidad en agua y en solución neutra de citrato de amonio.

4.1. CONDICIONES EXPERIMENTALES

Se efectuaron cinco pruebas de lixiviación ácida, bajo las condiciones que se indican a continuación:

Prueba Nº 1	Mineral	% P ₂ O ₅	Acidulación
1	Sin concentrar	17.32	sulfúrico
2	Sin concentrar	17.32	sulfúrico
3	Pre concentrado	24.2	sulfúrico
4	Pre concentrado	23.5	sulfúrico
5	Sin concentrar	17.32	Cítrica

4.1.1. Acidulación sulfúrica

Se efectuaron cuatro ensayos, cuyas condiciones experimentales constantes fueron:

- Cantidad del mineral: 2.000 g.
- Granulometría: 80% mallas
- Tiempo de mezclado: 5 minutos

En estos ensayos se utilizó al reactor construido en la Facultad.

Las condiciones de cada experiencia se anota en la Tabla siguiente:

ÁREA HISTÓRICA
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

TABLA Nº 10

Prueba Nº	Tiempo Max. de reacción (°C)	Acido/Roca (g H ₂ SO ₄ 100%Kg)	Concentración Acido (%)
1	79	533	60
2	78	533	65
3	102	600	60
4	102	600	65

En la sección de estas condiciones experimentales se trató de buscar una semejanza con los procesos industriales conocidos.

RESULTADOS DE LA ACIDULACION

El resultado de la transformación se mide por la solubilidad del fósforo y el fósforo efectivo. La determinación del fósforo efectivo corresponde a la suma de las determinaciones de fósforo soluble en agua más el fósforo soluble en solución neutra de citrato de amonio. Los análisis de la A.O.A.C. (Asociación Oficial de Químicos Agrícolas).

En las tablas siguientes se tabulan los resultados obtenidos en las pruebas de acidulación sulfúrica. (Tabla N° 11), (Tabla N° 12) (Tabla N° 13), (Tabla N° 14)

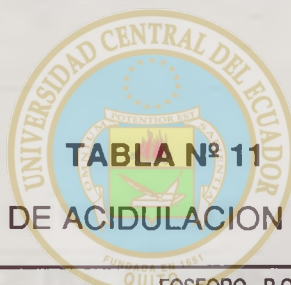


TABLA N° 11

RESULTADOS DE ACIDULACION SULFURICA N° 1

TIEMPO	FOSFORO - P_2O_5							
	TOTAL		Hidrosoluble		Citrosoluble		Efectivo	
	%	/100	%	/100	%	/100	%	/100
0 min.	17.3	100	—	—	—	—	—	—
6 min.	9.2	100	5.6	62.8	—	—	—	—
20 min.	9.3	100	7.2	77.4	0.5	6.5	7.7	83.9
35 min.	9.4	100	6.2	65.9	1.3	13.5	7.5	79.4
90 min.	9.5	100	7.0	73.9	0.9	9.3	7.9	83.2
20 hrs.	10.0	100	7.5	74.9	0.9	9.1	8.4	84.0
7 días	10.6	100	8.0	75.5	0.8	7.5	8.8	83.0
21 días	10.9	100	8.0	77.2	0.7	6.3	9.1	85.5

TABLA Nº 12

RESULTADO ACIDULACION SULFURICA Nº 2

Tiempo	FOSFORO - P_2O_5							
	TOTAL		Hidrosoluble		Citrosoluble		Efectivo	
	%	/100	%	/100	%	/100	%	/100
0 min.	17.3	100	—	—	—	—	—	—
8 días	12.6	100	—	—	—	—	9.2	73.0
9 días	12.6	100	4.6	36.6	5.4	42.7	10.0	79.3
27 días	12.9	100	8.0	82.0	2.7	20.9	10.7	82.9



TABLA Nº 13

RESULTADOS ACIDULACION SULFURICA Nº3

Tiempo	FOSFORO - P_2O_5							
	TOTAL		Hidrosoluble		Citrosoluble		Efectivo	
	%	/100	%	/100	%	/100	%	/100
0	21.2	100	—	—	—	—	—	—
6	5.0	100	3.6	71.6	0.2	4.4	3.8	76.0
20	8.2	100	5.6	68.5	1.1	12.9	6.7	81.4
40	8.6	100	6.5	75.6	1.0	11.8	7.5	87.2
2 hrs.	9.2	100	7.0	75.7	1.2	13.4	8.2	89.1
3 días	12.1	100	9.0	74.3	2.2	18.5	11.2	92.8
7 días	12.4	100	9.5	76.9	1.8	14.2	11.3	91.1
21 días	14.2	100	11.4	80.3	2.1	14.8	13.5	95.1

4.1.2. Acidulación cítrica

Se realizó un solo ensayo, cuyas condiciones experimentales fueron las siguientes:

- Cantidad de mineral: 58 g.
- Granulometría: 30%-100 mallas
- Concentración: 17,37% P_2O_5
- R: g H_3 ($C_6 H_5 O_7$) kg mineral: 860
- Concentración del ácido: 40%
- Temperatura de reacción: 60% C

FOSFORO - P_2O_5							
Tiempo	TOTAL		Hidrosoluble		Citrosoluble		Efectivo
	%	/100	%	/100	%	/100	% 100
0 Min.	17,3	100	---	---	---	---	---
24 hrs.	8,7	100	0,4	4,6	2,9	33,3	3,3 37,9

V.- ANALISIS DE RESULTADOS

Los análisis de las muestras tomadas en la galería del Km 80 vía Lago-Agrio-Quito y en los afloramientos ubicados al borde del Río Dué, confirmaron la calidad de este material, tanto por su alta ley en $P_2 O_5$ (alrededor del 20%). Como por su facilidad de acceso (no más de 200 m de la carretera).

Lo anterior, las características mineralógicas y la magnitud de las reservas tornan a esta parte del yacimiento, como muy atractiva para el comienzo de una explotación y beneficio permanentes.

Los ensayos granulométricos, análisis químico por mallas y las observaciones realizadas en la galería luego de efectuar una voladura, semejando un frente de explotación, señalan que en un primer momento se puede y conviene realizar una separación

manual (o por cribado mecánico) de las rocas ricas en fosforitas. Esto da un primer concentrado con una ley de 30 a 32% de P_2O_5 .

En la concentración del mineral por flotación, el control del pH y acondicionamiento de los reactivos previo a la flotación son factores muy importantes para la obtención de buenos resultados.

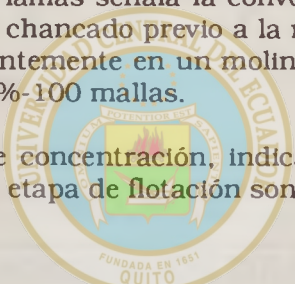
Las experiencias efectuadas en la investigación, señalan que en solo una etapa de flotación es prácticamente imposible alcanzar recuperaciones aceptables y leyes convenientes. De otro lado, el intento de flotar primeramente un bulk de apatita-calcita, deprimiendo a la sílice, da deficientes resultados.

En cambio, sí es más aconsejable lo inverso, es decir, flotar un bulk apatita-sílice, deprimiendo a la calcita, para luego en una segunda etapa separar la apatita de la sílice.

El estudio de las lamas señala la conveniencia de efectuar un deslamado después del chancado previo a la molienda. Esta a su vez debe efectuarse preferentemente en un molino de rodillos hasta una granulimetría de un 80%-100 mallas.

Los resultados de concentración, indican que las condiciones más óptimas para cada etapa de flotación son las siguientes:

Flotación bulk de apatita-sílice



Flotol B:	0.8 (g/kg)
Amin Hoef 3326:	1.0 (g/kg)
Flotinor FS-2: o ácido oléico	0.6 (g/kg)
Depresante de: Calcita (Quebrada)	0.2-0.3 (g/kg)
NaOH:	0.42 (g/kg)
pH flotación	9.2-9.4
Tiempo de acondicionamiento:	10-12 min.
pH segunda flotación:	8.8 a 9.2
Densidad de pulpa:	40 a 50%

Flotación de apatita (separación de sílice)

Lavado previo con ácido sulfúrico:	2N, 10%
Flotol:	0.8 (g/kg)
Acido Oléico:	0.4-0.6 (g/kg)
Quebracho:	0.3 (g/kg)
Silicato de sodio:	2.0 (g/kg)
NaOH:	0.6 (g/kg)
pH flotación:	9.0
Tiempo de acondicionamiento:	12-14 mín.
densidad de pulpa:	50%

Flotación de repaso

Aquí se repiten las condiciones de la flotación bulk aplicada a las primeras colas.

Así se alcanzan recuperación del orden de un 85% y leyes finales de 30% en P_2O_5 con bajos contenidos de calcita y sílice y, $R_2O_4/P_2O_5 < 0.1$.

En relación a los ensayos de lixiviación ácida de las fosforitas se puede indicar, lo siguiente:

- La reactividad de la muestra mineral es muy buena, considerándose que a los 45 minutos el producto está en condiciones de ser descargado del reactor por la apariencia sólida y consistente que mostró en todas las pruebas para este tiempo.
- Una relación de 600 gr. H_2SO_4 , 400% por un kg. de mineral apareció estar más cerca de la proporción correcta. Proporciones menores dieron origen a menor rendimiento de la conversión.
- El incremento de la temperatura de reacción provocó una emanación más intensa de gases en los primeros minutos de la reacción debido a la aceleración de la velocidad de reacción.
- Para una concentración de ácido del 65%, el producto mostró una apariencia porosa. Para concentración del 60%, el producto se mostró más compacto, lo cual perjudica al posterior desenvolvimiento de las reacciones.

- Luego de descargar el producto, las reacciones químicas progresaron muy lentamente, de forma que hubo pequeña variación en la conversión, hasta los 21 días. Resultaría conveniente examinar las condiciones de almacenamiento.
- La solubilidad de fósforo en el producto, luego del tratamiento con ácido cítrico, resultó ser muy baja (37,9% como fósforo eficiente, en su mayor parte citrato soluble).
- El fósforo efectivo llega a valores de 90 a 95%, lo cual está dentro de las normas exigidas a estos fosfatos.

VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El yacimiento de fosforita del área del Reventador, más específicamente la secuencia A (km 80 vía Lago Agrio-Quito), tiene una ley elevada en fósforo (20-22% P_2O_5) y con una mineralización que posibilita la concentración por flotación.
- Por otro lado las fosforitas del área, tanto por sus reservas, como por las condiciones geológico mineras, ubicación geográfica, infraestructura existentes, presenta magnificas condiciones para poder convertirse en un yacimiento industrial que puede perfectamente abastecer el mercado nacional con materia prima para la industria de abonos fosfatados, indispensables para el desarrollo de la agricultura.
- Los estudios realizados en el curso de esta investigación sugieren se emplee el siguiente proceso de purificación y concentración.

TABLA N° 14

RESULTADOS ACIDULACION SULFURICA N° 4

TIEMPO	FOSFORO - P_2O_5							
	TOTAL		Hidrosoluble		Citrosoluble		Efectivo	
	%	/100	%	/100	%	/100	%	/100
0 min.	18.3	100	---	---	---	---	---	---
21 días	12.9	100	11.4	88.4	0.7	5.4	12.1	93.8

ESQUEMA DEL PROCESO DE BENEFICIO DEL MINERAL DE FOSFORITA

