

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



ACREDITADA POR RES. CEUB 1126/02

**TRABAJO DIRIGIDO
ELABORACIÓN DE AZUFRE HUMECTABLE PARA USO
AGRÍCOLA, EN LA COOPERATIVA “UNIÓN PROGRESO”,
POTOSÍ - BOLIVIA**

**Postulante: Valerio Flores Lequilgua
Asesor: Lic. M. Sc. Edgar García Cárdenas**

LA PAZ – BOLIVIA

2014

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**ELABORACIÓN DE AZUFRE HUMECTABLE PARA USO
AGRÍCOLA, EN LA COOPERATIVA “UNIÓN PROGRESO”,
POTOSÍ - BOLIVIA**

**Trabajo Dirigido presentado como requisito
parcial para optar el Título de
Ingeniero Agrónomo**

Asesor:

Lic. Ms. Sc. Edgar García Cárdenas

Revisores:

Ing. M. Sc. Wilfredo Peñafiel Rodriguez

Ing. M. Sc. Rubén Jacobo Trigo Riveros

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador

LA PAZ – BOLIVIA

2014

Agradecimiento

Son muchas las personas a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, y por todo lo que me han brindado.

Fraternal agradecimiento a mis compañeros de trabajo los Socios de Cooperativa Minera Agrícola "Unión Progreso" Ltda., a mis padres que están junto a Dios, a mis hijos Ronald, Fátima y David, y muy especialmente a mi esposa la Profa. Cándida Natalia Lériada Aguirre, que ha sido, es y será el pilar de mi vida.

Valerio Flores Lequilgua

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del Problema	2
1.2 Justificación	3
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo General	5
1.3.2 Objetivos Específicos	5
1.4 Metas	6
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1 Contexto Normativo	7
2.1.1 Constitución Política del Estado	7
2.1.2 Código de Minería	8
2.1.3 Plan Nacional de Desarrollo	9
2.2 Marco Conceptual	10
2.2.1 Reseña Histórica del Azufre	10
2.2.1.1 El Azufre y su Importancia	11
2.2.1.2 Propiedades del Azufre	13
2.2.1.3 Usos y Almacenamiento del Azufre	15
2.2.1.4 Ciclo del Azufre	17
2.2.1.5 Funciones del Azufre	18
2.2.2 Azufre Elemental	19
2.2.2.1 La molécula S ₈	23
2.2.2.2 La Fase Cristalina α-S ₈	24
2.2.3 Azufre Humectable	25
2.2.3.1 Fitotoxicidad:	25
2.2.3.2 Compatibilidad	25
2.2.3.4 Identidad Química	26
2.2.3.5 Usos	27
2.2.3.6 Acción Fungitóxica del Azufre	28
2.2.3.7 El Azufre como Insecticida – Acaricida	34
2.2.4 Tendencias en la Utilización de Fertilizantes	35

2.2.4.1	Evaluación Agronómica de Fertilizantes Azufrados.....	36
2.2.4.2	Formas y Momentos de Aplicación de Azufre en la Rotación Agrícola	39
3.	DESCRIPCIÓN Y METODOLOGÍA.....	42
3.1	Materiales y Métodos.....	42
3.1.1	Localización y Ubicación	42
3.1.2	Características del Lugar	43
3.1.3	Características de la Empresa	46
3.1.3.1	Inicios de la Cooperativa	48
3.1.3.2	Diversificación de sus Actividades.....	49
3.1.3.3	Situación Actual.....	50
3.1.4	Metodología General.....	51
3.1.4.1	Tipo de Estudio.....	51
3.1.4.2	Diseño.	52
3.1.4.3	Métodos.....	52
3.1.5	Metodología Específica	52
3.1.5.1	Población y Muestra	52
3.1.5.2	Instrumentos.....	53
3.2	Plan y Estrategias de Implementación.....	53
4.	RESULTADOS.....	54
4.1	Resultados de la Entrevista a Ejecutivos de la Cooperativa “Unión Progreso” Ltda.....	54
4.1.1	En qué Productos está Concentrado la Producción de Azufre de la Cooperativa Unión Progreso	54
4.1.2	Principales Mercados del Azufre Producido por la Cooperativa Unión Progreso.....	55
4.1.3	Evolución de la Demanda de Azufre por parte de la Industria Boliviana en los Últimos 5 años	56
4.1.4	Evolución de la Demanda de Azufre Humectable en el Sector de la Agricultura Boliviana en los Últimos 5 años.....	57

4.1.5	La Cooperativa Unión Progreso prevé Diversificar su Producción de Azufre en los Próximos Años	58
4.1.6	La Elaboración de Azufre Humectable sería una Alternativa Viable para Diversificar la Producción de la Cooperativa Unión Progreso	59
4.1.7	La Región cuenta con Materia Prima Suficiente para la Producción de Azufre Humectable	60
4.1.8	En la Cooperativa Unión Progreso, se cuenta con Equipos y Maquinaria Necesaria para la Elaboración de Azufre Humectable	61
4.1.9	En la Cooperativa Unión Progreso, se cuenta con Recursos Humanos Calificados y Suficientes para Empezar la Producción de Azufre Humectable	62
4.1.10	Beneficios que trae la Producción de Azufre Humectable.....	63
5.	PROPUESTA.....	64
5.1	Minería	67
5.1.1	Descripción del Método de Explotación	67
5.1.2	Preparación	68
5.1.3	Manejo de Mineral.....	68
5.1.4	Perforación Voladura.....	68
5.1.5	Equipo y Maquinaria.....	69
5.1.6	Seguridad Industrial Minera.....	69
5.1.7	Movimiento de Cargas Diarias como Anuales.....	70
5.1.8	Requerimiento de Personal	71
5.1.9	Costo de Operación Mina.....	71
5.2	Metalurgia	72
5.2.1	Capacidad de la Planta	73
5.2.3	Sección Trituración.....	75
5.2.4	Refinación de Caliche	75
5.2.6	Concentración de Ripios por Flotación.....	77
5.2.7	Consumo de Reactivos	78
5.2.8	Consumo de Agua (Abastecimiento, Cantidad y Calidad).....	78
5.2.9	Consumo de Vapor de Agua	79
5.2.10	Consumo de Energía (Fuente de Abastecimiento).....	79

5.2.11 Recuperaciones	79
5.3 Costos de Operación Planta	80
5.3.1 Acumulación de Colas.....	81
5.3.2 Área Disponible	81
5.3.3 Tipo de Dique	81
5.2.5 Molino micronizado de Azufre	82
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
6.1 Conclusiones	90
6.2 Recomendaciones	91
7. BIBLIOGRAFÍA	93
ANEXOS	

1. INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo Dirigido responde a la necesidad de impulsar el desarrollo del sector minero industrial de minerales no metálicos y ampliar la propuesta de fungicidas en el mercado, a través de la transformación de azufre elemental en azufre humectable, aplicable en la Cooperativa “Unión Progreso” Ltda, del departamento de Potosí, única empresa que en Bolivia se dedica a la producción de azufre de origen volcánico, cuyo uso tiene gran utilidad en la agricultura, dadas sus cualidades fungicidas e insecticidas.

El trabajo surge a raíz de que la industrialización de los recursos naturales no metálicos en especial y que significan el apoyo al desarrollo de los otros sectores industriales, no ha tenido el apoyo por parte del Estado ni del sector privado para conformar e instalar un complejo de Química Básica. Excepto el intento de la fábrica de ácido sulfúrico en Eucaliptos (Oruro), no ha existido otro proyecto destinado a la explotación e industrialización de los recursos minerales no metálicos.

Bolivia cuenta con abundantes recursos minerales no metálicos, tal es el caso del azufre, cuyos yacimientos se encuentran localizados en la zona limítrofe del departamento de Potosí con la República de Chile, donde la Cooperativa “Unión Progreso” Ltda, viene produciendo azufre elemental durante más de 50 años; sin embargo, es necesario pasar de la actividad extractiva a la transformación, agregando valor a los productos. Una de las alternativas para este propósito es la transformación de azufre elemental en azufre humectable.

1.1 Planteamiento del Problema

Bolivia se ha caracterizado como un país eminentemente minero, que ha basado toda su economía en la explotación de los minerales como la plata, el estaño, zinc y el oro. En las últimas décadas, se ha promovido la producción y exportación de productos no tradicionales como la soya y la castaña, además del gas natural, que han contribuido al crecimiento económico del país; sin embargo, Bolivia posee una importante riqueza minera aún no aprovechada, o muy poco explorada y explotada, siendo uno de estos recursos los minerales no metálicos como el azufre, que pueden ser aprovechados de forma beneficiosa en la agricultura.

En efecto, las actividades tradicionales de industrialización de productos de origen agropecuario, los textiles, la madera y derivados constituyen las principales actividades industriales con instalaciones de limitado y bajo nivel tecnológico. “La industria de química básica con productos e insumos para apoyar la producción industrial, junto a la investigación y la transferencia tecnológica han sido los grandes ausentes en el desarrollo industrial boliviano” (Grossman, 2007). Una muestra de ello, es la ausencia de industrias de elaboración de azufre humectable, producto con gran demanda en la actividad agrícola nacional por las diversas aplicaciones que tiene como fungicida e insecticida.

Se debe concebir al desarrollo industrial como la suma y el encadenamiento entre las industrias, unas que fabrican insumos para las otras; pero si estos insumos no son producidos en el país, tienen que ser importados con la consecuencia negativa del uso de divisas en la compra de estos insumos que incrementan los costos de producción por los altos inventarios que las empresas necesitan mantener, sin ignorar, por otra parte, las complicadas gestiones para su importación por estar estos productos considerados como sustancias controladas y que requieren de una licencia especial del gobierno para su importación.

La Cooperativa “Unión Progreso” Ltda., es una de las empresas que en la actualidad viene produciendo azufre en la localidad de San Pablo de Napa, provincia Daniel Campos, Departamento de Potosí; sin embargo, es necesario que la empresa deba diversificar y mejorar su producción. Si bien en la actualidad la Cooperativa produce azufre molido para la agricultura, resulta conveniente la producción de azufre humectable por su menor fitotóxicidad en comparación con los azufres en polvo.

1.2 Justificación

El presente trabajo responde a la necesidad de apoyar al desarrollo del sector de la minería de minerales no metálicos, considerando que la transformación de la base tecnológica del sector industrial, sumada a la selección de los productos industriales en los que el país tiene ventajas competitivas, son los requisitos para un avance en la industrialización de Bolivia.

Entre los recursos naturales no metálicos llamados a crear la industria básica está el azufre, mineral que se encuentra en la cordillera occidental de Bolivia, particularmente en el departamento de Potosí, línea fronteriza con la República de Chile. En toda esta cordillera existen depósitos de azufre asociados a la acción de fumarolas y solfataras relacionadas con la actividad volcánica. Normalmente la expulsión de gases volcánicos deposita por sublimación azufre nativo cerca de la superficie y las azufreras se forman a profundidades no mayores de 30 a 50 metros. Estos depósitos son muy inestables y se mantienen solamente en regiones de clima frío y seco (Zrazhevskyi, s/f).

El azufre es uno de los recursos naturales más abundantes que se halla muy difundido en la naturaleza y constituye el 0,03% de la corteza terrestre (Katz, 2011). El azufre inorgánico o el azufre elemental es sin duda el más antiguo de los pesticidas, cuyas propiedades para prevenir pestes en los cultivos fueron conocidas por los antiguos griegos 1000 años antes de Cristo.

Aunque en los países de tecnología agrícola avanzada, el mercado de pesticidas está dominado por compuestos orgánicos, las sustancias inorgánicas todavía tienen muchas aplicaciones. El azufre en polvo es especialmente tóxico para los ácaros de todas clases, tales como el ácaro rojo y demás arañitas e insectos escamas recién salidos del huevo. Los espolvoreos y las aspersiones con azufre también son fungicidas (Kohn, 1984). Sin embargo, los azufres humectables, resultan los menos fitotóxicos que los polisulfuros, por lo que causan menor daño al follaje; resultan eficientes en el control de enfermedades como protectores. Esta eficiencia se debe en gran parte al tamaño de sus partículas que aumenta el área fungicida y por lo tanto la concentración de vapor de azufre; su adherencia es mayor comparada con las partículas grandes. El tamaño de partícula es alrededor de 10μ y llevan en su formulación un agente humectable.

Sin embargo, como se ha señalado, lamentablemente en Bolivia no existen industrias productoras de azufre humectable que puedan abastecer la demanda del mercado agrícola nacional, por lo que este producto debe ser importado desde el exterior. La Cooperativa “Unión Progreso” Ltda., es una de las empresas que en la actualidad viene produciendo azufre en la localidad de San Pablo de Napa, provincia Daniel Campos, Departamento de Potosí; se constituye en la única empresa que produce azufre de origen volcánico en Bolivia. La Cooperativa en su afán de ampliar la oferta de productos de azufre, a partir de la década del 90’ del siglo pasado, produce azufre molido destinado a la agropecuaria, producto de gran aceptación en la industria nacional (Ayaviri, 2011).

No obstante, es necesario que la empresa busque alternativas para diversificar sus productos, añadiendo valor agregado a los mismos. Una de estas alternativas es la elaboración de azufre humectable, que tiene importante demanda en el país, sobre todo en la actividad agrícola, dadas sus aplicaciones como fungicida o insecticida. Por ello es que el presente trabajo de investigación propone la elaboración de azufre humectable para uso agrícola en la Cooperativa “Unión Progreso”, como contribución al crecimiento de la empresa y al desarrollo de la industria de minerales no metálicos del país, cuyos efectos se traducirán en:

- Consolidación y solvencia de la empresa como líder del mercado nacional de azufre.
- Generación de nuevas y más fuentes de trabajo para las zonas de influencia, particularmente para la población de San Pablo de Napa.
- Mayores ingresos y utilidades para la empresa, por tanto, mejores condiciones de vida para sus trabajadores.
- Mayores posibilidades para apoyar a las comunidades vecinas en cuanto a servicios básicos e infraestructura: apertura y mantenimiento de carreteras, provisión de agua potable, energía eléctrica y otros; por tanto, mayor desarrollo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Identificar las ventajas de la elaboración de azufre humectable para uso agrícola, en la Cooperativa “Unión Progreso”, Potosí – Bolivia.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estimar la demanda de azufre humectable en el sector agrícola boliviano.
- Conocer la percepción de los ejecutivos de la Cooperativa “Unión Progreso” Ltda., sobre la posibilidad de elaborar azufre humectable.
- Identificar las materias primas e insumos necesarios para la elaboración de azufre humectable.
- Diseñar el proceso de transformación de azufre elemental en azufre humectable.
- Describir la maquinaria y equipos necesarios para la elaboración de azufre humectable.
- Definir los mecanismos de control y seguimiento en la elaboración de azufre humectable.

1.4 Metas

Las metas que se alcanzaron al finalizar el trabajo de investigación son las siguientes:

- Ejecución de las actividades conforme al cronograma de trabajo
- Asentimiento de los ejecutivos de la Cooperativa “Unión Progreso” para la elaboración de azufre humectable
- Documento con el diseño del proceso de elaboración de azufre humectable
- Muestra de azufre humectable elaborado.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Contexto Normativo

La ejecución del presente Trabajo Dirigido, se encuentra enmarcado dentro de las siguientes normas legales vigentes en el Estado Plurinacional de Bolivia:

2.1.1 Constitución Política del Estado

La norma fundamental del Estado (Constitución Política del Estado, 2009), constituye el marco general del desarrollo del sector minero en el país. Dentro de las disposiciones relativas al tema de estudio, se destacan:

Art. 348. I.- Son recursos naturales los minerales en todos sus estados, los hidrocarburos, el agua, el aire, el suelo y el subsuelo, los bosques, la biodiversidad, el espectro electromagnético y todos aquellos elementos y fuerzas físicas susceptibles de aprovechamiento.

II. Los recursos naturales son de carácter estratégico y de interés público para el desarrollo del país.

Artículo 369. I. El Estado será responsable de las riquezas mineralógicas que se encuentren en el suelo y subsuelo cualquiera sea su origen y su aplicación será regulada por la ley. Se reconoce como actores productivos a la industria minera estatal, industria minera privada y sociedades cooperativas.

II. Los recursos naturales no metálicos existentes en los salares, salmueras, evaporíticos, azufres y otros, son de carácter estratégico para el país.

III. Será responsabilidad del Estado la dirección de la política minera y metalúrgica, así como el fomento, promoción y control de la actividad minera.

2.1.2 Código de Minería

El Código de Minería a pesar de ser una de las más recientes en la región, resulta genérica para la regulación de la actividad minera de minerales no metálicos. Algunas de las disposiciones que tienen alguna relación con el presente estudio son las siguientes: (Código de Minería. Ley N° 1777 de 1997)

Art. 1.- Pertenecen al dominio originario del Estado todas las sustancias minerales en estado natural, cualquiera sea su procedencia y forma de presentación, hállese en el interior o en la superficie de la tierra. Su concesión se sujetará a las normas del presente Código.

Art. 21°. Las sociedades mineras cooperativas legalmente constituidas de acuerdo a la Ley General de Cooperativas gozarán de los mismos derechos y tendrán las mismas obligaciones que este Código establece para todos los concesionarios mineros.

Las sociedades cooperativas mineras podrán asociarse y suscribir contratos de cualquier naturaleza, incluidos contratos de riesgo compartido con la Corporación Minera de Bolivia o con otras personas individuales o colectivas, nacionales o extranjeras, sin perder su naturaleza de entidades de interés social.

Art. 26.- Cualquier persona individual o colectiva, nacional o extranjera, puede realizar actividades de prospección, exploración y explotación de yacimientos mineros, incluyendo desmontes, colas y relaves, así como las tareas de reconocimiento aéreo con fines de prospección y exploración mineras en todo el territorio nacional, con sujeción a las normas establecidas en este Código y a otras normas pertinentes.

Art. 84. Las actividades mineras se realizarán conforme al principio de desarrollo sostenible, en sujeción a la Ley del Medio Ambiente, sus Reglamentos y el presente Código.

2.1.3 Plan Nacional de Desarrollo

El Plan Nacional de Desarrollo (PND, septiembre de 2007), es el documento que contiene la concepción, políticas, estrategias y programas de desarrollo del país en todos los ámbitos sectoriales y territoriales.

Con relación al desarrollo de la Minería y Metalurgia, el PND sostiene que una de las políticas de este sector es el Desarrollo y diversificación del potencial minero metalúrgico del país. Para desarrollar esta política, el PND plantea la estrategia de Generación de valor agregado en el sector, que se apoya en cuatro programas:

- De reactivación productiva en plantas metalúrgicas y yacimientos,
- De desarrollo minero metalúrgico en plantas de COMIBOL,
- De aprovechamiento integral de los recursos evaporíticos del salar de Uyuni y,
- De retratamiento y aprovechamiento de colas y desmontes de COMIBOL.

Los mismos que permitirán la generación de valor agregado, el incremento y diversificación de la producción en la minería estatal y privada (donde se incluyan otros recursos mineralógicos metálicos y no metálicos, piedras preciosas, semipreciosas, áridos, rocas de cantera, industriales, ornamentales, recursos evaporíticos de salares, radiactivos y otros), la explotación de colas, relaves y desmontes, la recuperación y rehabilitación de la infraestructura existente para la transformación y procesamiento de minerales a través de la concentración, refinación y fundición de minerales, (Vinto, Telamayu y otros), y la comercialización bajo control, son los objetivos prioritarios de la nueva etapa de la minería.

Otra política contenida en el Plan Nacional de Desarrollo es el Fortalecimiento de la minería chica y cooperativizada. La estrategia para alcanzar este objetivo consiste en la Transformación productiva, económica y social de la minería chica y cooperativa con participación del Estado, comunidad y propios actores, resultante de un proceso de mecanización, mejoras tecnológicas, incremento de la producción y productividad, gestión administrativa eficiente y manejo ambiental adecuado, lo que se reflejará en mayores beneficios económicos y en la calidad de vida.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Reseña Histórica del Azufre

El azufre es conocido desde varios siglos antes de nuestra era. Los griegos lo llamaban “triplari” y los romanos “sulfur” y despertó la atención de los antiguos porque sus diferentes propiedades (calor, combustión, medicinales, químicas) permitían su utilización en variados campos, se le menciona en la Biblia y Homero se refiere a él como desinfectante y Dioscorides (médico) preparaba con azufre ungüentos para curar infecciones de la piel (dermatología). (Ministerio de Minería de Chile, 1962)

Con anterioridad a los 2.000 años a.C. lo empleaban para blanquear telas y los egipcios en 1.600 a.C. lo usaban en la obtención de pinturas. Los romanos lo empleaban en la fabricación de bronce para las estatuas y también para preparar materiales inflamables utilizados en la guerra; pero recién a principios del siglo XII de nuestra era se lo emplea en la fabricación de la pólvora, con la cual comienza la gran importancia del azufre.

Se tenía ideas confusas sobre el azufre; se hacía resaltar su característica de combustible y se creía que todos los cuerpos combustibles contenían azufre, y durante mucho tiempo se pensó que no era un elemento; fueron Gay-Lussac y Thonard quienes demostraron que el azufre era un elemento. (Ministerio de Minería de Chile, 1962)

Desde ese momento, y con el desarrollo de la tecnología química, el azufre ha pasado a ser un elemento esencial en la industria moderna y países altamente industrializados están abocados a conseguir su abastecimiento fácil y seguro.

2.2.1.1 El Azufre y su Importancia: El azufre y sus compuestos ocupan un lugar preeminente entre los productos químicos fundamentales para la industria química, tanto inorgánica como orgánica. Conocido desde la antigüedad, se lo menciona en la Biblia y en varios papiros egipcios donde se le adjudicaba propiedades medicinales. Como se encuentra en numerosos lugares de las costas del mar Mediterráneo, no pudo dejar de llamar la atención de los antiguos griegos y romanos. Las erupciones volcánicas arrastraban consigo, invariablemente, enormes cantidades de azufre; y el olor del dióxido de azufre y del sulfuro de hidrógeno se consideraban síntomas de la actividad del dios subterráneo Vulcano. Tanto griegos como romanos quemaban azufre para blanquear telas con los productos de la combustión (Katz, 2011).

El azufre desempeñó también un importante papel en las concepciones teóricas de los alquimistas puesto que en aquella época fue considerado como un exponente perfecto de uno de los principios básicos de la Naturaleza: la combustibilidad. Los alquimistas creían que el azufre poseía al mismo tiempo la propiedad enigmática de producir nuevas sustancias al arder, por lo que se lo consideraba como el componente que faltaba para la piedra filosofal, que tan infructuosamente trataban de hallar para poder obtener oro artificial. Fue Lavoisier quien, en 1778, estableció que el azufre es un elemento.

El azufre es un elemento ampliamente distribuido en la naturaleza, que constituye, el 14^o elemento en abundancia en la corteza terrestre. Es un importante constituyente de la vida animal y vegetal, así como un recurso minero de fundamental relevancia industrial, ya que está presente en la elaboración de muy diferentes productos: fertilizantes, farmacéuticos, insecticidas, pigmentos, fibras sintéticas, combustibles, explosivos, caucho, así como en diversas ramas de la industria química, minera y siderúrgica (Garcés, 2008).

Los compuestos del azufre son más abundantes que la sustancia simple. Estos se clasifican en dos grandes grupos: sulfuros y sulfatos. Los sulfuros son compuestos binarios de los elementos con el azufre. Los sulfuros minerales más importantes son la galena, PbS , la blenda, ZnS , las piritas de cobre o calcopiritas FeCuS_2 , el cinabrio, HgS , la estibina Sb_2S_3 , y la pirita FeS_2 . Entre los sulfatos naturales, los más importantes son el yeso $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, la celestina, SrSO_4 y la baritina BaSO_4 .

Diversos microorganismos anaerobios reducen el azufre de sus sales y forman sulfuro de hidrógeno que se acumula en el agua de los yacimientos petrolíferos y en las zonas pantanosas así como en muchos lagos y lagunas donde integran una masa negra y legamosa que se considera “barro curativo” y se utiliza para fines medicinales.

El azufre es una materia prima que interviene en un gran número de industrias. No es de extrañar, entonces, que con el inicio de la industrialización en Europa comenzara la puja por el abastecimiento de esa sustancia.

Durante mucho tiempo, el único proveedor de azufre fue Sicilia. La isla se hallaba en manos de la monarquía italiana y, desde principios del siglo XVIII, las fragatas inglesas bombardearon varias veces las costas sicilianas tratando de adueñarse de esta riqueza. Después los suecos descubrieron el procedimiento de obtener azufre y ácido sulfúrico de la pirita. Los enormes yacimientos españoles de piritas fueron objeto de la atención de varios estados europeos deseosos de tomar el control de estas fuentes de azufre y ácido sulfúrico. Los yacimientos sicilianos fueron abandonados y toda la atención se concentró en España hasta que se descubrió el primer yacimiento, riquísimo, de azufre en la península de Florida. Era un yacimiento subterráneo, para la extracción del azufre se diseñó un método novedoso consistente en inyectar en las profundidades vapor de agua sobrecalentado que, debido a la baja temperatura de fusión del azufre ($119\text{ }^\circ\text{C}$), lo fundía bajo tierra, empujándolo en estado líquido hacia la superficie (Katz, 2011).

Se consiguió construir la primera instalación para la extracción de azufre líquido mediante bombas aspirantes. El azufre se derramaba sobre el suelo y, al enfriarse,

formaba enormes montículos. Mediante este método se produjeron enormes cantidades de azufre con lo que los yacimientos españoles e italianos pasaron a segundo plano (Katz, 2011).

2.2.1.2 Propiedades del Azufre: El azufre es un elemento químico no metálico cuyas propiedades son muy variadas, su color a temperatura ordinaria es amarillo, pero puede adquirir varias tonalidades incluso puede tener color oscuro. Se conoce alrededor de 36 variedades de azufre que se cristaliza en el sistema rómbico. A cada sistema de cristalográfico corresponde cierto campo de temperatura dentro del cual permanece estable. El único azufre estable a la temperatura ordinaria es el rómbico, que es de color amarillento claro y quebradizo (Ministerio de Minería de Chile, 1962).

El azufre es insoluble en agua y soluble en sulfuro de carbono. Se trata de una sustancia combustible que puede incendiarse por calor, fricción, chispas o llamas. Quema con llama azul pálido produciendo dióxido de azufre. Su temperatura de inflamación varía entre 168 y 180 °C, dependiendo del tamaño de las partículas. Si, al menos, el 10% de las partículas dispersas en el aire tienen un diámetro menor a los 500 μ , forma una mezcla explosiva a la cual contribuyen las partículas de tamaño mayor.

A continuación se resumen las principales propiedades del azufre (Katz, 2011):

- Fórmula de la sustancia simple gaseosa	S ₈
- N° CAS (*)	007704-34-9
- Número Atómico (**)	16
- Clasificación periódica (**)	Grupo 16
- Masa atómica promedio (**)	32,064
- Isótopos naturales (**)	32, 33, 34, 36
- Forma estable a temperatura ambiente	Sólido rómbico
- Color	Amarillo a ocre
- Densidad (***)	2,07 g/cm ³
- Presión de vapor (***)	0,001 torr.

- Punto de fusión (***)	112,8 °C
- 119,0 °C (forma monoclinica)	
- Punto de ebullición	444,6 °C
- Calor específico (***)	0,175 cal g-1 °C-1
- Calor latente de fusión (***) °C)	9,3 cal g-1 (forma rómbica a 112,8
- Coeficiente de dilatación lineal (***)	6,413 x 10-5 °C-1
- Coeficiente de conductividad térmica (***)	6,31 x 10-4 cal cm-1 °C-1s-1
- Resistividad eléctrica (***)	2 x 10-18 ohm cm
- Energía de primera ionización (**)	10,357 e.V.
- Potencial de oxidación (**)	
- S + 3 H2O → H2SO4 + 4H++ 4 e-	-0,45 V
- CMP (****)	10 mg/m3

Los asteriscos, identifican:

- * Número que identifica al producto en Chemical Abstracts Service.
- ** Del elemento.
- *** De la forma rómbica a 20 °C.
- **** Concentración máxima permisible en el aire para una jornada de 8 horas.

a) Origen y Presencia en Rocas

El azufre nativo a menudo se encuentra asociado a los yacimientos de yeso evaporítico, como consecuencia de la acción de bacterias sulforreductoras, que transforman el sulfato en sulfuro, que se reduce a su vez para dar azufre nativo. Se forman así concentraciones masivas de azufre sedimentario, que junto con las de origen volcánico constituyen los principales tipos de yacimientos de este elemento. No se pueden considerar, por tanto, yacimientos químicos en sentido estricto, sino bioquímico, aunque aparecen asociados a los yacimientos químicos de evaporitas. (<http://www.sernageomin.cl/pdf/publicaciones/anuario2007>)

La producción de azufre en el mundo proviene de fuentes naturales (yacimientos volcánicos y biogénicos) y de fuentes artificiales que lo recuperan como subproducto de procesos industriales (fundiciones, centrales termoeléctricas, producción de petróleo). La mayor parte de esta producción se destina a la elaboración de ácido sulfúrico, utilizado en diversas aplicaciones industriales, especialmente en la producción de fertilizantes.

b) Otras Características

Los compuestos de azufre refinado y ácido sulfúrico que se utilizan, principalmente, en la fabricación de compuestos químicos y farmacéuticos, pólvora y explosivos, fertilizantes, fungicidas y fósforos y en la vulcanización del caucho. A su vez, el azufre se utiliza mayoritariamente para elaborar ácido sulfúrico (<http://www.sernageomin.cl/pdf/publicaciones/anuario>, 2007).

Es interesante describir brevemente el método de explotación utilizado para este elemento: el denominado "método Frasch", consistente en la inyección de agua sobrecalentada o de vapor de agua en las formaciones que contienen este elemento, debido a que éste funde a 112°C, y a 160°C constituye un líquido de viscosidad muy baja, que fluye con gran facilidad y puede ser bombeado hasta superficie.

2.2.1.3 Usos y Almacenamiento del Azufre: El uso del azufre se ha generalizado, de tal forma que ha llegado a ser absolutamente necesario para el desarrollo industrial. Está considerado entre las cuatro materias primas básicas de la industria química, junto a la sal, carbón y carbonato de sodio (Ministerio de Minería de Chile, 1962).

El azufre se emplea como materia prima para la elaboración del ácido sulfúrico, como agente vulcanizador para el caucho en el procesamiento de la celulosa y en diversas actividades agrícolas.

Además de ser materia prima por las distintas aplicaciones que tiene el azufre, básicamente se reúne en las siguientes industrias:

- a) Fábrica de ácido sulfúrico que a su vez se constituye en materia prima de numerosas industrias químicas.
- b) Agricultura: como abono, fungicida e insecticida
- c) Industria del papel
- d) Industria de goma
- e) Beneficio de minerales
- f) Fabricación de explosivos
- g) Industrias textiles: descolorante, etc.
- h) En la medicina; dermatología, etc.
- i) Productos plásticos
- j) En la construcción
- k) Materiales de limpieza; jabón, detergentes, etc.

En el comercio se encuentra una variedad de azufres especiales que se aplican a distintos usos. Las características físicas y químicas de las diversas formulaciones se adaptan de manera tal que proveen condiciones óptimas para cumplir con la función buscada, ya sea como fertilizante, fungicida de contacto (al 99,5% y micronizado de modo que es "mojable"). También se lo emplea como corrector de pH del suelo (en este caso en forma granulada y al 80%) (Katz, 2011).

La presentación es variada: a granel en camiones de hasta 30 tm; envasado en bolsas grandes de 300 kg, 800 kg, ó 1.000 kg, o en bolsas de 40 kg palletizadas en unidades de 1tm; y fundido en isotanques aislados y calefaccionados de 25 tm.

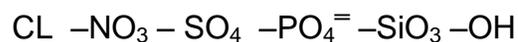
El azufre líquido se transporta en barcos, vagonetas, y camiones en recipientes de hierro dulce aislados y calentados con vapor de agua. Se usan equipos especiales para la carga y descarga de materiales. Los tanques están equipados con muchos cables sumergidos para evitar las cargas estáticas y reducir la agitación en su interior. La

ventilación de los tanques es convencionalmente libre. Todas las cañerías y bombas están aisladas y calentadas con vapor. El valor normal de temperaturas para el almacenamiento y manejo es de 125 - 140 °C.

2.2.1.4 Ciclo del Azufre: La intemperización extrae sulfatos de las rocas, los que recirculan en los ecosistemas. En los lodos reducidos, el azufre recircula gracias a las bacterias reductoras del azufre que reducen sulfatos y otros compuestos similares, y a las bacterias desnitrificantes, que oxidan sulfuros.

El H₂S que regresa a la atmósfera se oxida espontáneamente es acarreado por la lluvia. Los sulfuros presentes en combustibles fósiles y rocas sedimentarias son oxidados finalmente a ser empleados como combustible por el hombre, debido a movimientos de la corteza terrestre, y a la intemperización, respectivamente. (Matos, 1998)

La mineralización del azufre ocurre en las capas superiores del suelo, el sulfato liberado del humus es fijado en pequeñas escala por el coloide del suelo, la fuerza de absorción con la cual son fijadas los aniones crecen en la siguiente escala:(Matos, 1998)



El sulfato es ligado correspondientemente mucho más débilmente que el fosfato del cual pequeñas cantidades es suficiente para reemplazar el SO₄ a través de las raíces. El sulfato es la forma soluble del tratamiento del azufre en la planta donde es reducido para integrar compuestos orgánicos. La reabsorción del SO₄, depende del catión acompañante y crece en el sentido siguiente.



En cantidades limitadas el azufre puede absorberse, este proceso puede ser inhibido por el cloro, por las partes epigeas de la planta.(Matos, 1998)

Entre el azufre orgánico y el mineral, no existe una concreta relación en la planta; la concentración de S-mineral, depende en forma predominante de la concentración del azufre in situ, por la cual pueden darse notables variaciones. En cambio el azufre de las proteínas depende del nitrógeno, su concentración es aproximadamente 15 veces menos que el nitrógeno.

El azufre es absorbido por las plantas en su forma sulfatado, SO_4 , es decir en forma aniónica perteneciente a las distintas sales: sulfatos de calcio, sodio, potasio, etc. ($\text{SO}_4 \text{Ca}$, $\text{SO}_4 \text{Na}_2$). (Colinvaux, 1995)

El azufre no solo ingresa a la planta a través del sistema radicular sino también por las hojas en forma de gas de SO_2 , que se encuentra en la atmósfera, a donde se concentra debido a los procesos naturales de descomposición de la materia orgánica, combustión de carburantes y fundición de metales.

2.2.1.5 Funciones del Azufre: El azufre en el interior de las células tiene características de poca movilidad. Cumple fisiológicamente algunas funciones importantes, además de constituir distintas sustancias vitales, están son: (Colinvaux, 1995)

- Forma parte constituyente de las proteínas (*cistina, cisteína, metionina*).
- Forma parte de las vitaminas (*biotina*).
- Es constituyente de las distintas enzimas con el sulfidrilo (SH^-) como grupo activo, que actúan en el ciclo de los hidratos de carbono y en los lípidos (en la oxidación de los ácidos grasos, como la *coenzima A*, CoA).
- Interviene en los mecanismos de óxido-reducción de las células (con el *glutation*).
- Interviene en la *estructura terciaria* de las proteínas; las proteínas se ordenan en grandes cadenas moleculares, el azufre ayuda a la constitución de estas macromoléculas además de formar parte de los aminoácidos (compuestos moleculares imprescindibles para la formación de los péptidos, que se unen a su vez para la formación de las proteínas).

Algunas especies como las crucíferas, y entre ellas las liliáceas, adsorben una gran cantidad de sulfatos, produciendo en su contenido celular gran cantidad de *sulfuro de alilo* que ocasiona el olor característico de algunos vegetales como la cebolla.

El contenido de azufre en las oleaginosas, y especialmente de aquellos frutos con alto contenido de aceite como la mostaza, es notablemente elevado. El azufre actúa sobre el contenido de azúcar de los frutos, a pesar de que el contenido de almidón también puede estimarse; sin embargo no puede hablarse de una elevación del contenido del almidón por la fertilización el azufre.

El azufre es un componente insustituible de algunas grasas (mostaza y ajo), y también forma parte de las vitaminas (tiamina y biotina). Este elemento contribuye en la formación de la clorofila, a un desarrollo más acelerado del sistema radicular y de las bacterias nodulares, que asimilan el nitrógeno atmosférico, que viven en simbiosis con las leguminosas. Parte del azufre se encuentran en las plantas en forma oxidada de compuestos inorgánicos (Colinvaux, 1995).

Las gramíneas y la papa requieren entre 10-15 Kg/ha. Las coles 40-70 Kg/ha.

2.2.2 Azufre Elemental

El azufre elemental es uno de los compuestos inorgánicos de mayor riqueza en cuanto a sus propiedades físicas y químicas. El átomo de azufre, con sus 16 electrones en la configuración $[Ne] 3s^2 3p^4$, es el elemento de la naturaleza que tiene el mayor número de alótropos estables. Tiende a formar cadenas abiertas o moléculas cíclicas con ligaduras consecutivas en ángulos de 90° , al igual que el Selenio y el Telurio, también miembros de la columna VI de la tabla periódica.

El alótropo más estable que forman los átomos de azufre es la molécula cíclica S_8 , estudiada existe en las fases sólida, líquida y gaseosa hasta los 1000K. Pero también se forman numerosos alótropos estables cíclicos (S_6 , S_7 , S_9 , S_{12} , entre otros) ó

cadena abierta cortas y largas (polímeros), en rangos más restringidos de presión y temperatura.

La diversidad en la composición molecular del azufre, provee a su fase líquida de propiedades muy diferentes a cualquier otro material inorgánico, por lo cual es de fundamental importancia en procesos geológicos e industriales. Sin embargo, las fases sólidas fueron relativamente poco estudiadas desde la teoría y los datos experimentales no analizan el diagrama de fases sistemáticamente.

Recientemente se observó que cristales de azufre puro a alta presión son superconductores (Pastorino, 2003), con lo cual cobra importancia conocer también las propiedades de las fases normales y, en particular, determinar el diagrama de fases cristalinas a bajas temperaturas. S_8 es el alótropo más estable y abundante, Cerca del punto de fusión las moléculas S_8 se disocian y comienzan a recombinarse formando cadenas abiertas de mayor longitud (S_n). A una temperatura crítica de 160°C se incrementa dramáticamente la concentración de polímeros provocando una transición de fase líquido – líquido (denominada I) en la cual aumenta la viscosidad 5 órdenes de magnitud.

El azufre líquido es la única sustancia inorgánica que polimeriza al calentarse y se despolimeriza reversiblemente al ser enfriado lentamente. (Steudel. 1996)

La dinámica del flujo de calor de ciertos volcanes, es un ejemplo interesante en el cual esta propiedad del azufre tiene un rol bien definido. Existen volcanes que tienen el cráter lleno de agua, formando un lago en su parte superior. Se observa un ciclo de calentamiento enfriamiento en el lago con un período de alrededor de un año (la fase de calentamiento tiene una duración de uno o dos meses). En el lecho se encuentra un depósito de azufre que separa el lago de la zona inferior del volcán, cercana al magma, que es la fuente de calor. Los depósitos de azufre en los volcanes tienen frecuentemente una temperatura suficiente como para que el azufre se encuentre en estado líquido, al menos parcialmente. Se cree que el azufre actuaría como un

interruptor del flujo de calor: al ser calentado por el vapor en contacto con el magma, se produciría la transición a la fase de alta viscosidad impidiendo entonces, el flujo de calor hacia el lago.

Comienza aquí el proceso de enfriamiento del agua mientras que el vapor continúa calentando la capa de azufre. Cuando ésta abandona la fase de alta viscosidad permite nuevamente el paso de gases calientes dando lugar a la etapa de calentamiento.

Con respecto al estado sólido del azufre, la fase más estable a presión y temperatura ambientes, es la denominada α -S₈. También se observan en estas condiciones las fases polimórficas β -S₈ y γ -S₈. Las tres se describen y estudian en este trabajo en función de la temperatura y a presión 0 kbar.

En los cristales de S₈ naturales es común la presencia en bajas proporciones de otros alótropos moleculares, sobre todo cuando se llega a la fase sólida por enfriamiento del líquido. Las otras moléculas, como el S₇, actúan como impurezas en el cristal alterando sus propiedades. Por ejemplo, la fase α -S₈ pura cambia su color de amarillo pálido a blanco cuando es enfriada lo suficiente (193°K), mientras que el azufre comercial, levemente contaminado, mantiene el color amarillo de temperatura ambiente. (Steudel, 1996)

Como ya se dijo, el azufre en fase sólida a presiones altas presenta un comportamiento muy interesante. Se determinó que sometido a una presión de 90 Gpa, el azufre, que es esencialmente aislante, se vuelve conductor. (Steudel, 1996) Trabajos recientes midieron una transición de fase superconductor a cuya temperatura crítica aumenta linealmente con la presión hasta los 17°K. Estos resultados son particularmente notables porque el azufre altamente comprimido, pasa a ser el sólido elemental de mayor temperatura crítica medido hasta el momento (Russel y Ashcroft 1998). Aunque a partir de los 12 Gpa ya no es el S₈ la molécula más estable sino el alótropo S₆, hasta llegar a azufre atómico al seguir aumentando la presión.

El azufre es también de interés en geofísica y astronomía: se estima que ocupa el décimo lugar en la escala de abundancia cósmica, entre el Hierro y el Argón. En la tierra los depósitos naturales de azufre son de origen volcánico ó microbiológico. Puede citarse también el caso de *Io*, una de las lunas de Júpiter. Los análisis de espectroscopía de reflexión Raman, visible e infrarroja determinaron la abundante presencia de diversos compuestos de azufre, como SO_2 y mezclas con silicatos, en vastas regiones de la superficie. Los volcanes de *Io* emanan chorros de compuestos sulfurosos, que llegan a alturas de 280 km debido a la débil gravedad. La temperatura media en superficie es de 120K y las posibles estructuras de cristales de S_8 , formados a partir del magma, pueden ser de importancia en nuestro trabajo, aunque la superficie de *Io* está sometida a una intensa radiación proveniente del sol, dando lugar a fenómenos de fotólisis. (Disociación de las moléculas debida a radiación electromagnética)

Finalmente, no puede dejar de mencionarse el uso del azufre para la elaboración de ácido sulfúrico, compuesto fundamental en la industria química. Una producción mundial media de millones de toneladas de azufre elemental, requiere un enorme desarrollo tecnológico para la obtención, refinamiento e incluso transporte. Para ilustrar esto, se considera el caso de la bacteria del azufre, que tiene también interés científico. Las bacterias se encuentran en todo tipo de medios acuosos y contribuyen en el reciclaje de componentes orgánicos e inorgánicos del azufre, reduciendo compuestos como H_2S en azufre elemental. También tienen una acción contaminante en las plantas de producción donde se utiliza azufre en medio acuoso para algunas reacciones químicas. El metabolismo de estas bacterias está estudiándose intensamente, porque pueden ser una opción económica y no contaminante para remover componentes nocivos de desechos industriales líquidos y gaseosos. (Pastorino, 2003)

Es importante mencionar aquí que existen sólo mediciones experimentales puntuales de las fases condensadas del azufre, y especialmente dedicadas a la fase líquida. No hay trabajos orientados a un estudio integral de estos cristales. Desde el punto de vista teórico, las fases cristalinas β y γ - S_8 no se estudiaron en absoluto y sólo hay un antecedente para la fase α - S_8 en el cuál se realizaron simulaciones, esencialmente para

evaluar el potencial intramolecular (Pastorino, 2003). No se ha intentado hasta el presente estudiar o buscar un modelo que describa correctamente las propiedades de las distintas fases cristalinas del azufre.

Como se desprende de los ejemplos precedentes, hay una gran variedad de fenómenos físicos interesantes que involucran al azufre en sus diferentes estados. Este trabajo comprende un estudio teórico y numérico de las fases cristalinas de la molécula S_8 en el intervalo de temperaturas, como así también de algunos aspectos de la fase líquida. Se estudiaron las fases α -, β - y γ - S_8 en función de la temperatura y a presión ambiente. Los resultados que encontramos de bajas temperaturas podrían ser también de interés en geología planetaria, teniendo en cuenta el rango de temperaturas superficiales. (Pastorino, 2003)

En las secciones siguientes se presentan las características de la molécula S_8 , los detalles de las tres estructuras cristalinas estables del azufre S_8 y también de la fase líquida, en base a los trabajos experimentales existentes. También se describe el modelo flexible de molécula, cuyos potenciales son el punto de partida de nuestras simulaciones.

2.2.2.1 La molécula S_8 : La molécula S_8 es el alótropo más estable que presenta el azufre a presión y temperatura ambientes. Tiene forma de corona con los 8 átomos de azufre dispuestos en dos planos paralelos con 4 átomos cada uno, formando en cada plano un polígono casi cuadrado. El .cuadrado. De cada plano está rotado 45° respecto del otro. La molécula, se mantiene estable en las fases sólida, líquida y gaseosa. La simetría de la molécula aislada es D_4d con las siguientes características estructurales (Pastorino, 2003):

Molécula S_8	
Distancia de ligadura S-S	$2.060 \pm 0.003 \text{ \AA}$
Ángulo de ligadura S-S-S (β)	$108.0 \pm 0.7^\circ$
Ángulo de torsión S-S-S-S (τ)	$98.3 \pm 2.1^\circ$

El grupo puntual D_{4d} tiene 16 operaciones de simetría: E , $2S_8^3$, $2C_4$, C_2 , $4C_2'$, $4\sigma_d$, muestra la molécula y algunos ejes de simetría. Los ejes C_4 , que indican invariancia ante rotaciones de 90° están en el eje z , al igual que los ejes S_8 . Estos ejes, representan una rotación más una reflexión respecto del plano perpendicular a los mismos, en este caso de 45° .

Los grupos puntuales D presentan también ejes C_2 perpendiculares al eje principal. En este caso hay 4. La d en la nomenclatura D_{4d} , indica planos de reflexión σ que contienen al eje principal y se ubican en las bisectrices de dos ejes C_2 perpendiculares consecutivos.

2.2.2.2 La Fase Cristalina α - S_8 : La estructura sólida más estable a presión y temperatura ambientes del azufre es la denominada α , y en ella se encuentra normalmente el azufre elemental en la naturaleza.

La fase α - S_8 tiene una celda ortorrómbica con 16 moléculas en la celda unidad (La celda primitiva tiene 4 moléculas) es decir, 128 átomos y una densidad de 2.067g/cm^3 . La simetría corresponde al grupo espacial (Pastorino, 2003) $Fddd-D_{2d} 2h$. Las constantes de red experimentales medidas recientemente, a temperatura ($T=298^\circ\text{K}$) y presión ambientes, son: $a=10.4646(1)\text{ \AA}$, $b=12.8660(1)\text{ \AA}$ y $c=24.4860(3)\text{ \AA}$.

La mayoría de los cristales de la estructura α - S_8 funden a 112°C ($385,15^\circ\text{K}$), pero este es un punto de fusión metaestable, porque a esta temperatura la fase estable es β - S_8 . La transición α - β se encuentra a $367,4^\circ\text{K}$. Se midieron experimentalmente también las frecuencias Raman e infrarrojas en el rango 50-X K, el calor específico, las conductividades térmica (también a bajas temperaturas) y eléctrica (Pastorino, 2003). En el rango, 100-300 $^\circ\text{K}$, se estimó la expansión térmica por espectroscopia de rayos X.

Existe también un estudio teórico previo de las frecuencias vibracionales usando el método de sumas sobre redes (Pawley, 1975). Ese cálculo fue realizado en la aproximación de molécula rígida y usando potenciales armónicos, con las posiciones

atómicas dadas por la medición cristalográfica y no por una minimización del potencial. El radio de corte utilizado en la ref., fue de 5.5Å, por lo que la convergencia en energías y frecuencias es pobre. Existen cálculos más recientes de suma sobre redes de la intensidad de línea y frecuencias del espectro infrarrojo, pero no incluyen obtención de estructuras más estables a determinada presión y temperatura.

2.2.3 Azufre Humectable

El Azufre Mojable Micronizado es un funguicida preventivo de acción de contacto. Es menos fitotóxico que los polisulfuros, por lo que causa menor daño al follaje; resulta eficiente en el control de enfermedades como protectores. El producto se presenta como un polvo ocre especialmente formulado para su suspensión en agua. (<http://www.juanmessina.com.ar/espaniol/index.htm>)

La eficiencia del azufre humectable en el control de enfermedades como protectores, se debe en gran parte al tamaño de sus partículas que aumenta el área fungicida y por lo tanto la concentración de vapor de azufre; su adherencia es mayor comparada con las partículas grandes. El tamaño de partícula es alrededor de 10 μ y llevan en su formulación un agente humectable.

2.2.3.1 Fitotoxicidad: El azufre presenta riesgos de fitotoxicidad en climas calmos y con altas temperaturas. No se debe aplicar con temperaturas superiores a los 25°C, ni simultáneamente con aceites, aplicarlos con al menos 20 – 30 días de separación de lo contrario puede haber quemaduras en hojas y frutos. En vides se debe suspender los tratamientos al comienzo del invierno.

2.2.3.2 Compatibilidad: No es recomendable mezclar con aceites ni con otros productos emulsionantes.

Es compatible con concentrados solubles, y con polvos mojables y/o solubles.

- Parámetro	Unidad	Mínimo	Máximo
-------------	--------	--------	--------

- Pureza (como S)	g / 100g	80	
- Acidez	g / 100g		0,01
- Suspensibilidad en agua blanda	g / 100g	70	
- Suspensibilidad en agua dura.	g / 100g	60	
- Humectabilidad	segundos		30
- Retenido #325	g / 100g		0,5

• **Dosis para el control de plagas**

CULTIVO	Plagas que controla	Dosis / HI	Momento de aplicación
- Vid	Oídio: <i>Oidium Tuckeri</i> , <i>Uncinulanecator</i>	100 gr. 200-300 gr.	Aplicaciones preventivas desde que los brotes tienen 10 a 15 cm.
	Erinosis de la vid: <i>Eriophyes vitis</i>	300-500	Al parecer los primeros síntomas.
- Manzano	Oídio	300-500	Pre-floración
- Peral	<i>Podosphaera leucotricha</i>	200-300 100-200	Caída de pétalos Tratamientos posteriores
	Erinosis del peral: <i>Eriophyes pyri</i>	300-500	Al parecer los primeros síntomas.
- Tomate	Oídiopsis (<i>Oidiopsis taurica</i>)	250-500	Al parecer los primeros síntomas.
- Rosal	Mancha negra: <i>Diplocarpon rosae</i>	250-500	Al iniciar la brotación repitiendo cada dos semanas.
	Oídio: <i>Sphaerotheca pannosa</i>		Como preventivo de 1ra. Aplicación
- Cítricos	Acaro del tostado: <i>Phyllocoptruta oleivora</i>	200-300	Prefoliación, la 2 floración, a caída de pétalos.
	Acaro de la lepra explosiva: <i>Brevipalpus obvatatus</i>		
	Acaro del platedado: <i>Eutetranychus banksi</i>		3 Aplicación con dosis menor.
- Pepino melón zapallo	Oídio: <i>Erysiphe ichoracearum</i> , <i>Oidium ambrosiae</i>	200-300	Hacer aplicaciones cada dos semanas.
- Duraznero	Oídio: <i>Sphaerotheca pannosa</i> , <i>Oidium leucoconium</i>	200-300	1ra Aplicación: a yema hinchada. 2da Aplicación: al aparecer los signos de la enfermedad

2.2.3.4 Identidad Química: El endosulfán grado técnico es una mezcla de dos isómeros: el alfa (α) y el beta (β), en una proporción de 2:1 a 7:3, y productos degradados. Se comercializa como un concentrado emulsionable y debe contener al menos un 94% de endosulfán de acuerdo con las especificaciones de la FAO.

El endosulfán se transforma en el ambiente principalmente en sulfato de endosulfán y endosulfán-diol.

En las formulaciones de endosulfán pueden encontrarse diversas sustancias no identificadas y clasificadas como “ingredientes inertes” tales como emulsificantes solventes de alcohol, emulsificantes destilados del petróleo, agentes de suspensión, agentes humectantes y talco ATSDR 2000 , por lo que su contribución a los efectos peligrosos del ingrediente activo en los productos formulados de endosulfán se desconoce.

El endosulfán puede estar contaminado con pentaclorobenceno, un contaminante persistente, fitotóxico y muy tóxico para organismos acuáticos, que está bajo evaluación del Comité de Examen del Convenio de Estocolmo. (POPRC, 2007)

2.2.3.5 Usos: El endosulfán es un insecticida y acaricida de contacto y estomacal de amplio espectro; es decir, tiene un efecto tóxico mortal al entrar en contacto o ser ingerido por una amplia variedad de insectos chupadores y masticadores que llegan a ser plaga en distintos cultivos agrícolas. Ha sido usado en un amplio rango de cultivos: en hortalizas, frutales, cereales, algodón, té, café, cacao, soya y también en ornamentales en arbustos, árboles y viñedos, según indica la FAO en 1993. Históricamente se usó en algunos países también para el control de termitas y de la mosca tse-tse; incluso se usó como preservador de madera, aunque este uso fue discontinuado.

En Estados Unidos los cultivos de mayor venta donde se usaba endosulfán eran algodón (14,2%) melón (13,2%), jitomates (31%) y papas (8,15%) en el 2001. Los cultivos con el porcentaje de mayor aplicación fueron calabaza, berenjena, melón, camote (sweetpotato), brócoli, peras y calabaza; aunque hay que hacer notar que el uso de endosulfán ha venido disminuyendo en dichos cultivos, con excepción del tomate o jitomate. En California, en años recientes (2002 a 2006), el endosulfán no ha estado dentro de los 100 plaguicidas con mayor uso por superficie tratada. De acuerdo con la

propia información de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), el uso de endosulfán sólo brinda beneficios “bajos” o “de bajos a moderados” a los productores de la mayoría de los cultivos donde el endosulfán está aún permitido en Estados Unidos. El único cultivo importante donde el uso del endosulfán se ha incrementado en los últimos años (1998 a 2006) es en tomates en Florida, aunque por otra parte, California -otro importante estado productor de tomates- el uso de este insecticida se redujo significativamente durante el mismo período. Esto nos indica que los agricultores han encontrado otros sustitutos o han mejorado sus prácticas de control. (<http://www.panna.org/files/PANNAEndosulfan-Comments>)

En Europa casi el 90% de las 490 toneladas (t) de endosulfán consumidas en 1999 fueron usadas en los países del Mediterráneo de la Unión Europea como Grecia, Italia y principalmente España; aunque en su conjunto el uso de endosulfán se ha reducido en los últimos años, de acuerdo a la Comisión Europea (POPRC, 2007). Las excepciones a la prohibición del uso de endosulfán en 10 cultivos de Europa expiraron en diciembre del 2007, como se explicará con mayor detalle más adelante.

En México el endosulfán está autorizado para 41 cultivos incluyendo algodón, café, hortalizas, maíz y trigo, caña de azúcar, ornamentales, frutales, tabaco y vid, entre otros (Cicoplafest, 2005). En Centroamérica y el Caribe es usado principalmente para el cultivo del café, hortalizas y plantas ornamentales (UNEP, 2002). En América del Sur el endosulfán se usa principalmente en el cultivo de la soya o soja, y también en hortalizas.

2.2.3.6 Acción Fungitóxica del Azufre: El mecanismo de acción fungicida del azufre ha sido objeto de muchas investigaciones y especulaciones. La acción fungitóxica de este elemento ha sido enfocada desde los siguientes aspectos: (Guillén, 2010)

- a) **Teoría de la acción directa.** Algunos consideran que el azufre en contacto con la planta genera electricidad que es lo que controla al hongo; otros opinan que las

partículas de azufre concentran los rayos solares que generan suficiente calor para matar al hongo (acción óptica). Esta especulación se debe a que el área foliar tratada resulta quemada.

- b) Teoría de la oxidación.** Algunos investigadores indican que el azufre puede actuar a distancia. Los radiadores pintados con dicha sustancia desprenden vapores de productos oxidados de azufre. Esto ha dado lugar a que se especule que la acción tóxica del azufre sobre los hongos se debe al dióxido de azufre (SO_2) y al trióxido de azufre (SO_3). Otros sostienen que el azufre se vaporiza y que este vapor es capaz de actuar a distancia al momento de condensar un estado particulado.

La aseveración de la acción del dióxido de azufre y del trióxido de azufre fue hecha sin o con pocas evidencias que la respalden. Posteriormente se ha propuesto que el ácido pantetónico presente en las soluciones de azufre, era el agente tóxico. Esta propuesta fue invalidada cuando se estableció que la toxicidad de dicho ácido era el resultado de la reducción en el pH en la solución (sales de dicho ácido no son tóxicas y el ácido mismo no lo era cuando se ajustaba su pH con una solución Buffer). Los agentes oxidantes del azufre no tienen ningún efecto en la fungotoxicidad de dichos elementos.

- c) Teoría de ácido sulfhídrico.** Las hojas de vid tratadas con azufre desarrollan gradualmente ácido sulfhídrico (H_2S), sustancia que fue indicada como responsable del control de la oidiosis. La formación del ácido sulfhídrico se atribuye a la acción reductora de las esporas del hongo sobre el azufre; este azufre vaporizado es tomado por las esporas y es reducido a H_2S dentro de ellas. Hongos que son más sensibles al azufre producen más ácido sulfhídrico de lo necesario para su destrucción, mientras que este fenómeno no se observa en aquellos que lo resisten; sin embargo, en el lúpulo se ha demostrado que el H_2S no presenta efectos fungicidas sobre conidias del oidium. Trabajos posteriores han

demostrado que el ácido sulfhídrico no es el responsable de la acción fungicida del azufre.

Trabajos a nivel de metabolismo del hongo revelan que determinadas formas de azufre, incluyendo el ácido sulfhídrico y los polisulfuros, tienen un mecanismo de acción tóxica por la acumulación de algunos ácidos metabólicos orgánicos que producen la inactivación de una o más enzimas de ciertos procesos metabólicos. La fosforilación oxidativa sería disminuida, iniciándose la acumulación de adenosina difosfato (ADP) y fosfato inorgánico. La acumulación de estos reguladores metabólicos hace mayor la oxidación de los substratos endógenos para formar mayor cantidad de adenosintrifosfato (ATP), pero la adición de azufre competitivo llega a causar una disminución en la asimilación de oxígeno, los substratos son agotados lentamente y la ATP requerida para el metabolismo no se forma en cantidades suficientes, siendo el organismo rápidamente desposeído de su energía almacenada en forma de carbohidratos, ácidos grasos y otros compuestos energéticos; esto, sumado a la poca disponibilidad de lípidos y ácidos nucleicos, afectan a las esporas que llegan a morir (Guillén, 2010).

La actividad del azufre en el hongo, puede ser explicada en base al contenido relativo de grasa en las esporas. Se ha demostrado que ciertos fosfolípidos incrementan la solubilidad del azufre. Existen ciertas diferencias a la respuesta del azufre por algunos microorganismos; esto puede explicarse por la diferencia en la penetración de dicho elemento en las células, que sería el modo de explicar la resistencia de algunos microorganismos al azufre. (Guillén, 2010)

En distintos países se mencionan el azufre en diferentes formulaciones para el control de diferentes organismos nocivos: (Guillén, 2010)

- Hongos:

Sphaerotheca pannosa.

Sphaerotheca fuliginea

Sphaerotheca humili
Sphaerotheca mors-uvae
Microsphaera grossulariae
Microsphaera quercina
Microsphaera alphitoides
Podosphaera leucotricha
Podosphaera clandestina
Podosphaera tridactylata
Oidium mangiferae
Oidium caricae
Oidium heveae
Oidium tingitanium
Erysiphe graminis
Erysiphe cruciferarum
Erysiphe betae
Erysiphe heraclei
Erysiphe pisi
Erysiphe polygoni
Erysiphe malachrae
Erysiphe cichoracearum
Uncinula necator
Puccinia striiformis
Puccinia recóndita
Puccinia aspargi
Puccinia sorghi
Phragmidium subcorticium
Hemileiava stratrix
Uromyces spp.
Venturia pirina
Venturia inaequalis
Venturia carpophila, var. Cerasi

Tranzschelia spp.
Phragmidium macronatum
Stigmina carpophila
Drepanopeziz aribis
Sclerotinia fructigena
Cladosporium fulvum
Leveillula taurica
Salmonia malachrae
Mycosphaerella berkeleyi
Mycosphaerella arachidis
Botrytis cinerea
Verticillium spp.

-Ácaros:

Tetranychus urticae.
Tetranychus desortorum.
Tetranychus cinnabarinus
Tetranychus sp.
Metatetranychus ulmi.
Metatetranychus citri
Bryobia spp.
Bryobia praetiosa
Brevipalpus spp.
Petrobia latens
Oligonychus vitis
Polyphagotarso nemuslatus.
Panonychus citri.
Phyllocoptruta oleivora.
Melophaguso vinus.
Eriophyes ribia
Eriophyes vitis
Eriophyes mangiferae

- Insectos: Se ha reportado acción tóxica sobre estados iniciales de:

Saissetia oleae
Empoasca fabae
Empoasca vitis
Scirtothrips urantii
Sericothrips occipitalis
Halticus spp.
Psallus spp.
Spanogonicus spp.
Paratriozaco ckerelli
Phorodon humuli

Aplicaciones de azufre en condiciones de 38 a 40 °C son eficaces para el control de:

Lygu selisus
Thrips tabaci
Coccus citricola
Psallus seriatus

Se ha detectado efecto del azufre sobre algunos insectos defoliantes como: *Prodenia aeridania*, y otras larvas de noctuideas.

Se tiene reportes de mezclas del azufre con otras sustancias para el control de *Alabama argillacea* y *Annonis texana*

Otras plagas en las cuales ejerce un efecto de control:

Trips sp.
Prodiplosis sp.
Russelliana solanicola

En suelos de reacción alcalina, las aplicaciones de azufre permiten el control preventivo de la sarna común de la papa *streptomyces scabies* patógeno que se desarrolla a solo

pH superior a 7,00 .La disminución del pH al aplicar azufre hasta valores entre 4,8 a 5,2 impide que se desarrolle esta enfermedad. También se logra controlar la agalla de coronas *Agrobacterium tumefaciens* así como la pudrición negra de las raíces del tabaco *Thielaviopsis basicola*.

2.2.3.7 El Azufre como Insecticida – Acaricida: El sulfato de nicotina y la mezcla sulfo – cálcica (productos que contienen azufre) fueron los primeros compuestos utilizados como insecticidas de contacto. También se emplearon productos con azufre en forma de fumigantes (compuestos que liberan gases letales para los insectos y otros organismos vivos como los roedores y algunos hongos). Son productos muy volátiles que se usan en recintos cerrados (tales como bisulfuro de carbono, el dióxido de azufre). El azufre elemental quemado se empleó como desinfectante e insecticida. No obstante, este tenía limitaciones como insecticidas y de allí que fuera reemplazado por los compuestos en arsénico (Zarate, 1988).

El azufre es toxico como fumigante e insecticida en aspersión (por contacto). No obstante, el azufre elemental puede actuar como veneno vía estomacal. Así mismo los componentes volátiles y no volátiles penetran el cuerpo de los insectos y su sistema respiratorio.

El azufre humectante, a través de sus vapores entra en contacto directo con las esporas y otros tejidos fungosos, previniendo o inhibiendo su germinación o su crecimiento. Efectos similares se presentan con los ácaros y ciertos insectos chupadores, incluyendo estados larvales de ciertos thrips e insectos escamas (Zarate, 1988).

El azufre se produce como azufre sublimado (partículas irregulares de azufre puro resultante del rápido enfriamiento de los vapores de azufre generados por calentamiento del azufre crudo), el cual se utiliza principalmente para aplicar al tronco de los árboles frutales (o blanqueo), se conoce también como flor de azufre.

El azufre se usa de manera especial para el control de la araña roja del tomate, de los cítricos y otros cultivos ampliamente extendidos, debido a que el dióxido de azufre(SO₂) es altamente tóxico para los ácaros en altas concentraciones, lo mismo ocurre con ciertos insectos como mosca blanca, thrips, algunos homópteros, moscas cecidomídeas.

Cuando el azufre se combina con otras sustancias permite el control de insectos chupadores, chinches, thrips, estados larvales de insectos escamas y psílidos. Se ha reportado acción tóxica sobre estados jóvenes de la escama negra, *Saissetia oleae*, del lorito verde, *Empoasca fabae*; del psílido de la papa, *Paratriozaco ckerelli*, de la garrapata de la oveja, *Melophaguso vinus*, del afido del lúpulo *Phordon humuli*.(Zarate, 1988)

Aplicaciones de azufre en condiciones de temperatura de 24 a 30°C son eficaces para el control de la especie *Lyguselisus*, chinche de la alfalfa. Igual ocurre con los Thrips, la escama gris de los cítricos, *Coccus citrícola* y sus estados larvales en naranjos y limones y el saltahoja del algodón *Psallus seriatus*, los cuales se pueden controlar con azufre en espolvoreo. El efecto del azufre es letal sobre las ninfas más no sobre los adultos. Igual respuesta se observa sobre los thrips del frijol.

2.2.4 Tendencias en la Utilización de Fertilizantes

En los últimos años se observan las siguientes tendencias en la utilización de fertilizantes en general y de fertilizantes azufrados en particular: (García y Salvaggiotti, 2009)

- Continúa adopción de mezclas físicas y del granel como forma de despacho.
- Crecimiento de la utilización de fertilizantes azufrados.
- Evidencias de respuesta a micronutrientes en algunos cultivos (e.g. Cl, Zn, B, etc.).
- Crecimiento de la utilización de fertilizantes líquidos.
- Mejoras en los balances de nutrientes, principalmente de P y S.

- Importante difusión de los temas de fertilidad de suelos y fertilización de cultivos por parte de organizaciones gubernamentales y privadas.
- Mayor oferta de fertilizantes complejos “NPS”, biofertilizantes y fertilizantes foliares.

En las últimas décadas se avanzó notablemente en el conocimiento agronómico del manejo de nutrientes y la disponibilidad de fuentes y tecnologías para su manejo. Sin embargo, se pueden mencionar algunas necesidades y desafíos para el futuro:

- Disponer de estadísticas de consumo de fertilizantes a nivel de localidad, por cultivo, etc.
- Profundizar la experimentación en química y dinámica del S en el sistema suelo-cultivo.
- Avanzar en la elaboración de modelos de diagnóstico de fertilidad azufrada, especialmente estudios de correlación y calibración.
- Estudiar los efectos directos y residuales de fuentes azufradas a campo y en condiciones controladas.
- Avanzar en el desarrollo de recomendaciones de fertilización a nivel regional o distrito.
- Integrar los sectores público y privado en proyectos de investigación.

2.2.4.1 Evaluación Agronómica de Fertilizantes Azufrados: La mayor parte de la información experimental reciente sobre fertilización azufrada se concentra en general en la evaluación de una o más fuentes azufradas sulfatadas (de inmediata disponibilidad de Azufre), existiendo escasa información sobre la performance del Azufre Elemental, tanto individualmente como en términos relativos a fuentes sulfatadas (efectividad agronómica relativa).

Como se observa, la información experimental indica que, en términos generales, la respuesta a la fertilización azufrada de las fuentes sulfatadas son similares (similar efectividad agronómica).

Estos resultados coinciden con la literatura internacional (Til, 2010). En relación a las dosis de Azufre, los niveles de máxima respuesta varían usualmente entre 10 a 20 kg S-ha⁻¹.

Es posible que en cultivos con alto requerimiento de Azufre sea necesario aplicar dosis mayores en determinadas circunstancias. Además, en este cultivo resulta importante conocer la disponibilidad edáfica del N y S, como así también la relación entre los nutrientes (Burzacoet, al. 2009).

La experiencia internacional muestra resultados variables de respuesta a la fertilización con Azufre y también de la performance de este fertilizante comparado con fuentes solubles sulfatadas. Dentro de los factores que pueden incidir en la performance del Azufre se puede mencionar: tipo de cultivos, condiciones ambientales, momento y forma de aplicación, características físico – químicas del Azufre (Horowitz y Meurer, 2007). Esto muestra los factores que influyen en la oxidación del Azufre Elemental y por lo tanto en la capacidad para proveer SO_4^{-2} a los cultivos.

De los factores presentados, la granulometría del Azufre Elemental, la humedad y la temperatura edáfica, son los factores de mayor incidencia en la efectividad agronómica del Azufre Elemental. Si bien no es posible establecer un tamaño de partícula óptimo “universal” del Azufre Elemental utilizado en fertilización de cultivos, la evidencia experimental indica que una granulometría inferior a 200 μm determina una mayor velocidad de oxidación en el suelo (lo que significa mayor reactividad del fertilizante).

Tamaños de partículas más grandes limitan el acceso microbiano y el ritmo de oxidación, sobre todo cuando se presentan condiciones ambientales poco favorables como bajas temperaturas y/o escasa disponibilidad hídrica. En relación a esta temática, Boswell y Friesen (1993): realizaron una extensa caracterización y revisión de la aptitud de diferentes fuentes de Azufre Elemental para distintas regiones agro-ecológicas de Nueva Zelanda.

Los autores concluyeron que el factor fundamental que regula el proceso de oxidación es el tamaño de las partículas del Azufre Elemental aplicado, recomendando la aplicación de fuentes de Azufre Elemental con granulometrías menores a 150 y 250 μm , para condiciones climáticas frías y templadas, respectivamente.

Por tratarse de procesos microbiológicos, la temperatura y humedad regulan directamente el proceso de oxidación del Azufre Elemental. Así, con temperaturas entre 10-40°C la oxidación se incrementa en forma lineal mientras que a temperaturas menores a 4°C se torna muy lenta (Blair, et, al. 1993). La temperatura óptima para la oxidación varía según el tipo de microorganismo.

Sin embargo, el rango de 25 a 40°C resulta adecuado para la mayoría de ellos. Suelos muy secos o excesivamente húmedos limitan la oxidación del Azufre Elemental, mientras que el óptimo de oxidación se obtiene con contenidos hídricos cercanos a capacidad de campo. (Tisdale, et, al. 1993)

Existe escasa información experimental sobre fertilización con Azufre Elemental en cultivos de grano, especialmente sobre la efectividad agronómica relativa de esta fuente comparada con fertilizantes azufrados sulfatados. Sin embargo, algunos experimentos recientes que evaluaron fuentes reactivas de Azufre Elemental, mostraron resultados promisorios. En este sentido, Tysko y Rodríguez (2006), detectaron respuestas significativas a la aplicación de una fuente de Azufre Elemental reactiva (“pre-tratado”) en 3 de 5 sitios experimentales en Argentina. El rango de respuestas fue de 400-550 kg 1-ha, con dosis de 24 y 40 kg 1-ha de S. Por otro lado, Torres Duggan y otros (2010) evaluaron la efectividad agronómica de una fuente de Azufre Elemental micronizada (200 μm) comparada con el sulfato de amonio en el cultivo de trigo. Los autores observaron similar respuesta a la fertilización azufrada entre las fuentes, para la mayoría de los sitios. Asimismo, los autores reportaron similar eficiencia agronómica del Azufre aplicado (incremento de rendimiento/kg de Azufre aplicado).

Los resultados mencionados previamente de respuestas a la fertilización con Azufre Elemental en trigo, indican, indirectamente, que existirían condiciones agro-ecológicas adecuadas para la oxidación del Azufre Elemental en el cultivo de trigo. Estos resultados deben considerarse como preliminares y es necesario profundizar en la generación de información agronómica en estos temas. Sin embargo, estos resultados coinciden con investigaciones internacionales como las efectuadas por Friesen (1991), quienes observaron similar efectividad entre el Azufre (en polvo y granulado) y fuentes sulfatadas como yeso y SPS en experimentos conducidos en climas semiáridos y subhúmedos.

En un sentido opuesto al mencionado previamente, Franzen y Grant (2008), reportaron que, para las condiciones de los “Great Plains” de EE.UU, los resultados de la fertilización azufrada son generalmente maximizados cuando se aplican fuentes sulfatadas solubles (sulfato de amonio, tiosulfato de amonio o yeso) en relación al Azufre Elemental, sin hacer referencias a la granulometría del mismo.

En países como Nueva Zelanda se dispone de recomendaciones de diferentes tipos de Azufre Elemental para distintas regiones agro-climáticas, basadas en un profundo conocimiento de los factores locales que regulan la oxidación del Azufre Elemental en diferentes tipos de suelo y clima. Estos estudios, integran mediciones de variables físicas, químicas y biológicas (Boswelly Friesen, 1993).

2.2.4.2 Formas y Momentos de Aplicación de Azufre en la Rotación Agrícola:

Si bien el presente trabajo se refiere específicamente al manejo tecnológico del Azufre en rotaciones de cultivos agrícolas, cabe destacar que este nutriente se debe aplicar en conjunto con los demás nutrientes limitantes del rendimiento, para optimizar el manejo nutricional de los cultivos. Existe evidencia experimental sobre los beneficios de la fertilización balanceada bajo esquemas de Mejores Prácticas de Manejo de Nutrientes (MPMN) tanto en la productividad de los cultivos como en la fertilidad del suelo. (García, et, al. 2006)

A diferencia de lo que ocurre con N, existe escasa información experimental sobre evaluación de formas y momentos de aplicación de Azufre. Sin embargo, por tratarse de un nutriente móvil en el suelo y sumado a la evidencia de escasa capacidad de adsorción de SO_4^{2-} de los suelos de la región, se suele establecer una amplia gama de posibilidades de formas y momentos de aplicación del Azufre dentro de los programas de fertilización.

Como para cualquier fertilizante, cuando el mismo se aplica al suelo, ya sea en cobertura total (voleo) o en bandas (“chorreado” con fertilizantes líquidos), es necesaria una lluvia y/o riego para que el fertilizante se incorpore en el suelo. Este aspecto puede resultar más crítico en aplicaciones en post-emergencia al macollaje de cereales de invierno, tomando en cuenta las regiones donde las precipitaciones son escasas.

En el caso de que se fertilice junto con la semilla, es necesario considerar los posibles efectos fitotóxicos (Ciampitti, et, al. 2006). Experimentos realizados, indican que el sulfato de amonio es la fuente azufrada mas fitotóxica, seguida por la kieserita ($\text{SO}_4\text{Mg H}_2\text{O}$). Por el contrario, el yeso no generó efectos fitotóxicos en dosis de uso frecuente en fertilización de cultivos (100-130 kg ha). Este fertilizante se caracteriza por presentar reacción neutra en el suelo.

La elección del momento de fertilización es la alternativa de manejo de mayor importancia para disminuir las vías de pérdida del sistema suelo-cultivo en los nutrientes móviles (Zubillaga, 2007). La estrategia de fertilización deberá sincronizar la oferta de nutrientes (e.g. suelo y fertilización) con la demanda del cultivo. El principal mecanismo de pérdida de Azufre fuera del sistema suelo-cultivo, además de la remoción del azufre en los granos cosechados, es la lixiviación de SO_4^{2-} , proceso sobre el cual se dispone de escasa información. Sin embargo, haciendo una analogía con el N, este proceso podría darse en determinadas condiciones predisponentes :suelos con texturas gruesas, precipitaciones intensas, balance hídrico positivo, baja cobertura de rastrojos, etc. A diferencia de N, no se prevén riesgos ambientales por contaminación de aguas subterráneas con Azufre.

El enfoque conceptual de las “4C” (en inglés las “4R”) dentro del marco de las Mejores Prácticas de Manejo (MPM) de nutrientes y fertilizantes resulta una herramienta muy útil para definir el manejo sustentable de fertilizantes dentro de los agro-ecosistemas (Roberts, 2010). Los componentes de las “4C” (dosis, fuente, momento y formas correctas) están interconectados, son interactivos y se deben basar en principios científicos provenientes de la investigación local. El marco de las MPM y de las “4C” implica que el productor puede definir distintas combinaciones de dosis, fertilizantes, formas y momentos de aplicación para maximizar su rendimiento y minimizar el impacto ambiental de la fertilización. Estas combinaciones posibles variarán de acuerdo con diferencias en las características edáficas, clima, rotaciones, sistemas de labranza, etc.

La evidencia de residualidad de la fertilización observada en los agro-ecosistemas tanto para Fósforo como Azufre, permite definir el manejo de los nutrientes a nivel de rotaciones o secuencias de cultivos. Así, investigaciones recientes realizadas en el doble cultivo trigo/soja indicaron similares respuestas y eficiencias de uso de Fosforo y Azufre cuando se aplicó una dosis equivalente al requerimiento total de estos nutrientes en el cultivo de trigo o en cada uno de los cultivos por separado (Salvagiotti, et, al. 2004).

Estos resultados tienen importantes implicancias agronómicas y logísticas. Pudiendo aplicar la dosis completa de Azufre de la secuencia trigo/soja, en el trigo se logran beneficios operativos en la siembra de soja. Esto se debe a que una siembra temprana de soja resulta imprescindible para no afectar negativamente el rendimiento potencial del cultivo. Sin embargo, estos resultados no deberían extrapolarse a suelos con características pedogenéticas, texturales y mineralógicas muy diferentes a las dominantes donde la capacidad de adsorción de SO_4^{-2} podría ser mayor.

3. DESCRIPCIÓN Y METODOLOGÍA

3.1 Materiales y Métodos

3.1.1 Localización y Ubicación

El estudio se realizó en la Cooperativa “Unión Progreso”, Ltda., ubicada en las comunidades de Sejcihua y Sillajhuay en el cantón San Pablo de Napa, provincia Daniel Campos, departamento de Potosí.

Sejcihua, es una comunidad asentada entre el margen occidental del Salar de Uyuni y la cordillera occidental de los Andes (Frontera con la Rep. de Chile), tiene testimonios de su existencia como unidad económica social desde épocas precolombinas; políticamente forma parte del municipio Llica, Provincia Daniel Campos en el departamento de Potosí.

Referencia cartográfica de la Ubicación del cantón San Pablo de Napa en Potosí



Sus pobladores conservan costumbres, tradiciones y valores ancestrales expresados en el idioma aymará, autoabastecimiento a través de la actividad agropecuaria y fortalecimiento de la sociedad mediante el respeto a la unidad familiar y comunal.

3.1.2 Características del Lugar

El cantón San Pablo de Napa, se caracteriza por que la naturaleza propia del altiplano es mezquina para las actividades agropecuarias, pero propicia para las explotaciones azufreras, experiencia que los pobladores han adquirido de empresas extranjeras en el manejo de las distintas etapas del proceso de refinación de azufre. (Ayaviri, 2011)

La actividad principal del cantón San Pablo de Napa es la explotación, refinación y comercialización de minerales de azufre.

La explotación del azufre en la región de San Pablo de Napa tuvo sus inicios a principios de la década del 1920 del siglo pasado, en la década del 60, la producción se encontraba en auge habida cuenta de la gran demanda de la minería del cobre chileno; empresas como BARRERO, SOLMIN Ltda., EMICLA. COSSMIL y COMIBOL se disputaban la mano de obra de los pobladores de San Pablo, constituyéndose una de las regiones más pobladas pese a su clima árido y seco; varias generaciones vivieron de la minería del azufre, construyendo cultura propia con mitos, hechos y relatos únicos que hoy se mantienen en la memoria de quienes vivieron en la azufrera de San Pablo de Napa. (Ayaviri, 2011)

Los pobladores de la región han participado en las distintas etapas del proceso destacándose por sus habilidades como: Administradores, Jefes de mina, Jefes de Planta, chóferes, obreros etc., sobre-poblando campamentos mineros de San Pablo de Napa, Solmin, El Desierto, Concepción y Victoria, todos en un área no mayor de 5 Km². Asimismo los conflictos sociales eran permanentes, principalmente la relación obrero patronal, también se establecieron instituciones como: Aduana, Policía, Notaría, Puesto de Salud, Puesto Militar, Registro Civil, etc. (Ayaviri, 2011)

El auge de la minería del azufre se expresaba en el potenciamiento de las empresas que lograron mecanizar su producción para aumentar la productividad; asimismo se realizaba exploración para una explotación masiva por empresas transnacionales como la MITSUI SMELTIG CO, GEO RESOURCES, SCURRY RAINBOW, etc., que buscaban tecnología adecuada de acuerdo a la disposición del mineral. En muchas oportunidades gobiernos de turno veían en las azufreras de San Pablo de Napa, la alternativa a la crisis cíclica de la minería metálica, pero no se decidieron a plantearse de manera seria su explotación.

La experiencia de trabajar con el azufre desató los primeros intentos para fortalecer su unidad que nacen a partir de disposiciones legales emitidas a principios del siglo XIX sobre catastro territorial para uso de suelos; ocasión en la que respaldan los derechos territoriales preconstituidos con la obtención de su Testimonio comunal para los pobladores de la comunidades de Sejcihua y Vilacollo.

La gestión de este documento comunal desnudó sobremanera la precariedad económica y social de la población, asimismo la carencia del lenguaje castellano oral y escrito en la mayoría de sus pobladores; hecho que motivó la creación de una escuela particular en la comunidad a principios del siglo pasado.

La región presenta las siguientes características: (Cooperativa Minera Agrícola “Unión Progreso Ltda. 2011)

a) Hidrografía

Una cuenca cerrada es la que domina la zona, con un centro de convección con el Salar Empexa, contando con ríos de curso seco e intermitentes; torrenciales en época de lluvias, permaneciendo el resto del año completamente seco, existen pequeñas vertientes sobre el salar que dan lugar a la formación de pequeñas lagunas como Caytí, Lomba N° 1, etc. Las características de zona fría se presentan, como no apta para ningún tipo de cultivo.

b) Orografía

Los accidentes orográficos en la zona, están compuestos por elevaciones de pequeña y mediana longitud, domos y lomas con una diferencia de relieve de hasta 500 metros, en la parte norte y centro no existen relieves, es la zona que ocupa el salar de Empexa, en el borde Sur y Oeste se notan terrazas, cerca del campamento en la parte Sur se encuentra el cerro Caytí.

c) Clima

El clima de la región es el que corresponde a zonas secas y áridas, con inviernos secos y veranos relativamente lluviosos, típico de regiones elevadas, la estación lluviosa tiene duración de noviembre a marzo, predominan vientos de dirección Sur – Noreste, con variaciones Este – Oeste, alcanzando velocidades de hasta 6 nudos.

La temperatura en invierno desciende hasta -10° C. llegando en verano y durante las horas del mediodía hasta 31° C, notándose una marcada diferencia de temperaturas entre el día y la noche, con una temperatura media de 11° C. la humedad relativa es baja y se nota en el ambiente una sequedad extrema.

d) Etnografía

Individuos de zonas cercanas como ser: Llica, Salinas de García Mendoza, Uyuni y otros habitan la zona temporalmente por razones de trabajo, ya que la zona en sí es muy desierta y no existen habitantes originarios, la mayoría de los trabajadores son de origen aymara y quechua que mejor se adaptan a la sacrificada vida minera. El idioma que más se habla en la región es el castellano, seguido por el quechua y el aymara.

e) Flora y fauna

En la región no se cultiva ninguna especie vegetal. La vegetación natural es la paja brava, en las zonas de mayor humedad la ñañahuaya, cactus de tamaño medio y ciertas plantas xerofíticas componen toda la flora. En los alrededores y a mayor altura se tiene el cinturón de yareta (Azorcillagabra) entre los 4.300 a 5.000 metros, la misma que se utiliza como combustible.

La fauna autóctona está representada por la viscacha, vicuñas salvajes, chinchilla, lagartijas. Entre los animales domésticos se tiene a las llamas, ovejas, asnos, gallinas, porcinos, en las zonas donde hay lagunas se encuentran varios tipos de patos silvestres, pariguanas (color rosado) un tipo de zancudas, huallatas, cóndores.

3.1.3 Características de la Empresa

La Cooperativa “Unión Progreso” Ltda., fue fundada en fecha 18 de junio de 1961, bajo la iniciativa de los pobladores de la comunidad de Sejihua, quienes reunidos en una asamblea, después de un amplio análisis sobre los recursos naturales habidos dentro su jurisdicción, las cuales eran pretendidas y/o explotadas por industriales foráneos de manera ilegal, decidieron por unanimidad explotar para sí las riquezas presentes, como una forma de paliar sus difíciles condiciones de sobrevivencia; se organizaron en una cooperativa integral con el nombre de “Unión Progreso”, para beneficiar a todos los habitantes de esta región. (Acta de Fundación de la Cooperativa Integral “Unión Progreso” Ltda.)

Inicialmente consolidaron su situación legal, obteniendo su Personería Jurídica a nombre de la Cooperativa Minera Agrícola “Unión Progreso” Ltda., con domicilio legal en Sejihua, bajo la Resolución de Consejo N° 00212 de fecha 21 de agosto del año 1962 otorgado por la Dirección Nacional de Cooperativas. (Personería Jurídica de la Cooperativa Minera Agrícola “Unión Progreso” Ltda.)

Paralelamente iniciaron operaciones en el campamento minero “Milluri” alquilando un yacimiento y planta de refinación; los resultados no fueron los esperados y tuvieron que arrendar la mina de San Antonio de COMIBOL en el sector de San Pablo de Napa; estableciendo el campamento definitivo en Abra de Napa, casualmente ubicada en el medio de las demás empresas.

Durante este proceso se exploraron y prepararon yacimientos disponibles, entre ellos la mina San Antonio que fue la más importante, se construyó infraestructura para el campamento y la planta de refinación de azufre. Construida la Planta de Refinación después de muchas vicisitudes, refinarían azufre de igual calidad que sus vecinos, situación que les valdría mejores condiciones para negociar el precio, aún sea en un principio a sus propios vecinos.

Consolidar la actividad extractiva y productiva de azufre refinado permitió a la Cooperativa el acceso a mercados potenciales de Chile, empresas como Carolina de Michilla, Borlando y Cía., Chile Canadian Mines, Chuquicamata, etc., fueron compradores habituales de azufre en bruto y refinado. Los ingresos percibidos mejoraron ostensiblemente las condiciones de trabajo de los cooperativistas; se amplió el campamento para trabajadores, la planta de refinación, Centro Educativo, Puesto de Salud, Campos deportivos, etc. De la misma forma se innovaron la maquinaria y equipos, además de la adquisición de inmuebles en las ciudades de Uyuni y La Paz.

Actualmente la Cooperativa “Unión Progreso” es la única empresa que produce azufre de origen volcánico en Bolivia, elemento que para ciertas aplicaciones tiene ventajas comparativas en relación al azufre canadiense.

El mercado actual para el producto constituye principalmente la industria nacional que si bien de manera aislada no es significativa, en conjunto su consumo es apreciable. Estas industrias son: Ingenios azucareros, agricultura del oriente, plantas de ácido sulfúrico, fábrica de detergentes, etc.

3.1.3.1 Inicios de la Cooperativa: La noticia de la organización de los comunarios de Sejcihua, causó recelo y desconfianza por las empresas establecidas (principalmente de origen extranjero), quienes percibían en esta agrupación simples agitadores que obstaculizarían sus operaciones; pero considerándoles incapaces de consolidarse, aseveraban que esta aventura estaba destinada al fracaso.

La etapa de construcción y consolidación de la cooperativa fue la más dura vivida por los cooperativistas, quienes carentes de capital y sin apoyo económico, de alimentación, vestuario, herramientas; además de situaciones ambientales adversas, clima frío y seco, agua insalubre, etc., debían paliar sus necesidades solamente con la férrea voluntad de trabajo; muchas veces se habían convertido en blanco de burlas y mofas de sus vecinos que sarcásticamente esperaban que éste grupo que intentaron competir en el negocio del azufre, “alzarán las manos” en señal de derrota. (Ayaviri, 2011)

Esta etapa concluyó con la instalación de la Planta de Refinación después de mucho tiempo y contingencias, refinarían azufre de igual calidad que las empresas que ya operaban en el sector, situación que les valdría mejores condiciones para negociar el precio de azufre refinado.

A partir de la obtención del producto terminado, se logró mejorar la capacidad organizativa y productiva de los socios de la Cooperativa “UNIÓN PROGRESO”; habían roto el esquema de ser solamente proveedores de mano obra no calificada a todos los pobladores originarios. Habían demostrado que organizados, con un objetivo claro, esfuerzo mancomunado de sus asociados se podrían alcanzar las metas propuestas.

Esta situación de avanzada les valió el reconocimiento y admiración de competidores, las otras comunidades, quienes emularon esta forma de organización e iniciaron proyectos propios en las distintas comunidades de la Provincia Daniel Campos del departamento de Potosí.

ORGANIGRAMA

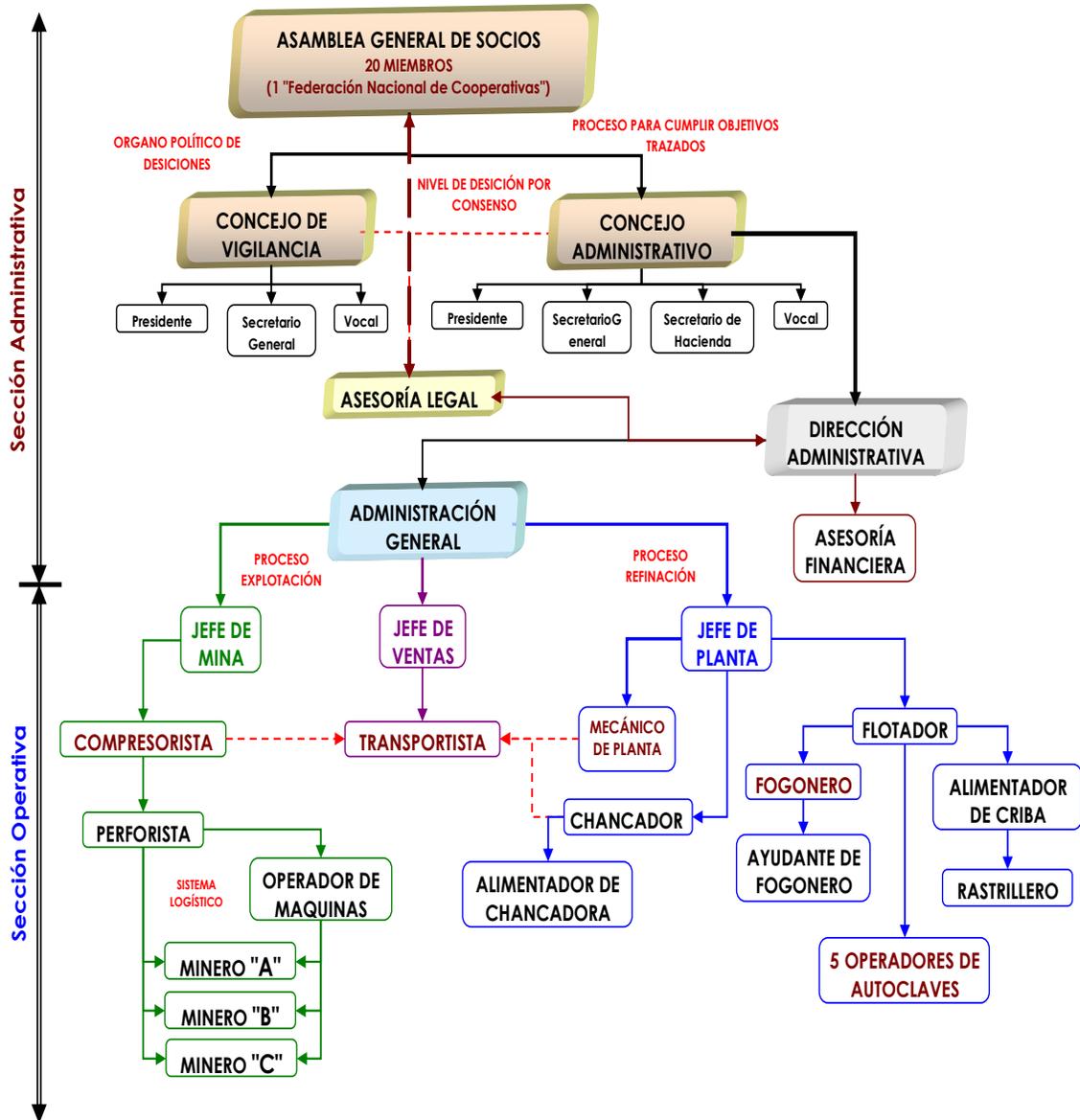


Figura Nº 1.- Organigrama operativo de mina – “Cooperativa Unión Progreso Ltda”

3.1.3.2 Diversificación de sus Actividades: Hacia finales de la década de los 60' del siglo pasado, “UNIÓN PROGRESO” Ltda logró alcanzar sus expectativas iniciales, consolidándose como una organización económica de base, solvente para su

desempeño autogestionario; constituyéndose en una más de las empresas azufreras del sector de San Pablo de Napa al igual que las establecidas anteriormente.

La proyección de esta organización bajo esta nueva perspectiva habida cuenta del panorama alentador del mercado del azufre, fue trascender a nivel provincial y regional, destacándose brigadas de exploración a diversas regiones en busca de nuevos yacimientos no solamente de azufre, sino también de otros minerales metálicos y no metálicos; asimismo en ésta época se acogió nuevos socios que fortalecieron la organización. Las operaciones mineras de diversificación más importantes fueron (Ayaviri, 2011):

- Explotación de azufre en el Cantón Quetena (Prov. Sur LÍpez)
- Explotación de cobre en Jaruma (Prov. Quijarro)
- Explotación de manganeso en Mina Exotica (Prov. Quijarro)
- Explotación de cobre en Puntillas (Prov. NorLípez).

La cooperativa “UNIÓN PROGRESO” Ltda. realizó inversiones importantes en (Ayaviri, 2011):

- Planta de refinación de Chela
- Planta de refinación de Sillajhuay
- Planta de molienda de azufre en Sejcihua
- Producción, procesamiento y comercialización de quinua

3.1.3.3 Situación Actual: La Cooperativa “UNIÓN PROGRESO” Ltda., no fue excepción a la caída del precio de azufre, el mercado chileno se cerró definitivamente; después de más de dos años de paralización de actividades, la cooperativa reinicio sus labores en la Sección de Sillajhuay, donde centralizaron sus operaciones para producir azufre refinado destinado al mercado nacional.

El gran mérito de esta organización en esta etapa fue seguir apostando a la minería del azufre cuando todas las demás empresas abandonaron sus operaciones mineras, actualmente la cooperativa se constituye en la única empresa que produce azufre de origen volcánico en Bolivia, elemento que para ciertas aplicaciones tiene ventajas comparativas en relación al azufre canadiense, que es obtenido como sub producto de la explotación y refinación del petróleo de ultramar.

El mercado actual para el producto constituye principalmente la industria nacional que de manera aislada no es significativa, pero en conjunto su consumo es apreciable. Estas industrias son: Ingenios azucareros, agricultura del oriente, plantas de ácido sulfúrico, plantas metalúrgicas, fábrica de detergentes, etc.

En afán de adecuarse a disposiciones ambientales y políticas de responsabilidad empresarial, "UNIÓN PROGRESO" Ltda., ha implementado medidas de protección y seguridad industrial que favorece al trabajador y al medio ambiente, pese a las difíciles condiciones de trabajo a más de 5800 m.s.n.m.

La perspectiva inmediata en la minería del azufre, consiste en la mecanización y modernización de las distintas etapas del proceso, habida cuenta que existe demanda proyectada por el crecimiento de la industria nacional que se da en varios campos.

3.1.4 Metodología General

3.1.4.1 Tipo de Estudio: El presente trabajo es de tipo descriptivo y propositivo, debido a que a partir de un diagnóstico sobre la demanda de azufre humectable en sector agrícola de Bolivia, se propone la transformación de azufre elemental en azufre humectable en la Cooperativa "Unión Progreso".

Los estudios descriptivos "buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis. Miden o

evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno o fenómenos a investigar". (Hernández, et, al. 2010)

3.1.4.2 Diseño: La investigación tiene un diseño experimental, ya que no sólo se diseña el proceso de elaboración de azufre humectable, sino que se efectúa un experimento piloto en laboratorio para obtener el producto.

Según Roberto Ávila, la investigación experimental "es la descripción y análisis de lo que será u ocurrirá en condiciones cuidadosamente controladas. Es el método clásico de laboratorio y probablemente el método más difícil y más exacto de investigación". (Ávila, 1997)

3.1.4.3 Métodos

Para lograr los objetivos de la investigación se utilizaron los métodos generales del análisis y síntesis.

"El análisis es la separación material o mental del objeto de investigación en sus partes integrantes con el propósito de descubrir los elementos esenciales que lo conforman; por su parte la síntesis consiste en la integración material o mental de los elementos o nexos esenciales de los objetos, con el objetivo de fijar las cualidades y rasgos principales inherentes al objeto". (Rodríguez, et, al. 1994)

3.1.5 Metodología Específica

3.1.5.1 Población y Muestra: La población de estudio estuvo conformada por los ejecutivos de la Cooperativa "Unión Progreso" Ltda., que suman un total de ocho personas que conforman el Directorio.

Por tratarse de una población reducida de personas, no se utilizó ningún criterio de muestreo, sino que se consideró a la totalidad de ellos, es decir a los ocho ejecutivos.

3.1.5.2 Instrumentos: Los instrumentos pertinentes para la recopilación de información fueron: la entrevista estructurada y la investigación documental.

- La **entrevista estructurada** fue dirigida a los ejecutivos de la Cooperativa “Unión Progreso” Ltda., con el propósito de conocer su percepción sobre las perspectivas de la empresa a futuro y la posibilidad de que elabore azufre humectable como una alternativa de diversificación de productos.
- La **investigación documental** fue útil para recopilar información bibliográfica para fundamentar la parte legal y conceptual del trabajo de investigación, así como para recabar información estadística sobre la demanda de azufre humectable en la actividad agrícola de Bolivia.

3.2 Plan y Estrategias de Implementación

El trabajo de investigación se ejecutó bajo el siguiente procedimiento:

- Diagnóstico de la necesidad de elaborar azufre humectable.
- Identificación de materia prima, insumos, maquinaria y equipos para la producción de azufre humectable.
- Diseño del proceso de transformación de azufre elemental en azufre humectable
- Prueba piloto para la obtención de azufre humectable.

4. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados del presente trabajo dirigido, en base a la entrevista realizada a los ejecutivos de la Cooperativa “Unión Progreso” Ltda. El mismo que permite conocer la situación del Azufre Humectable que se produce en el departamento de Potosí.

4.1 Resultados de la Entrevista a Ejecutivos de la Cooperativa “Unión Progreso” Ltda.

4.1.1 En qué Productos está Concentrado la Producción de Azufre de la Cooperativa Unión Progreso

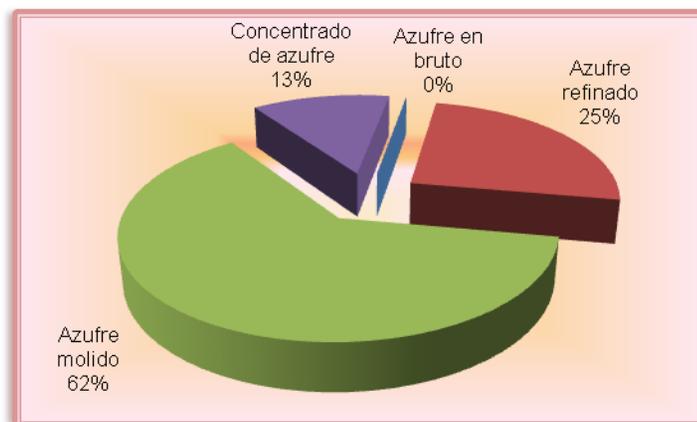


Gráfico N° 1. Productos en los que está concentrada la producción de Azufre de la Cooperativa Unión Progreso

A la consulta realizada respecto a cuáles son los productos en los que está concentrada la producción de azufre de la Cooperativa Unión Progreso, un mayoritario 62% manifiesta que es el azufre molido, el 25% señala que están más avocados al azufre refinado, en tanto que el restante 13% exterioriza que su principal preocupación es el azufre concentrado.

Estos resultados muestra que la Cooperativa Unión progreso tiene como producción principal el azufre molido, cuyo producto final según los ejecutivos es de máxima

pureza, y el cual es solicitado para diversos usos, entre los cuales se encuentra la agricultura.

4.1.2 Principales Mercados del Azufre Producido por la Cooperativa Unión Progreso

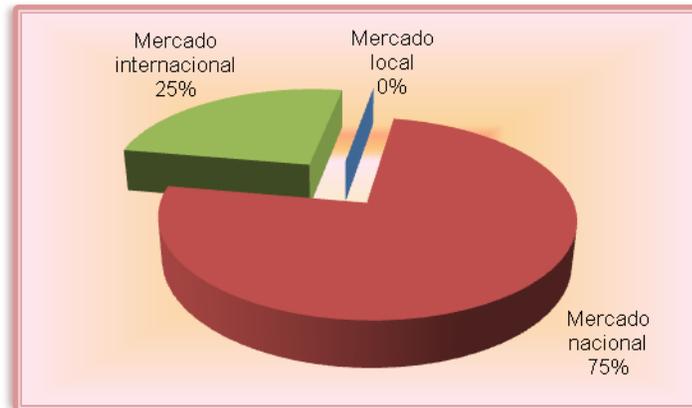


Gráfico N° 2. Principales mercados del Azufre

A la consulta de cuáles son los principales mercados, según el 75% expresa que es el mercado local para diversos usos, en tanto que el 25% de los ejecutivos manifiesta que la producción de azufre tiene acogida en el mercado internacional.

Según los ejecutivos entrevistados y en concordancia con los resultados que se muestra en el gráfico precedente, se puede señalar que el azufre que produce la Cooperativa “Unión Progreso”, tiene aceptación en el mercado nacional, como en el mercado internacional, por lo cual se esmeran de manera permanente en contar con una producción de calidad.

4.1.3 Evolución de la Demanda de Azufre por parte de la Industria Boliviana en los Últimos 5 años

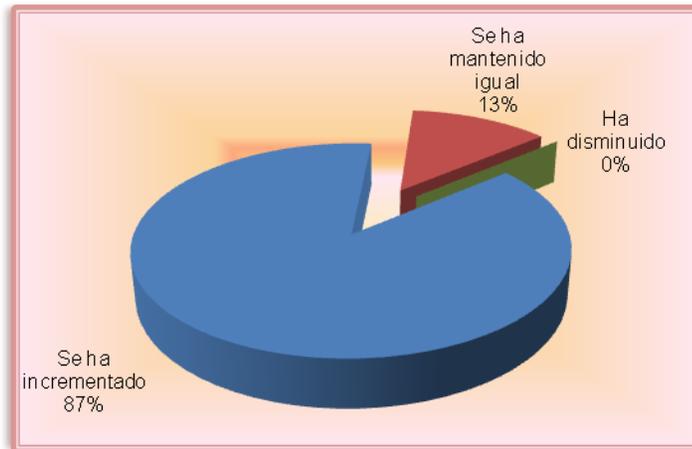


Gráfico Nº 3. Evolución de la demanda de Azufre por la Industria Boliviana en los últimos 5 años

A la pregunta, referida a la evolución de la demanda de azufre por parte de la industria boliviana en los últimos 5 años, según el 87% el mismo se habría incrementado, en tanto que para el 13% se ha mantenido invariable, para ninguno de los entrevistados la demanda ha disminuido.

Por los resultados obtenidos en la investigación, se puede exteriorizar que la demanda de azufre elemental no solo cuenta con aceptación en el mercado, sino que el mismo ha evolucionado de manera positiva.

4.1.4 Evolución de la Demanda de Azufre Humectable en el Sector de la Agricultura Boliviana en los Últimos 5 años



Gráfico Nº 4. Evolución de la Demanda de Azufre Humectable en la Agricultura en los Últimos 5 años

Respecto a la evolución de la demanda de azufre humectable en el sector de la agricultura boliviana en los últimos 5 años, según el mayoritario 75% el mismo se ha incrementado de forma importante, aunque un 25% manifiesta que se ha mantenido invariable durante el último quinquenio.

El azufre muestra una importante demanda para su uso en la agricultura, según los entrevistados esto se debe a que la producción de la Cooperativa “Unión Progreso” es de alta calidad, lo que deja satisfechos a los clientes, y motiva a mantener los niveles de producción y aumentar la capacidad del mismo.

4.1.5 La Cooperativa Unión Progreso prevé Diversificar su Producción de Azufre en los Próximos Años

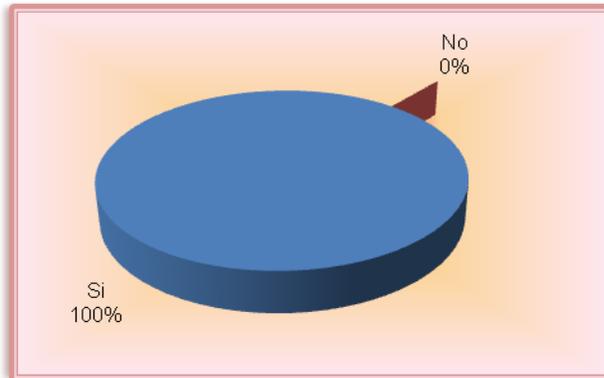


Gráfico N° 5. La Cooperativa Unión Progreso prevé Diversificar su Producción de Azufre

A la pregunta formulada si la Cooperativa Unión Progreso prevé diversificar su producción de azufre en los próximos años, la totalidad de los ejecutivos (100%) dio a conocer una respuesta afirmativa.

Los ejecutivos, están convencidos de que la producción de azufre debe y tiene que diversificarse, para atender la demanda del mercado nacional y a futuro del mercado internacional, ya que la Cooperativa promueve un producto de alta calidad, que no tiene nada que envidiar a la producción de países extranjeros.

4.1.6 La Elaboración de Azufre Humectable sería una Alternativa Viable para Diversificar la Producción de la Cooperativa Unión Progreso

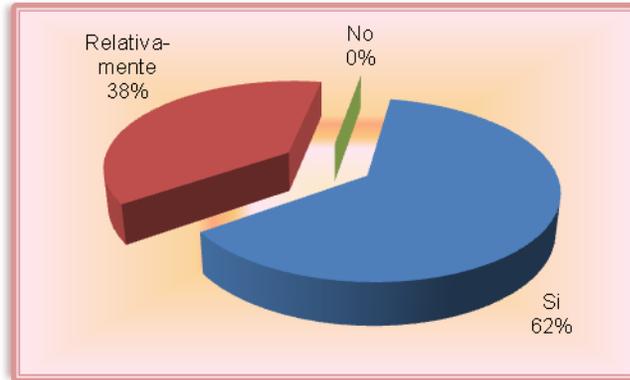


Gráfico Nº 6. La Elaboración de Azufre Humectable sería una Alternativa Viable Para Diversificar la Producción

Consultados los ejecutivos sobre si la elaboración de azufre humectable sería una alternativa viable para diversificar la producción de la Cooperativa Unión Progreso, el 62% manifiesta una respuesta afirmativa, en tanto que el 38% expresa que la alternativa sería solo una alternativa relativa.

Los resultados que se muestran en el gráfico respectivo, muestra que la mayoría de los ejecutivos considera que la elaboración de azufre humectable se constituye en una alternativa viable que permita la diversificación de la producción de la Cooperativa “Unión Progreso”.

4.1.7 La Región cuenta con Materia Prima Suficiente para la Producción de Azufre Humectable

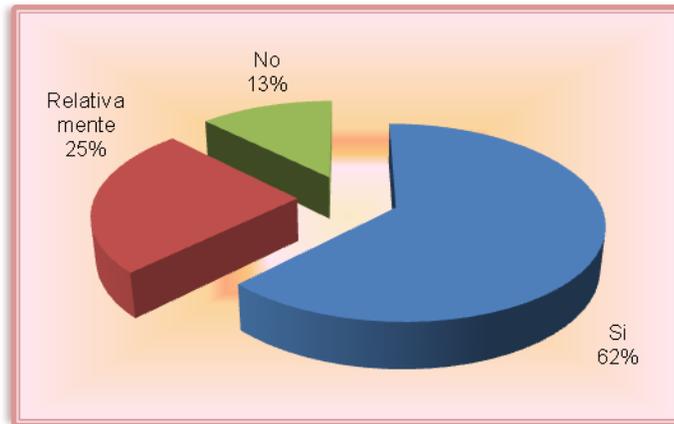


Gráfico N° 7. La Región cuenta con Materia Prima Suficiente Para la Producción de Azufre Humectable

Consultados los ejecutivos si consideran que la región cuenta con materia prima suficiente para la producción de azufre humectable, el 62% respondió de forma afirmativa, seguido del 25% que señala que solo de forma relativa, y el restante 13% dio a conocer una respuesta negativa.

De acuerdo a los ejecutivos: la zona donde se produce el azufre por parte de la Cooperativa "Unión Progreso", cuenta con materia prima suficiente o por lo menos de forma relativamente, por lo cual la cooperativa prevé realizar una mayor inversión con la finalidad de satisfacer la demanda nacional y poder llegar a penetrar en el mercado internacional, porque su producción además la consideran de alta calidad.

4.1.8 En la Cooperativa Unión Progreso, se cuenta con Equipos y Maquinaria Necesaria para la Elaboración de Azufre Humectable

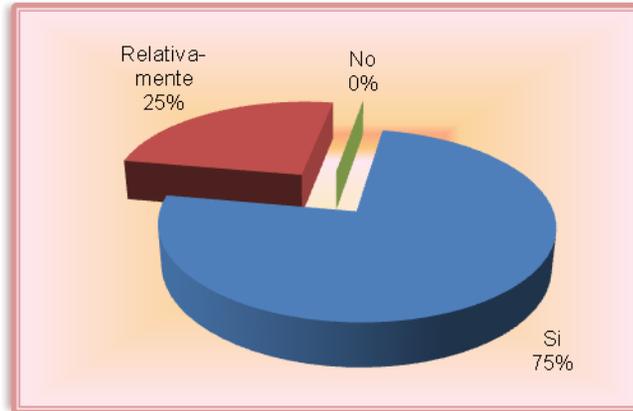


Gráfico N° 8. En la Cooperativa, se cuenta con Equipos y maquinaria Necesarios para Elaboración de Azufre Humectable

El 75% de los ejecutivos entrevistados manifiesta que en la Cooperativa Unión Progreso, se cuenta con equipos y maquinaria necesarios para la elaboración de azufre humectable, aunque el 25% exterioriza que relativamente se cuenta con las herramientas necesarias.

Para los ejecutivos, es motivante contar con los equipos y maquinaria necesaria y esto les permite plantearse diversificar además de mejorar la producción, así como también buscar nuevos mercados, y constituirse en una empresa líder en el rubro del azufre tanto a nivel nacional como internacional.

4.1.9 En la Cooperativa Unión Progreso, se cuenta con Recursos Humanos Calificados y Suficientes para Empezar la Producción de Azufre Humectable

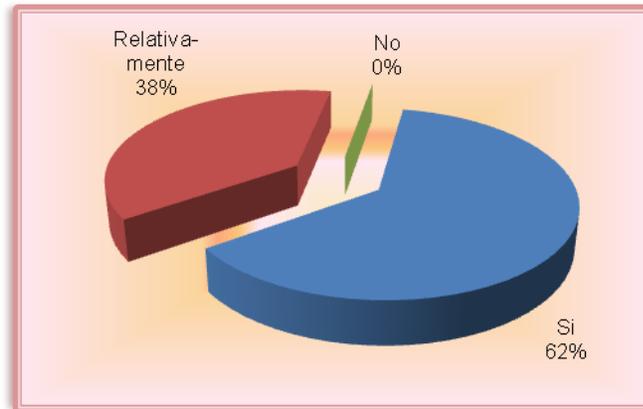


Gráfico N° 9. Se cuenta con Recursos Humanos Calificados y Suficientes para Empezar la Producción de Azufre Humectable

Consultados los ejecutivos si consideran que la Cooperativa Unión Progreso, cuenta con recursos humanos calificados y suficientes para emprender la producción de azufre humectable, el 62% manifiesta que si, en tanto que el 38% ha exteriorizado que la capacitación del personal es indispensable.

Las respuestas muestran que la mayoría de los ejecutivos de la Cooperativa “Unión Progreso”, consideran que su personal está lo suficientemente capacitado para la producción de azufre, pero además reconocen que la capacitación debe ser permanente, lo cual también se traduce en un mejor rendimiento y calidad de la producción.

4.1.10 Beneficios que trae la Producción de Azufre Humectable

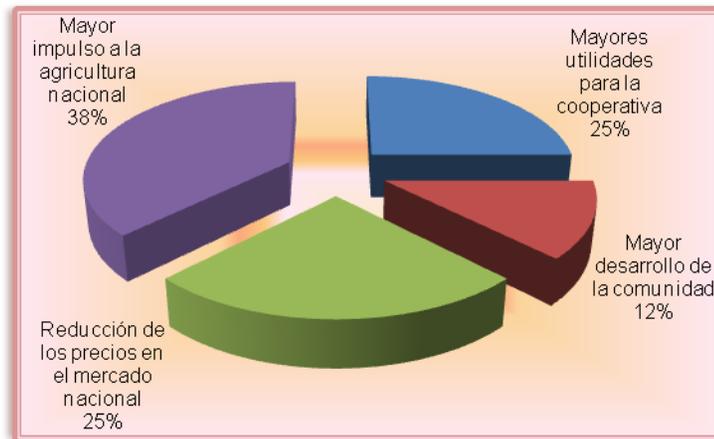


Gráfico Nº 10. Beneficios que trae la Producción de Azufre Humectable

A la pregunta formulada de cuáles serían los beneficios que trae la producción de azufre humectable, el 38% señala que daría mayor impulso a la agricultura nacional, el 25% considera que la producción de azufre reditúa mayores utilidades a la cooperativa, otro 25% expresa que los beneficios se traducen en una reducción de precios en el mercado nacional, y el restante 12% señala que la producción trae como consecuencia un mayor desarrollo para la comunidad.

Los ejecutivos de la Cooperativa “Unión Progreso”, detallan los beneficios que consideran trae la producción de azufre humectable, la importancia parte desde la mejora de la producción agrícola en el país, pasando por el desarrollo de la comunidad, mayores utilidades para la cooperativa y la reducción de precios en el país, dejando de comprar azufre de importación que además tiene un costo más elevado.

5. PROPUESTA

En el presente capítulo se describe el proceso de producción propuesto para la elaboración de azufre humectable en la Cooperativa Unión Progreso Ltda.

Descripción General de la Planta (flujograma)

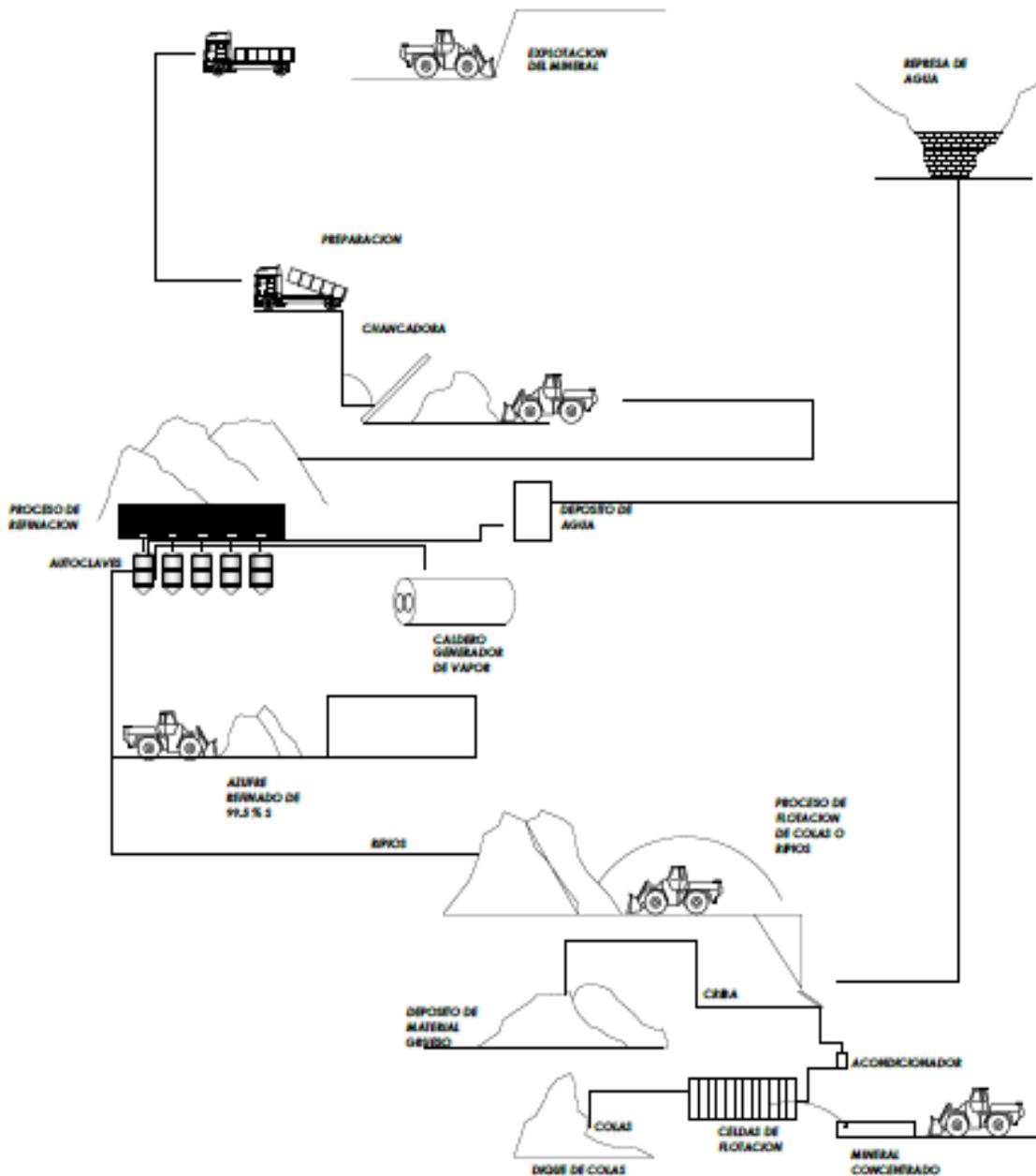
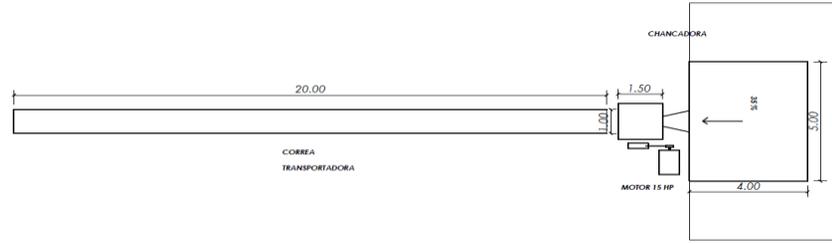
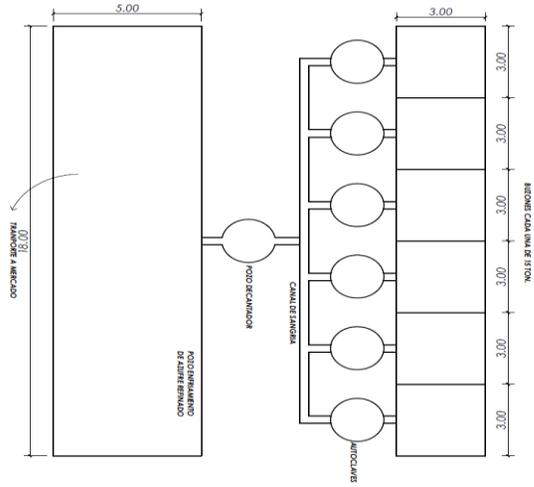


Figura Nº 2. Descripción de la planta

La planta de producción debe estar adecuadamente implementada para facilitar la producción y los objetivos propuestos por la Cooperativa, los mismos que se verán reflejados al realizar el balance anual respectivo.

PROCESO DE REFINACION



PERFIL PLANTA DE REFINACION

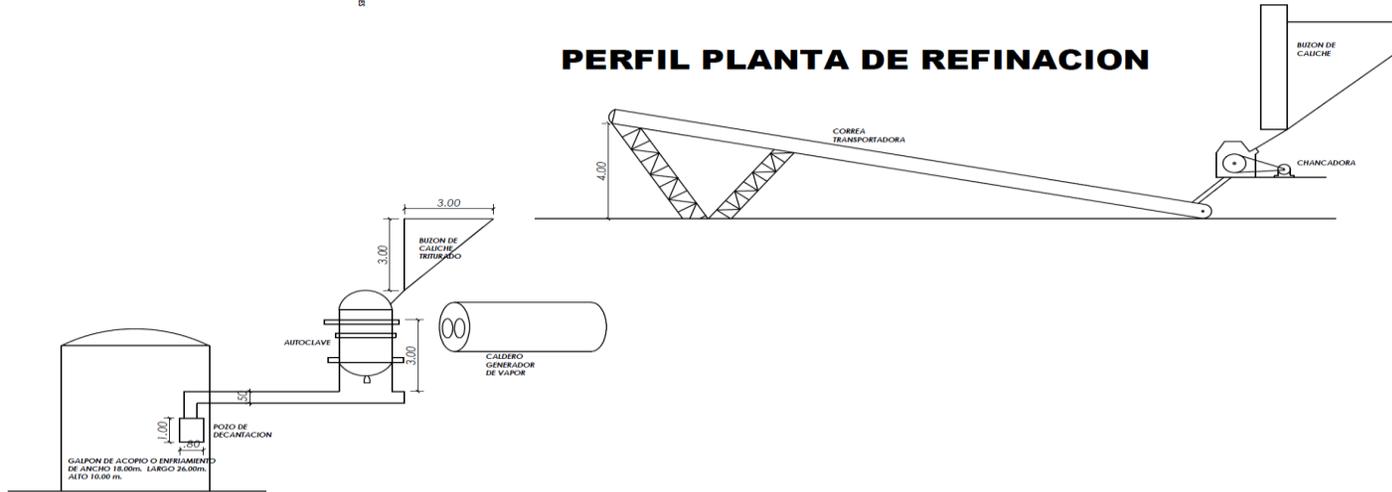


Figura Nº 3. Proceso de Refinación y Perfil de la Planta de Refinación

5.1 Minería

5.1.1 Descripción del Método de Explotación

La explotación del mineral es a cielo abierto a partir de la cota 5500, el banco sigue contorno al domo mineralizado en el flanco Oeste, más de un década de explotación ha permitido aperturar más de 40 metros; espacio que permite fácil maniobrabilidad de las maquinarias de explotación y transporte.

El domo en su contorno tiene una pendiente elevada, situación que condiciona para la apertura de un solo banco que avanza en un mismo nivel, el domo mineralizado a partir de la cota 5500 tiene una altura mayor a los 60 metros. Actualmente la altura del piso hasta la altura del frente de explotación ha alcanzado más de 20 metros.

La explotación se realiza mediante voladuras de pequeña escala realizadas en la parte superior, el arranque es facilitado por la gran pendiente para la reducción de tamaño en la caída, cuyos escombros después de una selección visual por el operador de la pala cargadora, es transportado en camiones volqueta a la Planta de Refinación o el depósito de estériles.

Para mantener el avance del banco se procede a realizar voladuras del frente mediante la perforación de taladros por medio de perforadoras accionados por un compresor que facilita la labor del arranque; cuando los escombros sobrepasa el tamaño adecuado para su transporte, se realiza pequeñas voladuras para reducir su tamaño.

El comportamiento de la mineralización en el frente de arranque, mantiene una regularidad en su concentración, la diferencia de leyes está determinada por el nivel de metasomatismo de los gases sulfuros que tienen mayor concentración en las zonas agrietadas ó en la parte superior, situación que requiere una explotación continua en torno al domo.

5.1.2 Preparación

La preparación de la explotación de acuerdo al sistema de explotación adoptado, consiste en la apertura de vías de acceso en contorno al domo escogido, labores que permiten identificar también el comportamiento de la mineralización en diferentes sectores. Las labores de preparación también está destinado a la apertura de acceso en los flancos para las labores de perforación y voladura en los flancos del lomo; sin embargo el volumen de labores de preparación es mucho menor en comparación con las labores de explotación.

Es necesario también resaltar la apertura del acceso realizado desde el campamento hasta la mina, cuya distancia de más de 12 Km aperturado en roca con pendientes abruptas, requiere una mantenimiento permanente ya sea en el retiro de coluvios de las partes elevadas o por efectos de nieve que anualmente cubren el acceso y el frente de explotación en época invernal y de lluvias.

5.1.3 Manejo de Mineral

El mineral arrancado en el frente de explotación mediante inspección visual por Jefe de Mina es clasificado in situ para su transporte a la Planta de Refinación o al desmonte de estériles; la ley óptima es necesario contar con tenores mayores a 45 %, pero para una explotación masiva es aceptable mayor a 30 %.

El mineral con el tamaño adecuado, es trasladado en camiones volqueta y carguío mediante una pala cargadora, al destino que haya sido dispuesto.

5.1.4 Perforación Voladura

La perforación se realiza con equipos de perforación YT-27 industria china, los cuales son accionados por una Compresora marca Ingersold Rand de 350 cc de capacidad, la perforación se realiza con taladros largo de 2,40 m.; la perforación no sigue ningún

patrón específico, la voladura en la parte superior ocasiona generalmente grandes desprendimientos de carga que una vez realizado la limpieza, solo es necesario realizar voladura para nivelar el frente de explotación.

La voladura se realiza utilizando como iniciador fulminantes y dinamita y como carga ANFO en una proporción 94/6; además el encendido se realiza por medio de una guía impermeable de acuerdo a las necesidades en cada caso. La voladura se realizan con cargas puntuales para tener un mayor control sobre la ley y el tamaño de grano; todo el proceso de cargado del ANFO se realiza en forma manual completando el retacado con masa de arcilla.

5.1.5 Equipo y Maquinaria

El Equipo y maquinaria destinada a la explotación del yacimiento está compuesto por:

- Pala cargadora Cat 950 B con una capacidad del balde de 3 m³ de capacidad.
- Compresora Ingersold Rand de 350 cc de capacidad con 4 conductos de salida.
- Dos Equipos de perforación YT -27 con sus accesorios.
- Tres Camiones volqueta de 12 m³ de capacidad marca Volvo
- Herramientas manuales.

5.1.6 Seguridad Industrial Minera

El trabajo a más de 5500 msnm requiere observar seguridad industrial para la protección del personal, el equipo y maquinaria que participa en la explotación de mineral de azufre en la cordillera Sillajhuay; siendo sus principales objetivos los descritos a continuación: (OIT, 1991)

- Impedir accidentes y efectos nocivos para la salud de quienes trabajan en el proceso de explotación, así como las enfermedades derivadas de ese trabajo.

- Garantizar un desarrollo planificado de las labores, uso de maquinaria y equipo adecuado observando las debidas medidas de seguridad.
- Proporcionar medios para analizar, desde el punto de vista de la seguridad, la salud y las condiciones de trabajo.

En función a estos objetivos la Cooperativa Minera Agrícola “UNIÓN PROGRESO” Ltda., en aras de la seguridad industrial ha adoptado las siguientes medidas:

- Proporciona equipo de protección y seguridad a todo el personal compuesto por overol término, guantes, cascos, lentes, herramientas etc., para que las labores se lleven a cabo bajo condiciones de seguridad y salud para el trabajador.
- Control estricto para que las maquinarias de la mina, el equipo, las sustancias, los procedimientos y los métodos de trabajo sean, en la medida de lo posible, seguros y sin riesgo para la salud.
- Debido a que las labores se realizan a elevada cota, durante períodos de nieve, viento o lluvia, se evita exponer al trabajador a riesgos naturales.
- La asistencia es permanente de un auxiliar de enfermería que tiene basé en la población de Bellavista distante 12 Km del campamento.
- El mantenimiento de las carreteras es permanente para evitar accidentes en el recorrido debido a la pendiente elevada.
- De la misma manera la las maquinarias y camiones de transporte son constantemente revisados para garantizar un trabajo eficiente.

5.1.7 Movimiento de Cargas Diarias como Anuales

El transporte del mineral del frente de explotación a la Planta de Refinación cuenta con la siguiente maquinaria:1 Pala Cargadora y 3 camiones volqueta de 20 toneladas, la distancia de la mina hasta la planta es de 12 Km con un desnivel de 1000 metros; cada automóvil realiza el ciclo completo en 1 hora y media. El movimiento de carga programa es de 60 por día, 1560 al mes y 18720 al año.

Si bien esta es la capacidad nominal del movimiento de carga, este programa es bastante afectado por diversas contingencias como: Inclemencias climáticas, provisión de insumos combustibles, etc. que obligan prevenir mediante el incremento de la capacidad de transporte aumentando ciclos de transporte para garantizar el programa de producción.

5.1.8 Requerimiento de Personal

El personal requerido para la explotación minera es el siguiente:

- Jefe de mina, 4 operarios, 1 Operador de pala cargadora y 3 Chóferes

5.1.9 Costo de Operación Mina

De acuerdo a la siguiente Tabla determina el costo de la operación de acuerdo al Balance 2009 -2010. El costo de la explotación es el siguiente:

Cuadro Nº 1 Costo de operación Expresado en Bs.

EXPLOTACIÓN MINA	UND.				
INVENTARIO INICIAL CALICHE	377,000				34.103,33
TRABAJOS MAQUINA			52.083,27		
MANO DE OBRA DIRECTA			604.067,12		
MANO DE OBRA INDIRECTA			1.758,00		
TRANSPORTE CALICHE			84.974,25		
MANTENIMIENTO CAMINOS			17.131,29		
MATERIALES Y EXPLOSIVOS			47.794,19		
SEGURIDAD INDUSTRIAL			9.691,45		
CARGAS SOCIALES			31.955,97		
DEPRECIACIONES			145.178,61		
REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO VEHÍCULOS MINA			24.976,32		
CARGUIO Y MANIPULEO			750,00		
REPUESTOS VEHÍCULOS Y MAQUINARIA MINA			7.198,18		
CARBURANTES Y LUBRICANTES MOV. MINA			4.741,71		
COMPRESORA ATLAS COPCO			8.564,30		
ENSERES DE CAMA MINA			151,56		
DISTRIBUIBLES			9.681,11		
COSTO CALICHE:					1.050.697,33
CANTIDAD PRODUCIDA T.M.....	8.775,000				
COSTO UNITARIO DE CALICHE POR T.M.....			119,74		

5.2 Metalurgia

El producto principal de la Cooperativa Minera Agrícola “UNIÓN PROGRESO” Ltda. es la producción de azufre refinado de 99% S, para ello cuenta con una Planta de Refinación por el sistema de autoclaves que utiliza el principio de evacuación de sus fundidos una vez sometido el mineral de azufre a condiciones de presión y temperatura superiores a su punto de fusión.

El principio se fundamenta de acuerdo a Hazen (1929) y Crowley (1936) en que una vez fundidas las partículas de azufre forman pequeñas gotas que, bajo condiciones adecuadas de agitación suave o rotación, coalescente. Esto favorece su escurrimiento a través de la masa de la ganga decantándose en el fondo del autoclave.

Debido a la elevada tensión interfacial azufre líquido –agua, las partículas de la ganga, más densas que el azufre, no penetran dicha interface, flotando sobre la misma. Se forman así tres fases de abajo arriba: azufre líquido, ganga en suspensión en la fase acuosa y agua libre de ganga.

Este procedimiento de fusión en autoclave, con la única agitación debido a la entrada de vapor de agua por un ciclo de 45 minutos, determina la refinación del azufre que al concluir el ciclo es evacuado en forma líquida por la parte inferior del autoclave.

5.2.1 Capacidad de la Planta

La capacidad de refinación de la planta de refinación está limitado por la capacidad del autoclave, número de autoclaves y número de ciclos de operación. De acuerdo a esta información, la Cooperativa “UNIÓN PROGRESO” Ltda, cuenta con una planta de cinco autoclaves en operación más un stand by, con capacidades de 1,8 TM por ciclo, el ciclo por día laboral es de 10. Por lo tanto la capacidad diaria es de 90 TM/ día.

La ley de cabeza óptima para la refinación de caliches de azufre por el sistema de autoclaves es de 45 %, para cuya ley la recuperación es de 45%, para leyes menores la recuperación también disminuye y para leyes mayores incrementa, en el caso presente es prioridad alcanzar una ley de 45 %.

La baja recuperación de la planta da como resultado azufre refinado de 99,5 % S y las colas o ripios con una ley de 31% S, la mayor parte de este producto ha disminuido ostensiblemente su tamaño de grano por la acción del vapor de agua; asimismo ha favorecido el crecimiento de las partículas de azufre mejorando sus propiedades de flotabilidad. (No es posible flotar el mineral en una primera instancia debido al reducido tamaño de grano del azufre (10 um), cuando este es sometido al proceso de refinación incrementa su tamaño mayor a 10 veces)

Los rípios resultantes de la planta de refinación, después de una acumulación periódica, son trasladados a la planta de flotación distante a una distancia de 800 metros, La planta de concentración por flotación de rípios o colas de azufre consta de un Buzón que regula el flujo de la carga, un clasificador vibratorio, un acondicionador estacionario y 6 celdas de flotación N° 24.

El rechazo del proceso de clasificación granulométrico es acumulado en el depósito transitorio de material grueso para su molienda futura o utilizado como rípio para la reparación de carreteras; dependiendo de los procesos anteriores puede tener alto o bajo contenido de material recuperable.

El concentrado de la flotación es depositado en los estanques para la limpieza de lamas y filtración, ambas operaciones se realizan de manera gravimétrica y control visual del Jefe de la Planta de Flotación. Las colas de la Planta de Concentración por gravedad son evacuadas al depósito de colas finales.

Para la provisión de agua de la planta de flotación, se tiene una represa que acumula agua de una vertiente aguas arriba con un caudal de 3,5 L/s, el pH de este líquido es de 3,5, muy favorable para la flotación de sulfuros. La represa tiene una capacidad de 200 m³, que es trasladado hasta la planta de concentración por un acueducto de 50 milímetros de diámetro que deposita el agua en el proceso de clasificación.

El funcionamiento de la planta de concentración se da en forma periódica una vez que haya acumulación suficiente de rípios para el funcionamiento normal de la planta, nominalmente una semana por mes.

El mineral concentrado de la planta de concentración que tiene una ley de 95% de Azufre, para su purificación son nuevamente trasladados a la planta de refinación que tienen un funcionamiento más eficiente con mineral de alta ley, reduciéndose inclusive el tiempo de cocción en los autoclaves; siendo este de 35 minutos.

La refinación de ripios concentrados se complementa con la refinación de mineral de caliche, alternando de manera cíclica con el proceso primario. El producto de ambos procesos tienen la misma pureza mayor a 99,55 % S.

5.2.3 Sección Trituración

El tamaño óptimo de mineral para la refinación en el autoclave, es menores a 2 pulgadas, pero también evitando que sea pulverizado porque perjudica el proceso, para ello el mineral de la mina es triturado en una chancadora de mandíbulas de tamaño 14 x 17 pulgadas. El mineral triturado es trasladado a los buzones de la planta de refinación.

5.2.4 Refinación de Caliche

El proceso de refinación de azufre de caliche, se produce en el autoclave estacionario, que es un recipiente cilíndrico cerrado en posición vertical, construido de hierro fundido, con revestimiento de concreto interiormente. Para una capacidad de 2000 kg, las dimensiones extremas son de 1,35 m de diámetro por 2,5 m de alto. Las partes esenciales son:

- a) Puerta de entrada del caliche, que es un orificio circular en la parte superior, provisto de una tapa que es unida por un brazo que gira en torno a un apoyo, Cuando se necesita cerrarla es necesario asegurarla por medio de un gancho denominado candado en el extremo opuesto.
- b) La compuerta de salida de ripios es similar a la anterior pero está ubicado en el costado posterior del autoclave.
- c) Parrilla de retención de los ripios, son planchas de hierro fundido con perforación cónicas de 0,5 pulgadas distribuida en una malla de 4 cm; la parrilla tiene la finalidad de retener los ripios evitando que algunas partículas se mezclen con el azufre refinado en la parte inferior. Está compuesto por cinco secciones para facilitar su limpieza.

- d) Cañerías de entrada de vapor, son de hierro fundido destinado a insuflar vapor de agua a presión y están ubicados por debajo de las parrillas.
- e) Salida de azufre fundido, es un orificio en forma de cono ubicado en la parte inferior del autoclave, es accionado por medio de una palanca para abrir o cerrar el mismo en la evacuación del azufre refinado en estado líquido.
- f) Manómetro, se incorpora este equipo para controlar la presión en el autoclave
- g) Válvula de salida rápida, es una válvula de escape en la parte superior del autoclave, tiene la finalidad de reducir la presión en el autoclave con mayor rapidez.

El ciclo de operación de la autoclave está compuesto principalmente de tres etapas.

- Carguío de caliche y agua.
- Calentamiento mediante el insuflado por vapor de agua de un caldero.
- Evacuación del azufre fundido y colas o ripios en la parte posterior.

La carga del caliche en el autoclave se realiza mediante la abertura de entrada en la partir superior, la carga se realiza hasta un 80 % aproximadamente del volumen total, inmediatamente se agrega agua hasta el nivel de la carga, concluido el proceso de cierra herméticamente para evitar la filtración de vapor.

El calentamiento mediante vapor de agua se produce cuando se procede al suministro de vapor presurado a través de la cañería con este fin hasta que la presión alcance 75PSI, lo que demora 10 a 15 minutos, seguidamente se mantiene la carga a presión constante hasta concluir el ciclo de 45 minutos.

Concluido el período estandarizado, se procede a la evacuación del azufre fundido en estado líquido por la parte inferior accionando la palanca de salida, el azufre en este estado fluye por medio de una canaleta hasta el estanque de enfriamiento donde se solidifica. El sangrado de azufre se detiene cuando empieza a contaminarse el azufre

con restos de ripios, procediéndose inmediatamente a la expulsión de las colas previa reducción de la presión a 2 bares.

Concluido este proceso se inicia el siguiente de manera similar en todos los autoclaves, el proceso es en paralelo uniformando tiempos entre cada uno de los operadores.

5.2.6 Concentración de Ripios por Flotación

El azufre es un mineral hidrófobo por naturaleza, sin embargo la flotación del caliche de manera directa no ha dado los resultados esperados, debido principalmente al tamaño de grano liberado muy fino que perjudica la flotación, sin embargo el material de ripios son favorecidos con el crecimiento de los granos en el proceso de refinación.

Además en el proceso de refinación se produce un desmenuzamiento del tamaño por acción del vapor que favorece el proceso de flotación evitando el proceso de molienda del mineral en este proceso; sin embargo no todos los minerales alcanzan el tamaño deseado existiendo sobre tamaños que es necesario separar por medio de una criba vibratoria; la abertura de la criba es de $\frac{1}{4}$ " en promedio.

El mineral antes de ingresar a las celdas de flotación pasa por un acondicionador estacionario donde se agregan los reactivos para favorecer el proceso. Las celdas de flotación son N° 24 en un número de seis que compone la batería, la flotación se realiza del azufre presente en la pulpa, las colas son depresadas y salen por la parte inferior de celda.

El mineral concentrado es trasladado por gravedad a través de una canaleta a los estanques de filtrado, donde inicialmente se realiza la limpieza de lamas compuestas principalmente por sulfatos y carbonatos de granulometría muy fina que entorpecen el proceso de flotación. Posteriormente luego de ser filtrado el líquido contenido en el

concentrado, se extrae del estanque para trasladarse a los buzones de la Planta de Refinación.

Las colas del proceso de concentración constituyen las colas finales que son conducidos al dique de colas a través de canaletas por gravedad, este material está compuesto por arenas y compuestos sulfurados y carbonatados que en forma de lamas muy finas se encuentran disueltas en el agua; Las colas contienen un 7% de azufre que no es recuperable.

5.2.7 Consumo de Reactivos

Los reactivos que se utilizan en el proceso de flotación son espumante que puede ser MIBC o aceite de pino cuyo caudal de 0,055 Litros/ton y como colector diesel con un caudal de 0,21/tonelada de Ripio, cuyos resultados dan una recuperación mayor al 80 %. El Agua tiene un pH de 3.5, su acidez favorece la flotación del azufre, motivo por lo que no es necesario utilizar modificadores de pH.

5.2.8 Consumo de Agua (Abastecimiento, Cantidad y Calidad)

En el área de la Operación Minera y en una cota superior a la Planta de Refinación, existen varias vertientes en la quebrada Candelaria, el caudal en conjunto es de 3,5 litros/segundo; para un mejor aprovechamiento del mismo se construyó una represa en una angostura natural con una capacidad de 200 m³, principalmente para el proceso de flotación.

La vertiente principal de la quebrada Candelaria, es agua dura con un pH de 3,5, no es apto para el consumo pero es favorable para la flotación del azufre.

5.2.9 Consumo de Vapor de Agua

La producción de azufre refinado tiene como principal insumo vapor de agua, este es generado por un Caldero horizontal cuyas dimensiones extremas son: Diámetro 2,2 m y Largo 7 m., el agua necesario para la vaporización es neutralizado su acidez mediante una lechada de cal en una operación previa.

El requerimiento de vapor de Agua por autoclave es de 300 Kg/hora, siendo el requerimiento actual de 1500 Kg/hora. El consumo de combustible bajo estas circunstancias es de 200 Kg/hora.

Es necesario la generación de vapor de agua mediante un caldero tubular que funcione con combustible líquido y gas; asimismo permita la ampliación de autoclaves hasta un número de 10.

5.2.10 Consumo de Energía (Fuente de Abastecimiento)

Los principales procesos que requieren provisión de energía eléctrica son:

- Trituración de minerales 40 HP
- Clasificador vibratorio 10 HP
- Celdas de flotación 30 HP
- Equipo de soldadura 5 HP

Para suplir esta necesidad se cuenta con un grupo electrógeno de 250 KVA.

5.2.11 Recuperaciones

De acuerdo al balance diario del proceso de refinación de azufre, tenemos los siguientes resultados:

Cuadro N° 2. Balance Diario del Proceso de Refinación de Azufre

PROCESO	MASA	LEY	FINO	RECUPERACIÓN
	Ton	%	Ton	%
Explotación	90.00	34.10	30.69	100.00
Refinación de Caliche	13.34	99.50	12.28	40.00
Ripios	77.66	23.71	18.41	60.00
Clasificación Mat. Grueso	15.53	23.71	3.68	12.00
Clasificación Mat. Fino	62.13	23.71	14.73	48.00
Concentrado por flotación	14.73	80.00	11.78	38.40
Colas de la concentración	47.40	6.21	2.95	9.60
Refinac. de concentrados	10.66	99.50	10.61	34.66
Colas de la Ref. de Conc.	4.07	28.94	1.18	3.84

Sintetizando el proceso combinado refinación – concentración tenemos lo siguiente

Cuadro N° 3. Sintetizando el Proceso de Refinación

PROCESO	MASA	LEY	FINO	RECUPERACIÓN
	Ton	%	Ton	%
Alimentación	90.00	34.10	30.69	100.00
Azufre refinado	23.00	99.50	22.88	75.00
Colas de material grueso	15.53	23.71	3.68	12.00
Colas finales	51.47	8.01	4.12	13.00

El balance refleja el flujo de la carga en todos los procesos, pero si bien el proceso de refinación y el de concentración pueden realizarse de manera simultánea, la flotación está limitada a la cantidad disponible para el funcionamiento de 1 semana como mínimo, ocasionalmente se realiza una semana al mes ó cada 3 meses.

5.3 Costos de Operación Planta

De acuerdo al Estado de Costos de Producción de Azufre Refinado al 30 de septiembre /2010, tenemos lo siguiente:

- Costo promedio unitario de caliche triturado por tonelada métrica 142.87 Bs.
- Costo promedio unitario de generación de vapor de agua por TM 112.42 Bs.
- Costo promedio unitario de azufre concentrado por TM 174.31 Bs.
- Costo promedio unitario de azufre refinado por TM 1076.69 Bs.

5.3.1 Acumulación de Colas

Las colas de la refinación de caliche son depositados temporalmente cerca de la Planta de refinación, este material es transportado periódicamente a la Planta de Concentración por Flotación.

La Planta de Concentración en la etapa de clasificación granulométrica, descarta el material grueso mayor a $\frac{1}{4}$ " que es depositado temporalmente para la incorporación de un proceso de molienda a futuro, las colas finales de este proceso son transportados al depósito de colas por gravedad.

5.3.2 Área Disponible

El área disponible de acuerdo al relevamiento topográfico para la deposición de colas es de 12495,34 m², ubicado en una cuenca natural a cota inferior de la Planta.

5.3.3 Tipo de Dique

El tipo de dique de colas adoptado de acuerdo a la topografía del área destinado a este propósito, es similar a la construcción de un embalse aguas arriba, para lo cual se tiene construido el dique inicial con material impermeable en la parte baja del embalse natural.

El funcionamiento periódico de la Planta hace que la pulpa depositada durante el tiempo de descanso elimina por evaporación el agua acumulada, evitando de esta manera la presión en el dique inicial; el área destinado a la deposición de las colas es un embalse natural protegido de forma natural por ambos flancos, en la parte inferior existe una depresión de quebrada, que es protegido por el dique inicial.

5.2.5 Molino micronizado de Azufre

La Cooperativa Minera Agrícola Unión Progreso, con el propósito de generar valores agregados a su producción ha implementado una planta para la molienda micronizada del azufre refinado, el mismo se encuentra ubicado en la comunidad de Sejcihua, generando fuentes de empleo para los habitantes de la región.

Descripción de la planta de Molienda

Consta de un buzón de acopio de azufre refinado con granulometría menor a dos pulgadas, de donde se inicia el proceso de molienda micronizada, el flujo de la carga sigue por un alimentador al primer molino de impacto, del cual la carga reduce su granulometría a menor de 5 mm, esta carga se almacena en un segundo buzón de 4m³ acumulada la carga hasta un 80% , pasa al segundo molino de impacto siguiendo por un ciclón al tercer molino, pasando a la sedimentación en las cámaras de acopio.

El requerimiento para la elaboración de azufre hemectable, el azufre debe tener diámetros 44 micrones, que en análisis granulométrico el 90% pasen tamices de malla 325, la Planta de Molienda cumple satisfactoriamente este requisito, la calidad del molino produce azufre micronizado donde el 95% pasa malla 400 es decir que tienen un diámetro de menores a 37 micrones como lo confirma el ensayo de laboratorio efectuado por SPECTROLAB.

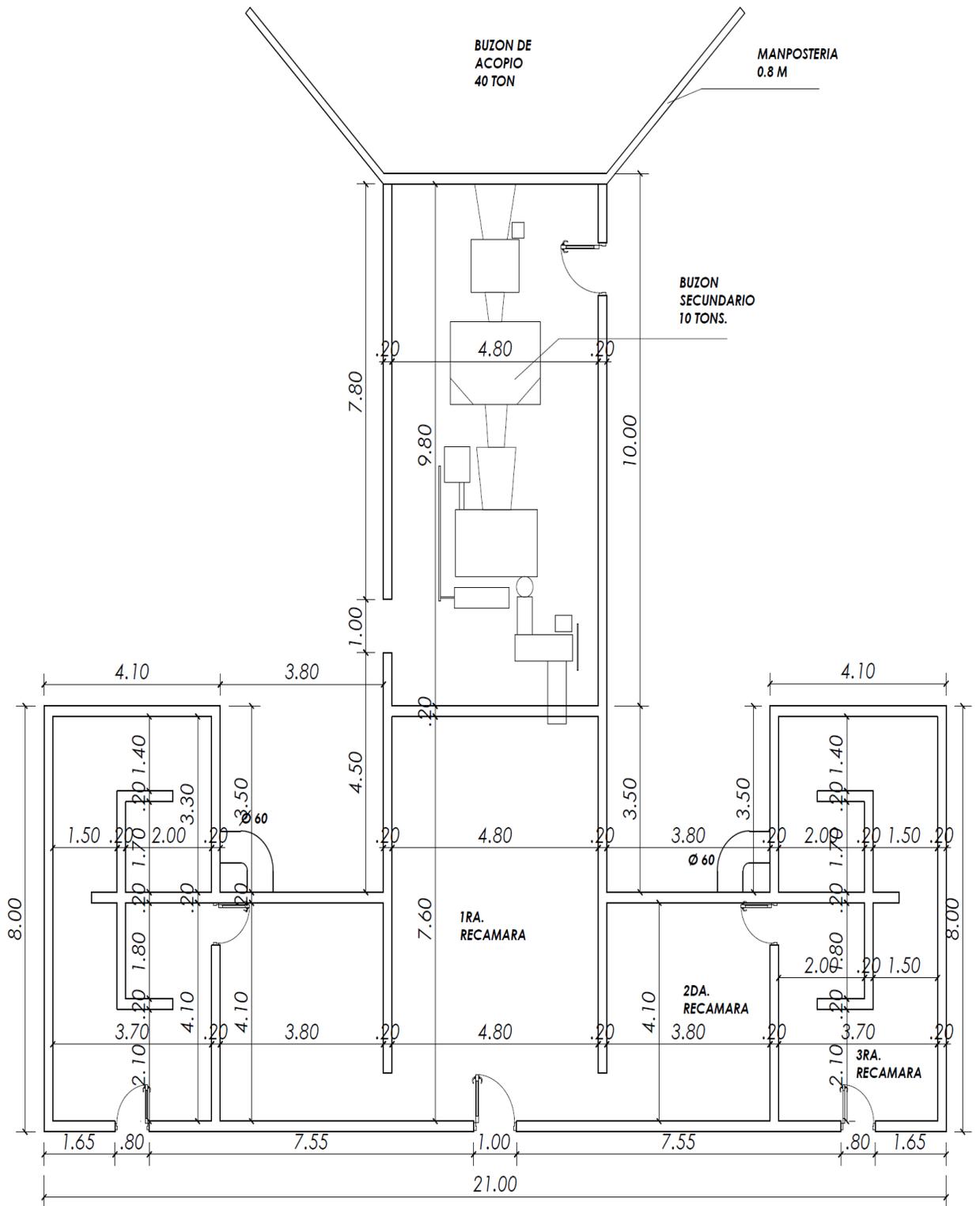
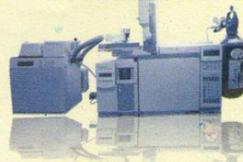


Figura N° 4. Vista Superior Molino de Azufre

a) Informe de ensayo de Granulometria Laboratorio SPECTROLAB
Universidad Tecnica de Oruro

INFORME DE ENSAYO

N°.: 31127

NOMBRE DEL CLIENTE:	Cooperativa Unión Progreso Ltda.	
DIRECCIÓN DEL CLIENTE:	Calle Camacho # 284 - Uyuni	
PROCEDENCIA:	Molino Segeshua**	
CARACTERÍSTICAS:	Azufre	
RESPONSABLE MUESTREO:	Valerio Flores**	FECHA DE MUESTREO 2013-08-10**
FECHA RECEPCIÓN	2013-08-16	FECHA DE ENSAYO Según detalle
PÁGINA	1/1	FECHA DE ENTREGA 2013-08-28

RESULTADOS:

						Código Cliente Azufre Molido
						5452
Parámetros	Unidades	Fecha de Ensayo	Norma / Método	L.D.		
Azufre	S	%	2013-08-26	GRAVIMÉTRICO	0,02	99,95
Retención en malla	%	2013-08-28	Gravimétrico			
# 200						0,05
# 325						0,05
# 400						0,05
Menor a 400						99,85

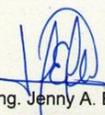
REFERENCIAS

** Responsabilidad del Cliente

LD/ ppm = Límite de determinación en partes por millón .



T.S. Rosmery Torrez Y.
Supervisor



Ing. Jenny A. Espinoza Z.
Jefe de Laboratorio



Ing. Rosario Mená de Bascopé
Resp. Control de Calidad

- Las firmas de los responsables de este trabajo confirman que los resultados finales reflejan verdaderamente los datos originales. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
- El Informe de Ensayo es válido solo si presenta sello seco.
- En caso de que el laboratorio no efectuó el muestreo, no es responsable para la representabilidad, ni la preservación de las muestras.
- Las muestras serán almacenadas por un lapso no mayor a 3 meses en un depósito del laboratorio (en relación a la estabilidad).
- Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin previa autorización escrita del laboratorio.

Dirección: Ciudadela Universitaria
Zona Sud: Final Av. Dehene, Bloque Metalurgia
Casilla 252

e-mail: spectrolab@coteor.net.bo gerencia@spectrolab.com.bo
Página Web: <http://www.uto.edu.bo/servicios/spectrolab.html>
Oruro - Bolivia

Tel/Fax.: (591-2) 5260008
Telfs.: 5262983
5264666

Figura N° 5. Informe de ensayo

b) Composición del azufre humectable

Cuadro Nº 4. Composición Porcentual del Azufre Humectable

Ingrediente activo:	Cantidad
– Azufre elemental	No menos de 90% (Equivalente a 900 g de I.A./kg)
Ingredientes inertes:	
– Humectantes y dispersantes.	No más de 10% Surfactantes no iónicos Dispersantes sales de Sodio
Total	100%

c) Agentes tensoactivos

• Los agentes tensoactivos anionicos

Están caracterizados por la existencia en su molécula de cationes orgánicos e inorgánicos (Na^+ , K^+ Ca^{++} , Ba^{++} , Mg^{++} , NH_4^+ y una parte hidrofílica que contiene los grupos aniónicos ($-\text{COO}^-$, $-\text{SO}_3^-$, $-\text{O}^-$, PO_3^{2-} etc) unido a la fracción orgánica.

Dentro de esta clasificación, exceptuando los jabones, los alquil aril sulfatos y alcoholes sulfatados son de la mayor importancia por su empleo en la formulación de detergentes de uso doméstico e industrial.

Además de los productos anteriores, podemos citar otros agentes de superficie activa aniónica : * Tipo sulfonato - SO_3^- ejemplos : alquil bencensulfonato de sodio Alquil sulfonato de sodio. Alfa olefin sulfonato de sodio.

* Tipo sulfato - $\text{O}-\text{SO}_3^-$ ejemplos : alquil sulfato de sodio Alquil etersulfato de sodio Monoglicérido sulfato de sodio Nonilfenileter sulfato de sodio.

* Tipo fosfato - O - P -O₃(²⁻) ejemplos : alquil fosfato de sodio. ácido oleileter fosfórico alquil eter fosfato de sodio.

*Tipo sulfosuccinatos - C O - CH₂ - CH -SO₃ (⁻) - CO₃ (⁻) . ejemplos: alquileter sulfosuccinato de sodio. Alquilmonoetanolamidasulfosuccinato disódico. Dialquilsulfosuccinato de sodio.

* Tipo sulfoacetato ejemplo : lauril sulfoacetato de sodio CH₃ - (CH₂)_n - CH₂ - O - CO - CH₂ - SO₃(⁻) Na(⁺)

* Tipo derivados de aminoácidos ejemplo : n- lauril sarcocinato de sodio Alquilamidopolipeptidato de sodio

- **Agentes tensoactivos catiónicos**

El término "surfactante catiónico" se refiere a los compuestos que contienen por lo menos una cadena de 8 a 25 átomos de carbono, derivada de un ácido graso o de un derivado petroquímico y un nitrógeno cargado positivamente, el anión suele ser un Cl (⁻) Br(⁻) OH (⁻) , SO₄ (⁻²).

La mayoría de los agentes catiónicos están constituidos por una cadena larga de sales de amonio cuaternarios o sales de alquilaminas. La cadena larga constituye el grupo hidrofóbico, en tanto que el hidrofílico pequeño y altamente ionizado, lo constituye el nitrógeno tetravalente en forma de sales de amonio cuaternario. Estos surfactantes son de menor interés que los agentes aniónicos y no-iónicos pero reside su importancia por su eficiencia bactericida, germicida, algicida etc.

En el catión, el radical R, representa la cadena larga (grupos alquílicos o arílicos); los otros radicales pueden estar reemplazados por átomos de hidrógeno u otros radicales alquílicos. Como ejemplos podemos citar: Cloruro de alquil dimetilbencilamonio , cloruro de cetil trietil amonio

- **Agentes tensoactivos no iónicos**

El término "surfactante no-iónico" se refiere principalmente a los derivados polioxietilenados y polioxipropilenados, también se incluyen en esta categoría los derivados de anhídridos del sorbitán alcanolamidas grasas etc.

Los surfactantes no-iónicos tienen la ventaja de que son estables con la mayoría de los productos químicos en las concentraciones usuales de empleo. Al no ionizarse en agua, no forman sales con los iones metálicos y son igualmente efectivos en aguas blandas y duras. Su naturaleza química los hace compatible con otros tensoactivos aniónicos, catiónicos y coloides cargados positiva y negativamente. Estas características, los hace valiosos como materia prima para la formulación de diversos productos industriales como:

- Agricultura : concentrados emulsionables y polvos mojables.
- Latex : emulsionantes primarios y coemulsionantes.
- Curtido : desengrase, teñido, engrasado.
- Textiles : mercerizado, blanqueado, blanqueado, teñido, descruce.
- Procesos de metales : limpiadores alcalinos.
- Pinturas en emulsión : humectación y dispersión de pigmentos.
- Petróleo : tratamiento de pozos de gas, aditivos para lodos de perforación.
- Pulpa y papel : lavado de pulpa, desentintado de papel, humectantes y suavizantes.
- Como ejemplo de ellos pueden ser:
 - Alcoholes grasos polioxietilenados : alcohol laúrico etoxilado, alcohol oleílico.
 - Alquil fenol polioxietilenados : nonilfenol etoxilado.
 - Ácidos grasos polioxietilenados : ácido oleico etoxilado.
 - Derivados de óxidos de etileno y propileno : alcohol graso etoxilado ó propoxilado
 - Amidas de ácidos grasos polioxietilenados : lauril dietanolamida polioxietilenada.
 - Aminas grasas polioxietilenadas : laurilamina polioxietilenada.

- Esteres de ácidos grasos : monoestearato de etilenglicol.
- Alcanolamidas : lauril monoetanolamida.
- Derivados de azúcar : monolaurato de sacarosa.
- Esteres de ácidos grasos derivados del sorbitol : laurato de sorbitán

d) Surfactante o Adyuvante

Los surfactantes de óxido de alquileo esencialmente no iónicos que son los sistemas adyuvantes preferidos en las formulaciones de la presente invención, son preferentemente aductos de óxido de etileno; más preferentemente, el surfactante es un aducto de óxido de etileno que contiene al menos un mol de óxido de propileno.

Surfactantes esencialmente no iónicos, típicos, son los aductos de óxido de alquileo biodegradables seleccionados del grupo consistente en alcoxilatos de alcoholes tales como “BS1000” y “Teric 164”, aductos de óxido de polialquileo de alcoholes sintéticos tales como “Teric BL8” y “Teric BL9” y Anterox BO327 (preparado por Rhone-Poulenc).

e) Dispersante o coadyuvante

Como antes se ha descrito, el sistema adyuvante puede comprender también una combinación de un surfactante de óxido de alquileo esencialmente no iónico, como anteriormente se ha descrito, con otro surfactante, por ejemplo otro surfactante no iónico.

Un dispersante preferido es la sal sódica de N-metil-N-oleoiltaurato, suministrado comercialmente con el nombre registrado “Hostapon T” (preparado por Hoechst).

f) Equipos de aplicación

Puede utilizarse cualquier maquina pulverizadora (con mangueras o turbina), ya sea manual o motorizada; prefiriéndose las que tienen agitador.

- **Requerimiento y presupuesto de de maquinaria**

Mezcladora volumétrica disconnua a palas costo USD	15.000,00
Transportador a tornillo sin fin	9.000,00
Microdosadores a tornillo sin fin	8.000,00
Embolsadora tetra Pack	8.000,00
Total USD	40.000,00

- **Infraestructura**

La infraestructura necesaria para la implementación de una planta de producción de azufre humectable requiere un galpón de acopio de materiales, un galpón para la maquinaria, un laboratorio y dependencias administrativas.

g) Usos frecuentes

Cuadro N° 5. Usos frecuentes del azufre humectable

CULTIVO	PLAGA	DOSIS g/100l	MOMENTO DE APLICACION
Vid	Oidio (Uncinula necátor)	100	En aplicaciones preventivas cada 2 Semanas
		200 a 300	Al aparecer los signos de la enfermedad
Duraznero	Oidio (Sphaerotheca pannosa)	200 a 300	1 er Aplicación: al hincharse las yemas 2 da aplicación: al aparecer los signos de la enfermedad.
Citricos	Acaro Plateado (Anychus verganii) Acaro del tostado (Phillocoptruta oleivora)	100 a 200	Como preventivo: 1) En perforación. 2) Después de la caída de los pétalos 3) Se recomienda una pulverización adicional con la dosis menor.
	Acaro de la lepra (Brevipalpus obovatus)	200 a 300	
Manzano y peral	Oidio (Podosphaera leucotricha)	300 a 600	En prefloración
		200 a 300	A caída de pétalos
		200 a 100	En pulverizaciones posteriores. Las variedades sensibles al azufre se deberán tratar solo en prefloracion.
Rosal	Oidio (Sphaerotheca pannosa)	250	Comenzar los tratamientos al iniciarse la brotación, repitiendo cada 2 semanas
Pimiento y Melón	Oidio (Erysiphe cichorancearum)	200 a 300	Pulverizar con intervalos de dos semanas

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- A la consulta realizada respecto a cuáles son los productos en los que está concentrada la producción de azufre de la Cooperativa “Unión Progreso”, una mayoría de sus ejecutivos, ha manifestado que es el azufre molido, además que principal preocupación es el azufre concentrado. Por tanto, la Cooperativa “Unión progreso” tiene como producción principal el azufre molido, cuyo producto final según los ejecutivos es de máxima pureza, y el cual es solicitado para diversos usos, entre los cuales se encuentra la agricultura.
- Por los resultados obtenidos en la investigación, se puede concluir que la demanda de azufre humectable no sólo cuenta con aceptación en el mercado nacional e internacional, sino que el mismo ha evolucionado de manera positiva, lo cual es visto como un aspecto positivo por los ejecutivos de la Cooperativa.
- El azufre que produce la Cooperativa “Unión Progreso” Ltda., muestra una importante demanda para su uso en la agricultura; se concluye que esto se debe a que la producción de la Cooperativa es de alta calidad, lo que deja satisfechos a los clientes, y motiva a mantener los niveles de producción y aumentar la capacidad del mismo.
- La investigación concluye que la elaboración de azufre humectable se constituye en una alternativa viable que puede permitir la diversificación de la producción agrícola, a lo cual la Cooperativa “Unión Progreso” está aportando de manera positiva.
- De acuerdo a la investigación desarrollada, la zona donde se produce el azufre por parte de la Cooperativa “Unión Progreso”, cuenta con materia prima suficiente, por lo cual la cooperativa prevé realizar una mayor inversión con la

finalidad de satisfacer la demanda nacional y poder llegar a penetrar en el mercado internacional, porque su producción además la consideran de alta calidad.

- Los ejecutivos de la Cooperativa “Unión Progreso” consideran que su personal está lo suficientemente capacitado para la producción de azufre, pero además reconocen que la capacitación debe ser permanente, lo cual también se traduce en un mejor rendimiento y calidad de la producción.
- La producción de azufre humectable beneficia en la mejora de la producción agrícola en el país, además que el mismo genera desarrollo para la comunidad, mayores utilidades para la cooperativa y la reducción de precios en el país, dejando de comprar azufre importado que tiene un costo más elevado.

6.2 Recomendaciones

- Según los ejecutivos entrevistados, se puede señalar que el azufre que produce la Cooperativa “Unión Progreso”, tiene aceptación en el mercado nacional, como en el mercado internacional, por lo cual se esmeran de manera permanente en contar con una producción de calidad. Exigiendo a las autoridades poder apoyar la producción de azufre a través de la búsqueda de mercados en el exterior del país.
- De acuerdo a los resultados de la investigación, se recomienda aumentar la producción de azufre humectable, porque el mismo cuenta con aceptación en el mercado, por lo cual las autoridades del área de la minería deberían brindar su total apoyo.
- Se recomienda que la producción de azufre, debe y tiene que diversificarse, para atender la demanda del mercado nacional y a futuro del mercado internacional,

ya que la Cooperativa promueve un producto de alta calidad, que no tiene nada que envidiar a la producción de países extranjeros.

- La Cooperativa “Unión Progreso” Ltda. Cuenta con los equipos y maquinaria necesaria y esto les permite plantearse diversificar además de mejorar la producción, planteándose buscar nuevos mercados, y constituirse en una empresa líder en el rubro del azufre tanto a nivel nacional como internacional.
- La investigación recomienda a la Cooperativa “Unión Progreso”, no descuidar el proceso de capacitación del personal para mejorar la producción de azufre, capacitación que debe ser permanente, además de motivar al personal que se reditué en un mejor rendimiento y calidad de la producción.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Grossman Benjamín (2007). Experiencias de Bolivia sobre la Industrialización de los Recursos Naturales. La industrialización en Bolivia. La Paz, Bolivia: UDAPE – LABOR.
2. ZrazhevskyiDmytro (s/f). Rocas industriales en Bolivia. En: www.bolivianland.net
3. Katz Miguel (2011). Materiales y materias primas. Azufre. Guía Didáctica, Capítulo 4. Ministerio de Educación, Instituto Nacional de Educación Tecnológica. Buenos Aires, Argentina.
4. Kohn, G.K. (1984). La industria de los pesticidas, Kent J.A. México: ed. Manual de Riegel de Química Industrial, CECSA.
5. Ayaviri Clímaco (2011). Cooperativa minera agrícola “Unión Progreso”. Sejcihua, Potosí, Bolivia.
6. Bolivia: Constitución Política del Estado. Promulgado en fecha 07 de febrero de 2009, por Ley N° 3942 de la Asamblea Constituyente.
7. Bolivia: Código de Minería. Ley N° 1777 de 17 de marzo de 1997.
8. Bolivia: Plan Nacional de Desarrollo: Bolivia Digna, Soberana, Productiva y Democrática para Vivir Bien – Lineamientos Estratégicos. Decreto Supremo N° 29272 de 12 de septiembre de 2007.
9. Ministerio de Minería de Chile (1962) LA minería del azufre en Chile. Edit. Servicio de Minas del Estado. Santiago.
10. Garcés Ingrid (2008). Minerales industriales. Azufre(s). Ficha técnica. Universidad de Antofagasta. Chile.
11. En: <http://www.sernageomin.cl/pdf/publicaciones/anuario2007.pdf>.
12. Matos, Germán E. (1998) Rol Fisiológico de los nutrientes en la vida de las plantas. La Paz – Bolivia.
13. Colinvaux, Paúl A. (1995) Introducción a la Ecología. Editorial Limusa, S.A. México

14. Pastorino, Claudio (2003) Fases Condensadas de Moléculas Flexibles: El Azufre Elemental. Edit. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Departamento de Física. Universidad de Buenos Aires. Argentina.
15. Steudel. R. (1996) *Chemie unserer Zeit*, vol. 30.
16. Venuti E., Cardini G., and Castellucci E. J. *Mol. Struc.*, vol. 266, Págs. 229, 1992. En Pastorino, Claudio (2003)
17. La celda primitiva tiene 4 moléculas.
18. International Tables for X-ray Crystallography. The Kynoch Press, 1952. En Pastorino, Claudio (2003).
19. Pawley, G. S. (1975) Escuela internacional de Física Enrico Fermi, curso LV. AcademicPress.
20. Azufre Mojable. En: <http://www.juanmessina.com.ar/espaniol/index.htm>
21. Sección "2.4 Endosulfan use is low and declining" en Comunicado de Karl Tupper del PANNA a Stephen Jonson Administrador de la EPA del 19 de Febrero 19, 2008. En dicha sección se cita como referencias a la propia EPA, El Informe de Uso de Plaguicidas de la EPA de California, y el Servicio Nacional de Estadísticas Agrícolas. En <http://www.panna.org/files/PANNAEndosulfan-Comments.pdf>.
22. Cicoplafest, Catálogo Oficial de Plaguicidas, México 2005.
23. UNEP Chemicals. Regionally Based Assessment of Persistent Toxic Substances, Central American and the Caribbean Regional Report. December 2002.
24. Guillén, Rodríguez Adolfo Enrique. Azufres de uso agrícola (fungicidas). En: aguillen@terra.com.
25. Zarate R. RubenDario (1988) Uso del azufre en la sanidad de plantas, animales y humanos. Universidad Nacional De Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias de Palmira. Conferencia presentada en el Seminario Nacional "El azufre en la Agricultura" CIAT, setiembre 28, 29, 30.

26. García F.O. y F. Salvagiotti. (2009). Eficiencia de uso de nutrientes en Sistemas agrícolas del Cono Sur de Latinoamérica. En: Actas del XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 16 al 20 de nov. de 2009. Simposio "Eficiencia de la Utilización de Nutrientes en Sistemas Agrícolas".
27. Til. A. R. (2010). Sulphur sources. Chapter 10. In: Sulphur and Sustainable Agricultura. Firstedition. IFA, Paris, France. Pág. 70. En: Tecnología de la fertilización azufrada. Estado actual y tendencias. Artículo adaptado y ampliado de "A review of sulphurfertilizer use and technologymanagement" presentado en el 19th WorldCongress of SoilScience (Brisbane, Australia), 1-6 de agosto de 2010.
28. Burzaco J.O., I.A. Ciampitti y F.O. García. (2009). Mejores Prácticas de Manejo para la Nutrición del Cultivo de Colza-Canola: Archivo Agronómico #13. En: Revista Informaciones Agronómicas N°42. IPNI Cono Sur. Junio.
29. Horowitz N. & E.J. Meurer. (2007). Relationship between soil attributes and elemental sulfur oxidation in 42 soil samples from Brazil. R.Bras.Ci.Solo, En :InformacionesAgronómicas. N°12. Dezembro. POTAFOS.
30. Boswell C.C. & D.K. Friesen. (1993). Elemental sulfur fertilizers and their use on crops and pastures. Fertilizer Research. Pág. 35. En :InformacionesAgronómicas. N°12. Dezembro. POTAFOS.
31. Blair G.J., R.D.B. Lefroy, M. Dana & G.C. Anderson. 1993. Modelling of sulphur oxidation from elemental sulfur. Plant and Soil. 155/156: 379-382. En: Tecnología de la fertilización azufrada. Estado actual y tendencias. Artículo adaptado y ampliado de "A review of sulphurfertilizer use and technologymanagement" presentado en el 19th WorldCongress of SoilScience (Brisbane, Australia), 1-6 de agosto de 2010.
32. Tisdale S.L., W.L. Nelson, J.D. Beaton & J.L. Havlin. 1993. Soil and fertilizar sulfur, calcium and magnesium. In: Soil Fertility and Fertilizers. Fifth edition. Macmillan Publishing Company.

33. Tysko M. B. y M.B. Rodríguez. (2006). Respuesta del doble cultivo trigo/soja a la fertilización azufrada. *Revista Ciencia del Suelo (Argentina)* Pág. 139.
34. Torres Duggan M., M.B. Rodríguez, R.S. Lavado y R. Melgar. (2010). Eficiencia agronómica del azufre elemental relativa a una fuente azufrada soluble en trigo. *Edit. Ciencia del Suelo. Argentina.* Págs. 67-77.
35. Friesen D.K. (1991). Fate and efficiency of sulfur fertilizer applied to food crops in West Africa. *Fertilizer Research.*
36. Franzen D. & C.A. Grant. 2008. Sulfur response based on crop, source, and landscape position. Chapter 7. En: *Sulfur: A missing link between Soils, Crops, and Nutrition.* Joseph Jez (Editor). *Agronomy Monograph N°50.* ASA, CSSA, SSSA.
37. García F.O., M. Boxler, J. Minteguiaga, R. Pozzi, L. Firpo, G. Deza Marín y A. Berardo. (2006). La red de nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe. Resultados y conclusiones de los primeros seis años 2000-2005. AACREA. Primera edición. Argentina.
38. Ciampitti I.A., H. Fontanetto, F.G. Micucci y F.O. Garcia. (2006). Manejo y ubicación del fertilizante junto con la semilla: efectos fitotóxicos. IPNI Cono Sur N°31. *Archivo Agronómico N°10.* www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf
39. Zubillaga M. 2007. Pautas para la elección del momento de fertilización de cultivos extensivos. En: *Tecnología de la fertilización de cultivos extensivos.* P. Prystupa (Ed). Editorial Facultad de Agronomía (UBA). Argentina Cap. 5. Págs. 101-119.
40. Roberts T. L. (2010). Nutrient best management practices: Western perspectives on global nutrient stewardship. 19th World Congress of Soil Science. Brisbane, Australia. Actas en DVD.
41. Salvagiotti F., G. Gerster, S. Bacigalupo, J. Castellarín, C. Galarza, N. González, V. Gudelj, O. Novello, H. Pedrol. y P. Vallone. 2004. Efectos residuales y directos de fósforo y azufre en el rendimiento de soja de segunda. *Edit. Ciencia del Suelo.*

42. Ayaviri, B. Clímaco. (2011) Cooperativa Integral Minera Agrícola, “UNIÓN PROGRESO” Ltda. 50 años. Potosí – Bolivia.
43. Cooperativa Minera Agrícola “Unión Progreso Ltda. (2011) Geología Económica del Yacimiento de Azufre de “San Pablo de Napa”. Mimeo.
44. Acta de Fundación de la Cooperativa Integral “Unión Progreso” Ltda.
45. Personería Jurídica de la Cooperativa Minera Agrícola “Unión Progreso” Ltda.
46. Hernández Roberto y otros (2010). Metodología de la Investigación. 5ta edición. México: McGraw -Hill.
47. Ávila Roberto (1997). Introducción a la metodología de la investigación. La tesis profesional. Lima Perú: Ediciones R.A.
48. Rodríguez, Francisco y otros. (1994). Introducción a la Metodología de las Investigaciones Sociales. La Habana. Ed. Política.
49. OIT, SEGURIDAD Y SALUD EN MINAS A CIELO ABIERTO, GINEBRA – SUIZA, 1991.
50. FLAMAGAS, Av. Santos Dumont Km 8 – Tel Piloto (591-3)3564541, e mail: flamagas@flamagas.com.bo

ANEXOS

ANEXO N° 1**GUÍA DE ENTREVISTA ESTRUCTURADA PARA EJECUTIVOS DE LA
COOPERATIVA “UNIÓN PROGRESO” LTDA.**

El siguiente cuestionario es anónimo y tiene fines estrictamente académicos, por lo que le agradecemos por su gentileza en responder con la mayor veracidad posible.

Cargo que ocupa: _____

Tiempo de trabajo en la empresa: _____

1. ¿Preferentemente en qué productos está concentrado la producción de azufre de la Cooperativa Unión Progreso?
 - a) Azufre en bruto
 - b) Azufre refinado
 - c) Azufre molido
 - d) Concentrado de azufre

2. ¿Cuáles son los principales mercados del azufre producido por la Cooperativa Unión Progreso?
 - a) Mercado local
 - b) Mercado nacional
 - c) Mercado internacional

3. Según Ud ¿cómo ha evolucionado la demanda de azufre por parte de la industria boliviana en los últimos 5 años?
 - a) Se ha incrementado
 - b) Se ha mantenido igual
 - c) Ha disminuido

4. Según su percepción, ¿cómo ha evolucionado la demanda de azufre humectable en el sector de la agricultura boliviana en los últimos 5 años?
- a) Se ha incrementado
 - b) Se ha mantenido igual
 - c) Ha disminuido
5. ¿La Cooperativa Unión Progreso tiene previsto diversificar su producción de azufre en los próximos años?
- a) Si
 - b) No
6. ¿Ud. cree que la elaboración de azufre humectable sería una alternativa viable para diversificar la producción de la Cooperativa Unión Progreso?
- a) Si
 - b) Relativamente
 - c) No
7. Según su conocimiento ¿Existe en la región la materia prima suficiente para la producción de azufre humectable?
- a) Si
 - b) Relativamente
 - c) No
8. ¿La Cooperativa Unión Progreso cuenta con los equipos y maquinaria necesarios para la elaboración de azufre humectable?
- a) Si
 - b) Relativamente
 - c) No

9. ¿La Cooperativa Unión Progreso cuenta con recursos humanos calificados y suficientes para emprender la producción de azufre humectable?

- a) Si
- b) Relativamente
- c) No

10. ¿Qué beneficios traería la producción de azufre humectable?

- a) Mayores utilidades para la Cooperativa
- b) Mayor desarrollo de la comunidad
- c) Reducción de los precios en el mercado nacional
- d) Mayor impulso a la agricultura nacional
- e) Otro: _____

ANEXO Nº 2
FOTOGRAFÍAS DE LA COOPERATIVA “UNIÓN PROGRESO” LTDA.

FOTO Nº 1



Plant de refinación

FOTO Nº 2



Sangrado azufre líquido

FOTO N° 3



Vista general del molino de azufre

FOTO N° 4



**Azufre producido por la Cooperativa "Unión Progreso" Ltda.
En las oficinas de Uyuni**

FOTO N° 5



Grupo electrógeno de la Cooperativa “Unión Progreso” Ltda.

FOTO N° 6



Molino de la Cooperativa “Unión Progreso” Ltda.
Y al fondo la comunidad de Sejihua

FOTO N° 7



Costurado de sacos

FOTO N° 8



Buzón de molino primario

FOTO N° 9



Molino de impactos

FOTO N° 10



Camiones de la cooperativa en Potosí

ANEXO Nº 2
 CUADROS Y FIGURAS
 FIGURA

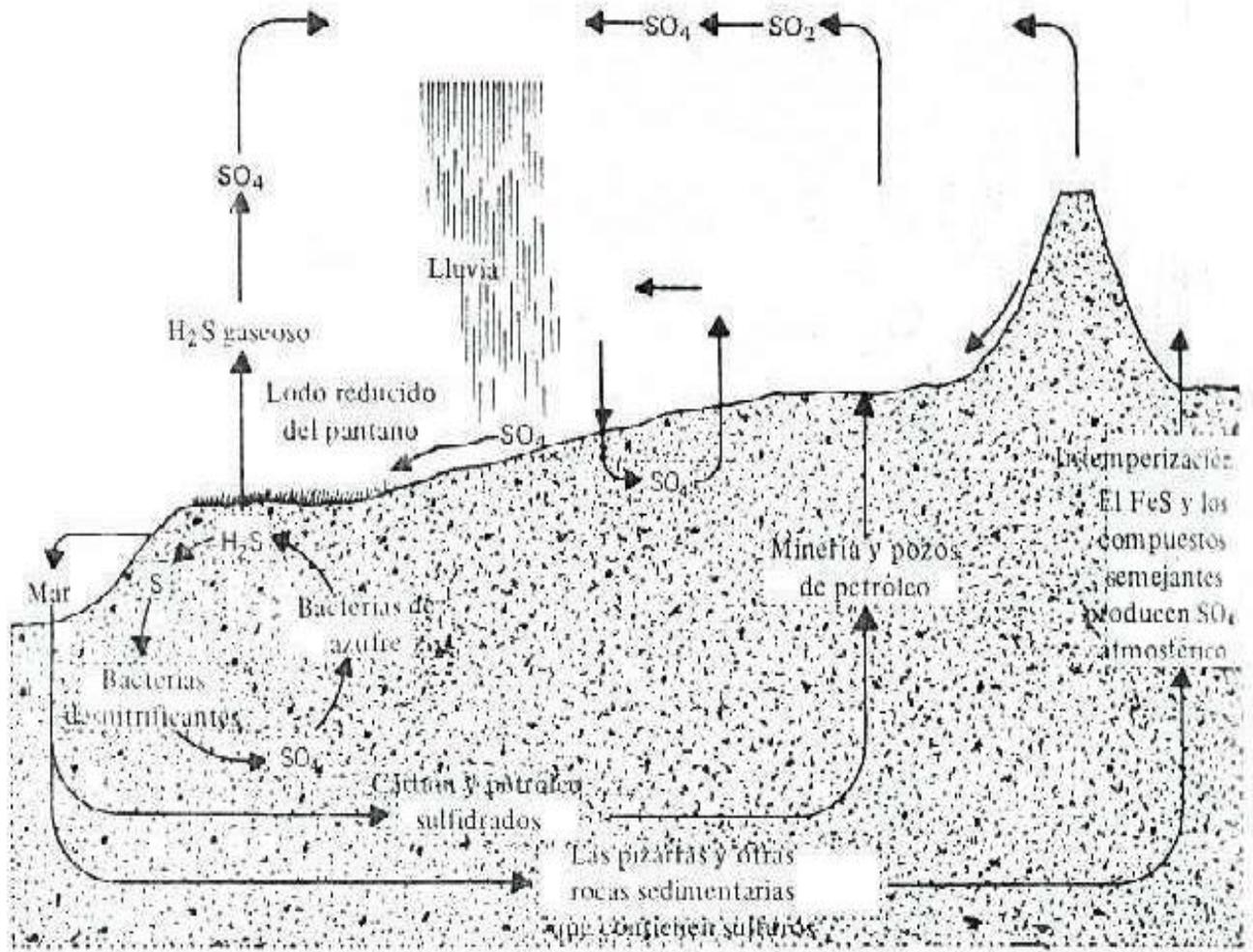


Figura Nº 6. Los animales y plantas parte del sistema natural

FIGURA

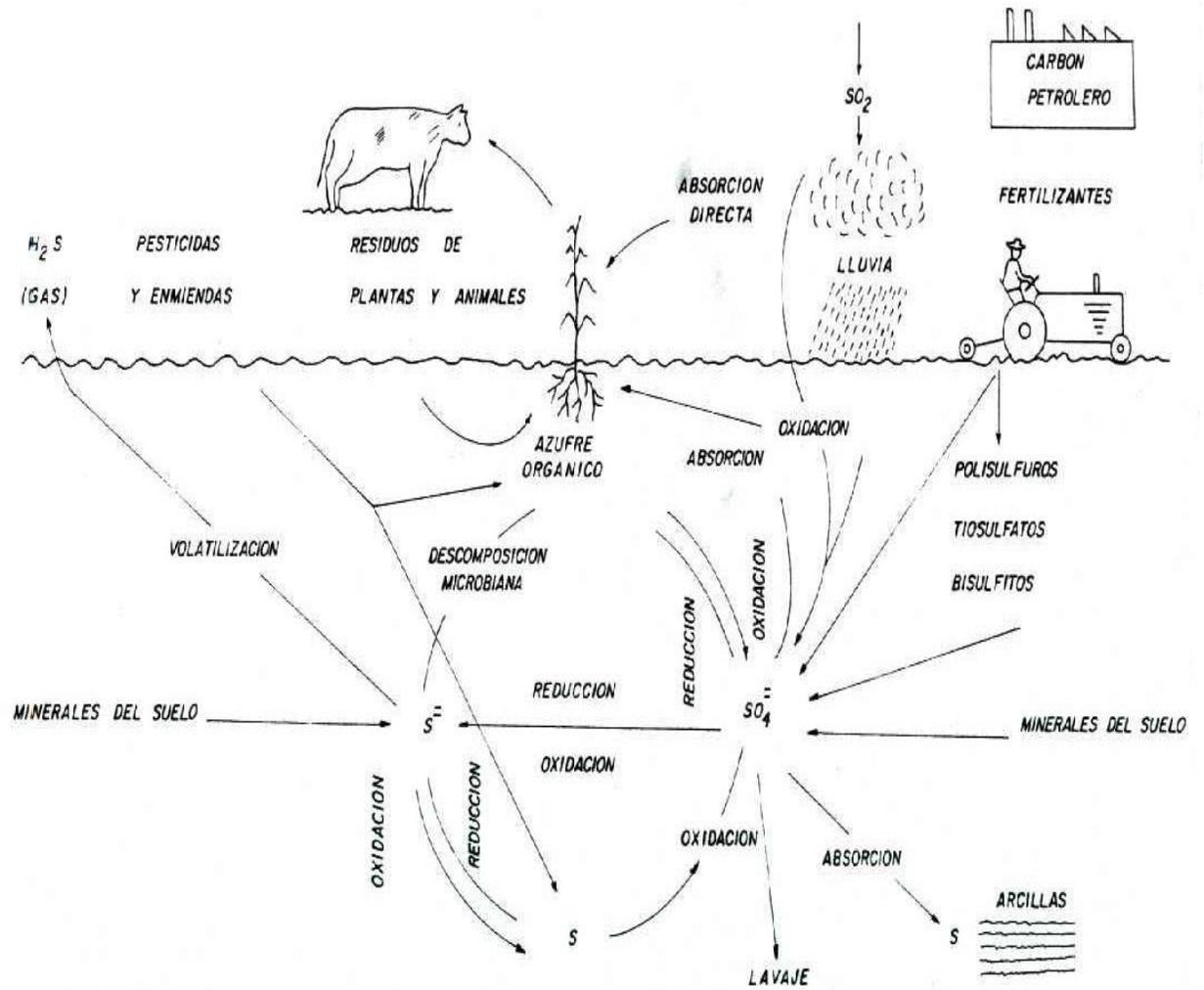


Figura N° 7. Ciclo natural del Azufre

FIGURA

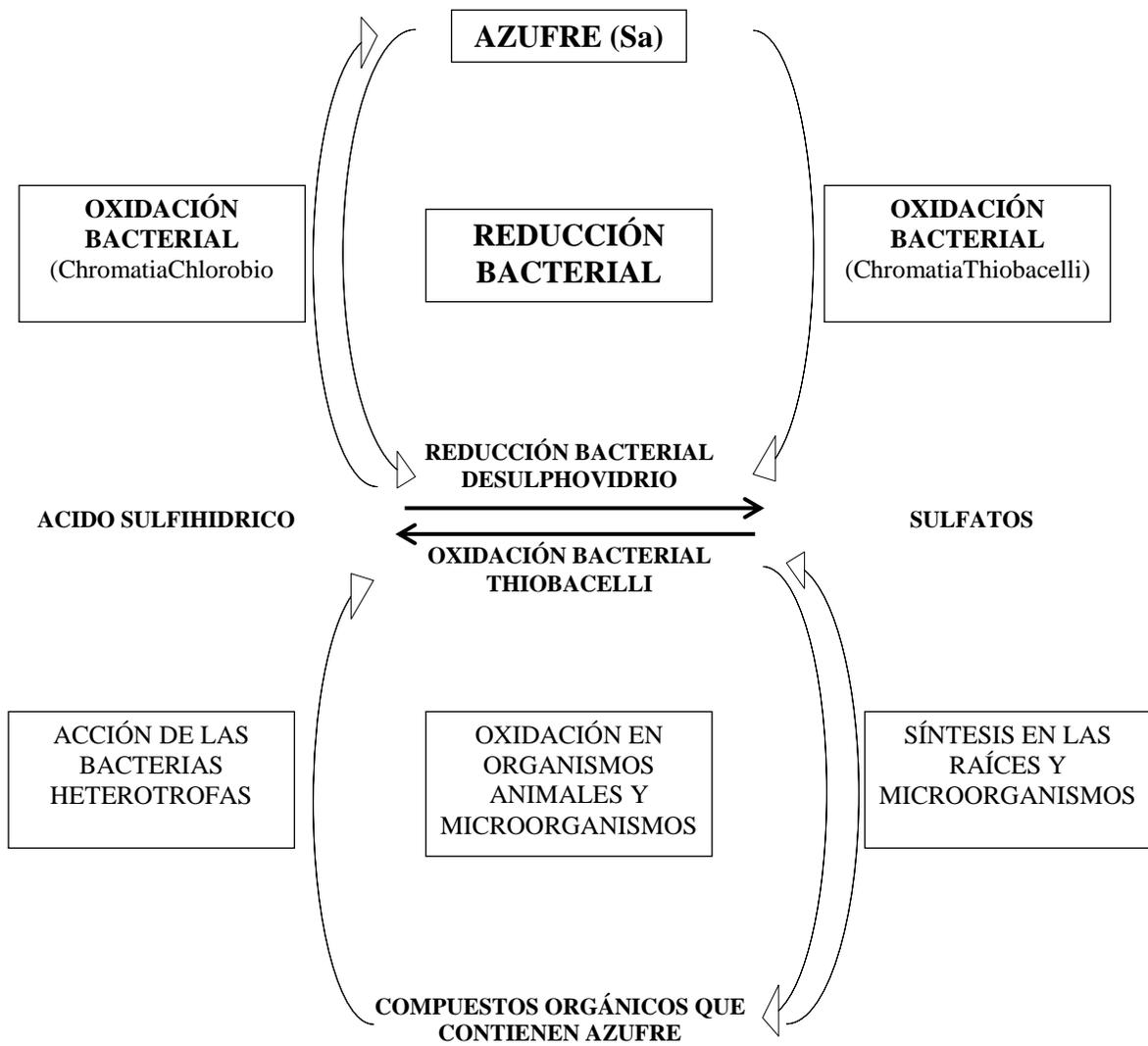


Figura Nº 8. Organigrama del Ciclo del Azufre

FIGURA

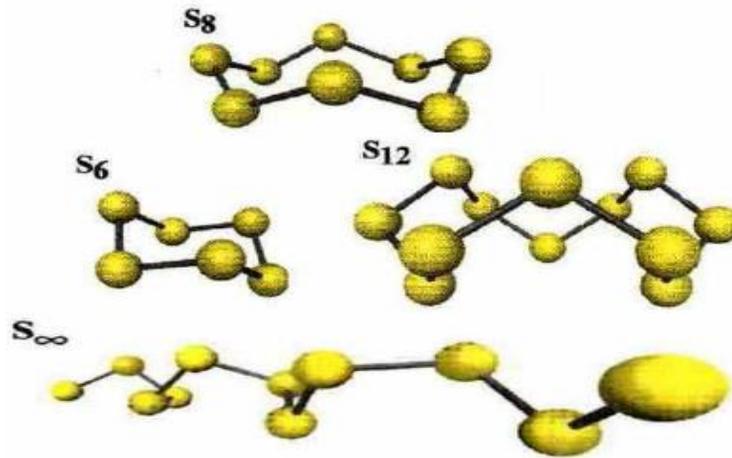


Figura N° 9. Algunos alótropos del azufre. La molécula S8, estudiada en este trabajo, es el más estable.

FIGURA

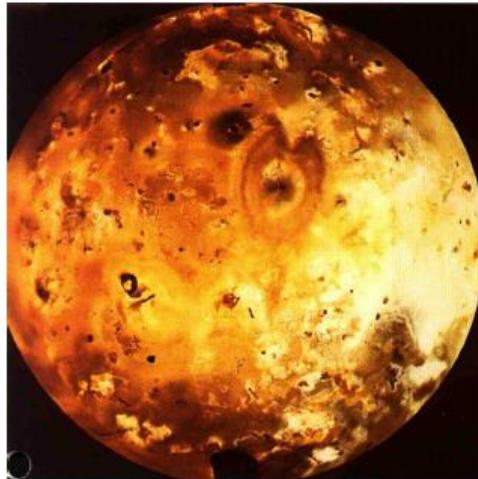


Figura N° 10. Fotografía de Io, satélite de Júpiter cuya superficie se encuentra cubierta de azufre a 120K. La foto, fue obtenida por: la sonda Voyager.

FIGURA

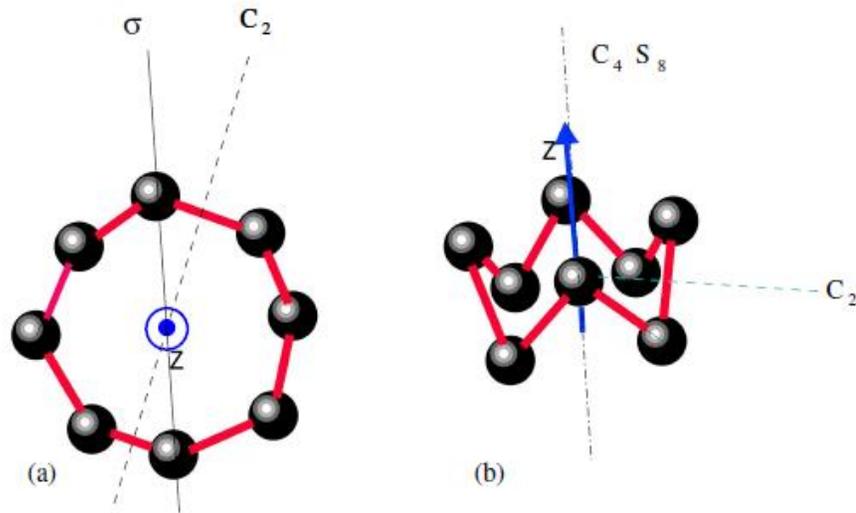


Figura N° 11. Esquema de la molécula S₈ en las direcciones paralela y perpendicular al plano de la molécula. En (a) se muestran uno de los cuatro planos de simetría y un eje C₂ perpendicular. En (b) indican los ejes principales C₄ y S₈ y uno de los 4 ejes perpendiculares C₂ del grupo.

FIGURA

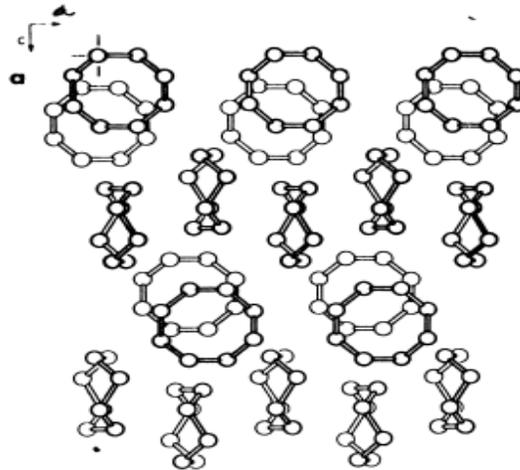
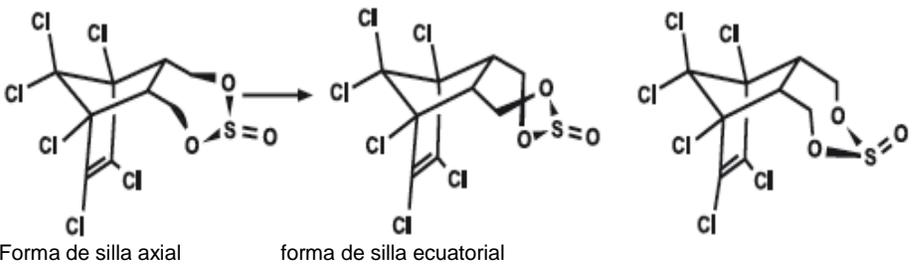


Figura N° 11. Estructura de la fase α-S₈. Presenta una celda unitaria de 16 moléculas, y una celda primitiva ortorrómbica de 4 moléculas.

Cuadro Nº 6. Identidad química del endosulfán

Nombre común	Endosulfán
Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC)	3-óxido de 6,7,8,9,10, 10-hexacloro-1,5,5 ^a ,6,9,9a-hexahidro-6,9-metano-2,4,3 benzodioxatiepina
ChemicalAbstracts	3-óxido de 6,9-metano-2,4,3-benzodioxatiepina- 6,7,8,9,10, 10- hexacloro - 1,5,5 ^o ,6,9,9 - hexahidro
Núm de Registro del ChemicalAbstractsService (CAS)	<ul style="list-style-type: none"> • Alfa (α) Endosulfán 959-98-8 • Beta (β) Endosulfán 33213-65-9 • Endosulfán Técnico* 115-29-7 • Sulfato de Endosulfán 1031-07-8 * No especificado
Nombre comercial	Thiodan®, Thionex, Endosan, Farmoz, Nufarm, Endosulfán
Formula	C ₉ H ₆ C ₁₅ O ₃ S
Masa molecular	406.95 g/mol
Estructuras químicas	 <p style="text-align: center;"> Alfa – endosulfán AE F052618 beta – endosulfán AE F052619 (aquiral, indistinguible en condiciones ambientales) (quiral) </p>

* El endosulfán técnico es una mezcla de 2:1 a 7:3 de los isómeros α -y β-.

Fuente: PNUMA. Propuesta sobre el endosulfán. Nota de la Secretaría. UNEP/POPS/POPRC.3/5

Cuadro Nº 7. Revisión de experimentos en los cuales se realizó la evaluación de Fuentes Azufradas

Cultivo	Fuente de azufre	Dosis	Respuesta en grano	Efecto dosis	Efecto fuente
		Kg. Ha ⁻¹ azufre	Kg. Ha ⁻¹		
Doble cultivo trigo7soja	Yeso	20 en secuencia o en cada cultivo (1)	Soja = 217-620 Trigo = 130 €	No evaluado	No evaluado
Trigo	Yeso	15	625	No evaluado	No evaluado
Soja	SA y yeso	15	160 – 500	No evaluado	ns
Trigo	SA y yeso y SPS	15 y 30	495	ns	ns
Trigo	AE micronizado	24 y 40	208 – 465	ns en 4 de 5 sitios	ns
Trigo	SA y AE micronizado	10 y 30 (año 1) 15 y 30 (año 2)	600 – 1400 (año 1 y 2)	ns	ns (2)
Maíz	Yeso	8-20 según experimento	492 – 598 – 755 (3)	(4)	No evaluado

Notas: s: diferencias significativas (p<0.05), ns: diferencias no significativas (p>0.05), (E) cultivo con problemas de enfermedades, (1) 8 kg ha⁻¹ en trigo y 12 kg ha⁻¹ en soja 2° (2) para la mayoría de los sitios-año. (3) respuestas medias de distintas dosis evaluadas en diferentes experimentos. (4) variable según experimento.

FIGURA

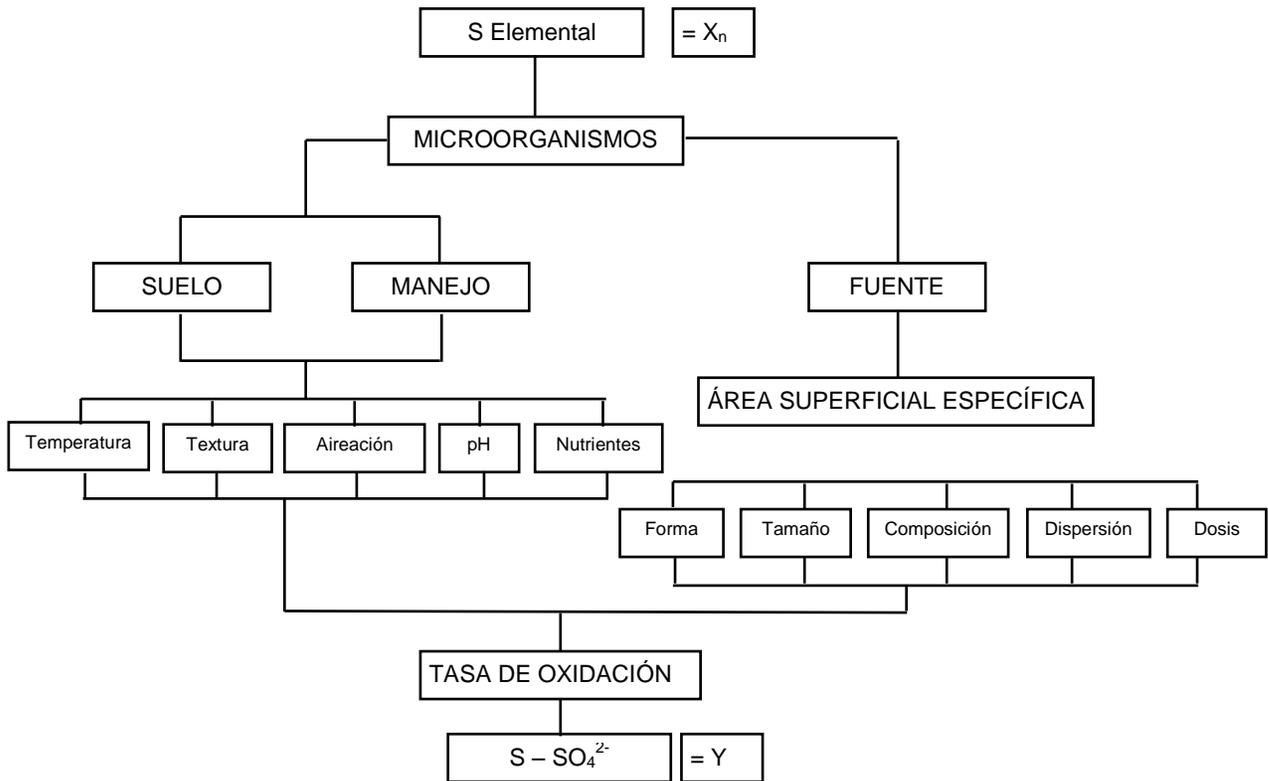


Figura Nº 12. Diagrama de relaciones entre las variables que inciden en la oxidación del azufre elemental a sulfato

Cuadro Nº 8. Formas y momentos de aplicación de nutrientes más frecuentes en los agro-ecosistemas

Momento de aplicación	Formas de aplicación	Nutrientes aplicados/tipo de fuentes
Antes de la siembra	Voleo, "chorreado" (fertilizantes líquidos), etc.	N o S (fertilizantes simples, complejos y/o mezclas físicas)
Siembra	Junto a la semilla, bandas superficiales (según sembradora).	N, P y S (fertilizantes simples, complejos y/o mezclas físicas)
Luego de la siembra	Voleo (fertilizantes sólidos), "chorreado" (fertilizantes líquidos), etc.	N y S (fertilizantes simples, complejos y/o mezclas físicas)