

0287

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE INGENIERIA

EXPLORACION GEOLOGICA POR METODOS  
GEOQUIMICOS AREA IV - SIERRA DE  
CHUACUS - GUATEMALA, C. A.

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO GEOLOGO  
P R E S E N T A

EDGAR JESUS TOBIAS GUTIERREZ



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



EXPLORACION GEOLOGICA POR METODOS  
GEOQUIMICOS AREA IV - SIERRA DE  
CHUACUS - GUATEMALA, C. A.

EDGAR IESUS TOBIAS GUTIERREZ

México, D. F.

1975



ESCUELA DE INGENIERIA  
Exámenes Profesionales  
Núm. -3-1011  
Exp. Núm. 40/274.2/

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

al Pasante señor EDGAR JESUS TOBIAS GUTIERREZ,  
E T E S E N T E .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcri-  
bir a usted a continuación el tema que aprobado por esta -  
Dirección propuso el Profesor Ing. Germán Arriaga García, -  
para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional  
de Ingeniero GEOLOGO.

"EXPLORACION GEOLOGICA POR METODOS GEOQUIMICOS".

- I. Introducción.
  - II. La estadística aplicada a la Geoquímica.
  - III. Prospección Geoquímica.
  - IV. Presentación e interpretación de resulta-  
dos.
  - V. Conclusiones y recomendaciones.
- Bibliografía.
- Planos e ilustraciones.

Ruego a usted tomar debida nota de que en cumplimiento de-  
lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar-  
Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses co-  
mo requisito indispensable para sustentar Examen Profesion-  
nal; así como de la disposición de la Dirección General de  
Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lu-  
gar visible de los ejemplares de la tesis, el título del -  
trabajo realizado.

Atentamente  
"POR MI ALMA HERMANA DE ESPERANZA"  
México, D.F., a 29 de Noviembre de 1973  
EL DIRECTOR

Dr. Juan Casillas G. de L.

JCS: NDA: svt. -

DEDICATORIA

A GUATEMALA

Mi Patria

A MIS PADRES

Carlos Alberto Tobías Díaz (QEPD)  
Josefa E. Gutiérrez de Tobías

A MI ESPOSA

Edith Ana María Achtmann de Tobías

A MIS HIJOS

Edith, Edgar y Ethel

A MIS HERMANOS

Sra. Yolanda y Esposo  
Lic. Angel Alberto y Sra.  
Lic. Aczel Andrés y Sra.  
C.P. Jorge Luis y Sra.  
Lic. Oscar Obdulio

A LOS INGENIEROS

Luis Specher Bonato  
César Enrique Recinos Pinto

A MI ASESOR DE TESIS

Ing. Germán Arriaga García

A LA DIRECCION GENERAL DE MINERIA E HIDROCARBUROS DE  
GUATEMALA

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO " U N A M "

## CONTENIDO

	Página
INTRODUCCION .....	1
I. - INFORMACION GENERAL .....	2
a. - Objetivos del estudio geoquímico .....	2
b. - Antecedentes de la región .....	3
II. - GEOGRAFIA .....	5
a. - Localización del área .....	5
b. - Vías de acceso .....	5
c. - Clima y Vegetación .....	8
d. - Cultura y Economía .....	9
III. - FISIOGRAFIA .....	10
a. - Geomorfología .....	10
b. - Orografía e Hidrografía .....	10
IV. - GEOLOGIA .....	12
a. - Geología Regional .....	12
b. - Geología Económica .....	14
V. - LA ESTADISTICA APLICADA A LA GEOQUIMICA .....	21
a. - Necesidad y objetivo práctico del tratamiento estadístico de la información .....	21
b. - Dificultad del tratamiento estadístico en el caso de estudios de sedimentos fluviales .....	21
c. - Ajuste a una distribución logarítmica normal .....	22
d. - Ventajas de las curvas de frecuencia acumulada .....	28
e. - Diagramas de correlación .....	29
VI. - PROSPECCION GEOQUIMICA .....	32
a. - Introducción .....	32
b. - Prospección Geoquímica .....	32
c. - Operaciones de Campo .....	35
d. - Métodos de Laboratorio .....	37
VII. - PRESENTACION DE LOS RESULTADOS .....	43
a. - Mapas .....	43
b. - Distribuciones de frecuencia .....	43
c. - Coeficiente de correlación .....	45
d. - Tablas .....	45
VIII. - INTERPRETACION Y EVALUACION DE LOS RESULTADOS .....	46
a. - Resultados generales .....	46
b. - Patrones geoquímicos por unidades de drenaje .....	47
c. - Patrón geoquímico por grupos litológicos .....	49

d. - Primera aproximación de anomalías .....	50
IX. - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	56
X. - BIBLIOGRAFIA-APENDICE .....	58

## INTRODUCCION

En el presente trabajo se ha tratado de enfatizar la importancia que actualmente ha tomado la aplicación de la Geoquímica como método indirecto de exploración geológico-minera. Este método permite reconocer grandes áreas a un costo comparativamente bajo.

La evaluación regional por métodos geoquímicos, lleva una serie de problemas que el geólogo tiene que solucionar. El principal, y uno de los más frecuentes que se confronta en los países en vías de desarrollo, es la falta de mapas geológicos a la escala adecuada. Lo ideal en un trabajo de esta naturaleza es contar con mapas geológicos a escala 1:50,000, pero en Guatemala aún hace falta trabajar mucho en este sentido.

En la exploración geoquímica del Area IV, se utilizó principalmente el mapa geológico a escala 1:125,000 hecho por la Misión Geológica Alemana en colaboración con el Instituto Geográfico Nacional.

La información topográfica es excelente, se cuenta con mapas a escala 1:50,000 de muy buena calidad y con todo tipo de referencias. Estos fueron precisamente los que sirvieron de base para realizar el muestreo de sedimentos.

Los conocimientos estadísticos generales son básicos para poder trabajar en la exploración por métodos geoquímicos. Aun en el caso en que se utilicen programas ya establecidos para computadoras, los conocimientos son necesarios para la interpretación de los resultados. Por esto, y como no siempre tenemos una computadora a la mano, se ha incluido un capítulo completo del tratamiento estadístico que se aplica a los datos; así como la interpretación analítica y gráfica de los resultados.

La bibliografía en este campo no abunda, y en la realización de este trabajo se siguió fundamentalmente la escuela del geoquímico francés Cloud Lepeltier, que durante cuatro años tuvo a su cargo la Sección Geoquímica del Proyecto Minero de las Naciones Unidas, realizado en colaboración con el Gobierno de Guatemala, en dos áreas seleccionadas del territorio. Actualmente el geoquímico Cloud Lepeltier forma parte del Consejo Técnico de las Naciones Unidas con sede en New York.

Antes de iniciar el desarrollo del trabajo, es necesario dejar constancia de la valiosa colaboración obtenida del Ing. Germán Arriaga, quien a pesar de su poco tiempo disponible se prestó a asesorar este trabajo de tesis; así también al Geólogo Jorge Godoy Orantes, ex-director de la Dirección General de Minería e Hidrocarburos de Guatemala, cuya intervención fue decisiva para que efectuara mis estudios en la Universidad Nacional Autónoma de México, D. F. "UNAM"; al Ing. César Enrique Recinos P. jefe de la Sección de Geoquímica de la misma Dirección; al Asistente de Geólogo Hugo A. Lucero quien tuvo a su cargo la operación de muestreo de campo; a la Sección de Dibujo, donde se realizaron los mapas e ilustraciones del trabajo; y por último a todas aquellas personas que en una u otra forma colaboraron con el autor en la realización del presente trabajo.

## I. - INFORMACION GENERAL

### a. Objetivos del Estudio Geoquímico

El presente trabajo es una continuación del reconocimiento por métodos geoquímicos realizado por el Proyecto Minero de las Naciones Unidas conjuntamente con el Gobierno de Guatemala. Este proyecto estuvo orientado principalmente a la evaluación de los recursos naturales no renovables en dos áreas seleccionadas del Territorio de Guatemala. Principió sus operaciones en Noviembre de 1966 y las terminó en Diciembre de 1970, tiempo durante el cual se evaluaron 20,000 km<sup>2</sup> que forman el total de las dos áreas seleccionadas. Ver Areas I y II en el mapa de localización, Fig. No. 1.

El método geoquímico de muestreo de sedimentos fluviales se prefirió a otros métodos debido a que el drenaje cubre sorprendentemente las áreas seleccionadas, además de su costo relativamente menor que otros métodos geológicos indirectos de exploración.

Se tomaron durante el primer año de operaciones 9,300 muestras de sedimentos cubriendo un área de 12,000 km<sup>2</sup>, es decir, una densidad de muestreo de una muestra por 1.3 km<sup>2</sup>. Los minerales prospectados fueron Cobre (Cu), Zinc (Zn), Plomo (Pb) y Molibdeno (Mo).

El resultado de esta prospección geoquímica fue la determinación de 31 anomalías geoquímicas de Cu, Zn, Pb y Mo, distribuidas tanto en el Area I como en el Area II. Casi la totalidad de estas anomalías fueron estudiadas en detalle; se hizo geoquímica de suelos y rocas, geología a detalle, se emplearon métodos geofísicos eléctricos e incluso, en algunas de ellas se realizaron perforaciones con diamante. Algunas anomalías resultaron alentadoras y en otras faltó más estudio, pero definitivamente no se ha desechado ninguna de ellas.

Generalmente las Naciones Unidas llevan a cabo este tipo de exploraciones y estudios en los países en vías de desarrollo con el fin de mejorar sus economías y también de entrenar al personal de contraparte en este trabajo, para que este personal pueda continuar o iniciar nuevas exploraciones en sus países. El que escribe formó parte precisamente del personal de contraparte que realizó con el personal internacional el Proyecto Minero, habiendo sido favorecido al final de las operaciones con una beca para seguir estudios de Ingeniería Geológica en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, D.F. "UNAM".

Es así, que después de tres años de estudio y la experiencia adquirida, se continúa con la evaluación del potencial minero en Guatemala, que después de presentar este trabajo como tema de tesis para optar el Título de Ingeniero Geólogo, es el principal objetivo.

Como se puede observar en el mapa de localización del área en estudio, ésta se encuentra en el centro de las Areas I, II y III que ya han sido prospectadas; por tal motivo, la Dirección General de Minería e Hidrocarburos de Guatemala,

decidió realizar con su propio personal el reconocimiento geoquímico de esta área, concluyendo con esto su exploración geológica por métodos geoquímicos para los metales básicos de Cu, Pb, Zn y Mo; de tal manera que Guatemala cuenta hoy con una basta información en este campo.

Se consideró también la posibilidad de realizar la evaluación minera, utilizando técnicas además de prospección geofísica, ya que estos metales se encuentran comúnmente en forma de sulfuros. En una prospección de este tipo, necesariamente se tienen que combinar métodos magnéticos con electromagnéticos y desafortunadamente las condiciones topográficas de las áreas seleccionadas no se prestan para aplicar estos métodos. Otro factor determinante fue que las características de las rocas no son favorables, corriendo el riesgo de obtener resultados poco confiables; pero no hay que olvidar que los métodos aéreos de prospección geofísica tienen la enorme ventaja sobre los otros de que son mucho más rápidos.

#### b. Antecedentes de la región

Ya con anterioridad, parte del área que se está explorando fue reconocida por la Misión Geológica Alemana. Dentro de su programa de trabajo realizó estudios de exploración por métodos geoquímicos, principalmente en la hoja Salamá, Cubulco y El Chol (hojas topográficas a escala 1:50,000). La Misión Geológica Alemana vino a Guatemala de acuerdo al Convenio de Cooperación Técnica, suscrito con el Gobierno de la República Federal Alemana y el Gobierno de Guatemala. Esta inició sus operaciones en Enero de 1967 y terminó en Marzo de 1970. Se le asignó básicamente contribuir a la investigación geológica del país y la exploración de los recursos naturales no renovables en el área que cubre aproximadamente los departamentos de Alta y Baja Verapaz, así como la parte norte del departamento de Izábal.

La exploración geoquímica que realizó la Misión Geológica Alemana fue para los metales básicos Cu, Zn y Pb. Se empleó el método de muestreo de sedimentos fluviales, habiendo cubierto un área de 1,650 km<sup>2</sup> y se tomaron 1,254 muestras con una densidad de muestreo de 0.76 muestras por 1 km<sup>2</sup>.

No se conocen estudios sistemáticos de exploración minera anteriores a los realizados por la Misión Geológica Alemana. Sin embargo, se han hecho exploraciones en determinadas áreas en donde existen manifestaciones superficiales de mineralización; por ejemplo: en la hoja Cubulco se han explorado minerales de Bario y sulfuros de Cobre; en la hoja Granados se explora Cuarzo, Mica, Asbesto y se están explotando actualmente Feldespatos; en la hoja Tactic existen afloramientos de sulfuros de Plomo y Zinc con pequeñas leyes de Plata y Cadmio; en la región del poblado de Purulhá en la hoja Salamá, se explotan actualmente minerales de Plomo y Zinc, pero no se conocen sus reservas; en la hoja Los Pajales existen yacimientos níquelíferos en forma de tierras lateríticas, que ya han sido objeto de estudio por la Compañía Exploraciones Mineras de Izábal (EXMIBAL) que tiene en concesión de explotación los yacimientos níquelíferos de rendimiento económico que se localizan en la zona de Izábal y el Estór. También se sabe de la existencia de minerales de Cromo (Cromita) en

tre las hojas de Tacú y Salamá; esto es muy interesante precisamente porque la Cronita es un mineral típico de rocas ultrabásicas, las que abundan en esta zona.

Durante la segunda Guerra Mundial se explotó cristal de roca en una zona que se localiza aproximadamente en la intersección de las hojas Cubulco-Salamá-Granados. La explotación no continuó debido a la fabricación de cristal de roca sintética, cuyo costo es menor que el cristal de roca natural.

Los resultados obtenidos por la Misión Geológica Alemana y la demás información con que se cuenta, se dejará para discutirse en la parte correspondiente a Geología Económica.

## II. - GEOGRAFIA

### a. Localización del área

El área en estudio comprende cinco hojas a escala 1:50,000 y cubren aproximadamente 2,500 km<sup>2</sup>; éstas son:

Hoja No. 2061-I	Los Pajales
Hoja No. 2161-IV	Tactic
Hoja No. 2061-II	Cubulco
Hoja No. 2161-III	Salamá
Hoja No. 2060-I	Granados

Véer mapa de localización, Fig. No. 1

Esta zona está situada dentro de los paralelos 15° 00' 00" y 15° 20' 00" y los meridianos 90° 15' 00" y 90° 45' 00", incluye el cuadrángulo de la hoja Granados situada dentro de los paralelos 14° 50' 00" y 15° 00' 00" y los meridianos 90° 30' 00" y 91° 45' 00", Latitud Norte y Longitud Oeste respectivamente.

Fisiográficamente se encuentra en la provincia formada por el sistema central de sierras y montañas e incluye parte de la Sierra de Chuacus, el Valle de Salamá y parte de la prolongación al Este de la Sierra de los Cuchumatanes.

Cubre el departamento completo de Baja Verapaz (Cabecera Salamá), y parte de los departamentos de El Quiché, Chimaltenango y Guatemala.

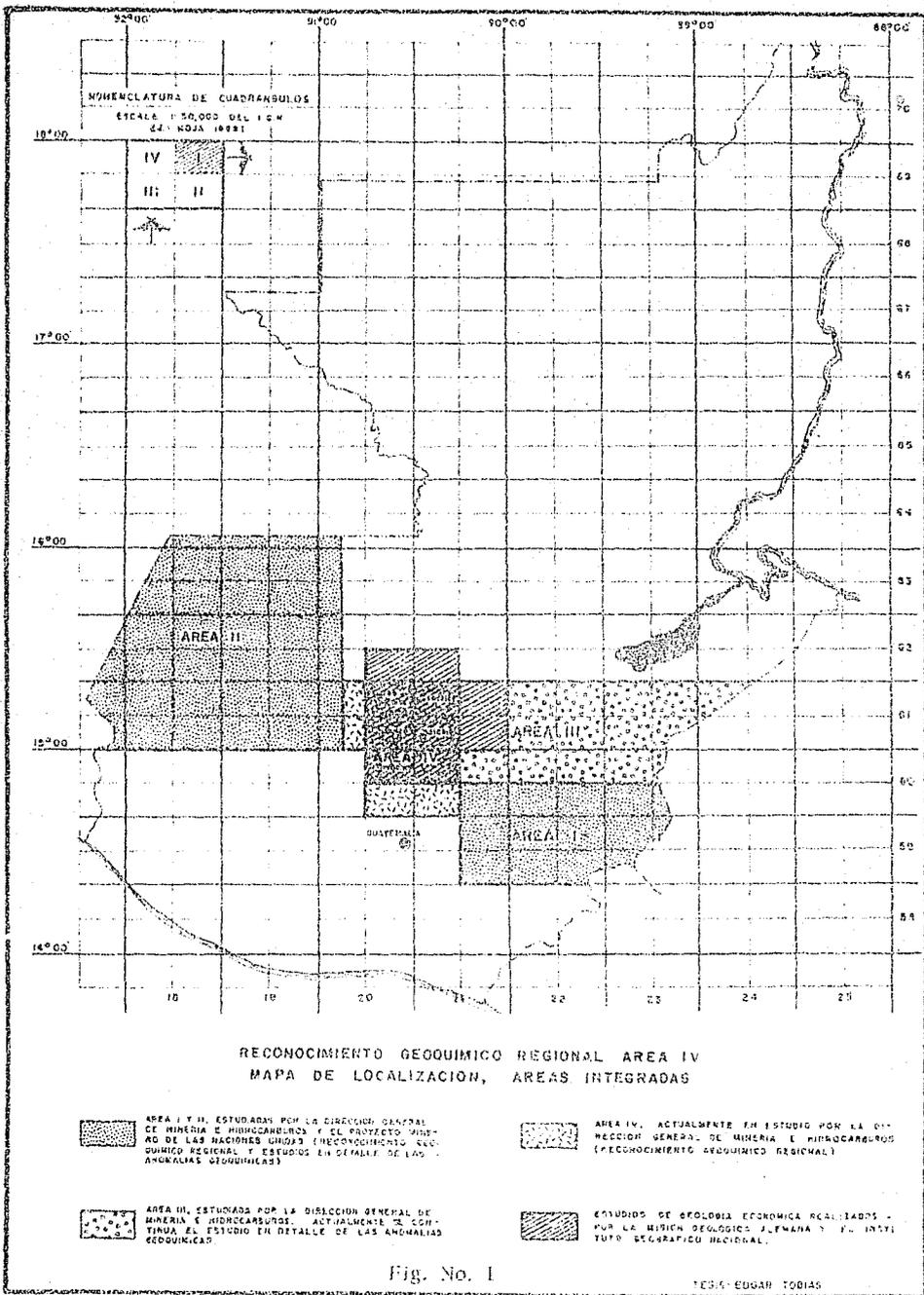
### b. Vías de acceso

En general, el área está cubierta por una red de carreteras, caminos y veredas que facilitan grandemente el muestreo de sedimentos y los reconocimientos a la zona.

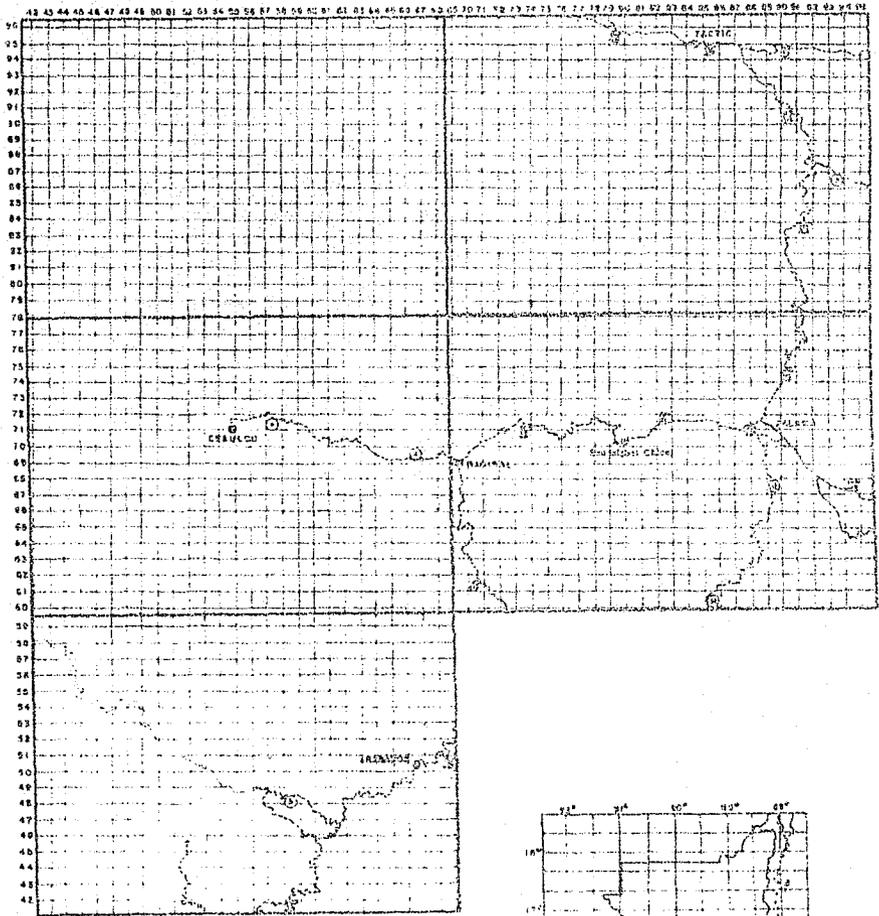
Existen carreteras asfaltadas de dos vías cuyo recorrido es limitado; carreteras con revestimiento suelto o ligero de una vía y que son las más abundantes. Se cuenta también con una serie de caminos sin revestimiento que unen a poblados y caseríos con las carreteras principales; algunos de estos caminos son transitables únicamente en tiempo seco. Estos caminos son de mucha ayuda en este tipo de exploración y deben de tomarse muy en cuenta en la planificación de las operaciones de campo. Algunos son transitables en vehículos comunes, pero generalmente se prefiere un vehículo de doble tracción. Por último, existen las veredas para peatones y bestias que penetran en las zonas de difícil accesibilidad.

Esta red de carreteras, caminos y veredas se encuentra bien localizada en las hojas topográficas 1:50,000; no aparecen únicamente aquéllas cuya construcción ha sido posterior a la fecha de elaboración de la hoja.

Las carreteras principales que recorren el área son: (Ver Fig. No. 2) Ruta Na-



# PRINCIPALES MUNICIPIOS Y VIAS DE COMUNICACION



## SIGNOS CONVENCIONALES

- CIUDAD
- MUNICIPIO
- AFIRMADO SOLIDO, DOS O MAS VIAS
- REVESTIMIENTO SUELTO O LIGERO, DOS O MAS VIAS
- REVESTIMIENTO SUELTO
- SEÑALES DE RUTA NACIONAL DEPARTAMENTAL

Fig. No. 2

TALLER EDGAR YOLIAS

cional No. 5 que sale de la Ciudad de Guatemala, pasa por los poblados de San Juan Sacatepéquez, Granados, El Chol, Rabinal, San Miguel Chicoy, Salamá y Tactíc, atraviesa la Sierra de Chamá y continúa hacia el noreste del territorio.

Ruta departamental No. 12 que une el poblado de El Chol con la Ciudad de Salamá; esta ruta atraviesa la Sierra de Chuacus.

Ruta Nacional No. 17 que comunica a Salamá con la carretera Centro Americana No. 9, que va hacia Puerto Barrios y Puerto Modesto Méndez en la Bahía de Amatique, Océano Atlántico.

Ruta departamental No. 4 que une los poblados de Rabinal y Cubulco.

Existe también una carretera de revestimiento suelto, que se inicia en la Ruta Nacional No. 5, a la altura de la Finca El Tumbadero, Municipio de Granados, y se dirige hacia el pueblo de Joyabaj. Esta carretera recorre gran parte de la hoja 1:50,000 de Granados.

Entre las zonas de difícil accesibilidad tenemos las hojas de Tactíc y Los Pajales. La hoja de Tactíc únicamente la atraviesa de Sur a Norte, la Ruta Nacional No. 5 y la Ruta Nacional No. 7 E que une al pueblo de Purulá con Tactíc; el resto de la hoja es accesible únicamente a pie, usando las veredas que unen aldeas y caseríos, o bien, en algunas partes pueden usarse bestias. La hoja Los Pajales, tiene una topografía muy escabrosa y carece de carreteras, de ahí, -- que todo el trabajo tuvo que realizarse a pie o en bestias.

### c. Clima y Vegetación

Debido al relieve topográfico abrupto de la región, el clima es sumamente variable. En la zona del Valle de Salamá, Rabinal y Granados con un promedio de altura de 940 m sobre el nivel del mar, la temperatura varía entre 15° y 25° C, dependiendo de las diferentes estaciones del año; el clima varía de templado a semicálido. (La precipitación pluvial es del tipo del semiseco al seco)?

En cuanto a la vegetación, ésta es escasa en el propio valle, el cual está cultivado en su mayor parte a base de riego, pero se va incrementando hacia el norte hasta convertirse en selvática en donde tiene un clima tropical húmedo. Es en esta selva donde crece la orquídea "Monja Blanca" que es la flor nacional de Guatemala.

El clima en la Sierra de Chuacus varía de semifrío a templado, considerándose frío de los 2,000 m de altura en adelante. La vegetación consiste principalmente de variedades de coníferas, aunque gran parte de la sierra se encuentra desforestada debido a la explotación desmedida de estas maderas de construcción.

La precipitación pluvial anual en la zona norte del área sobrepasa los 1,000 mm., mientras que en la zona sur, varía entre 800 y 1,000 mm.

#### d. Cultura y Economía

Dentro del Area IV, Sierra de Chuacús, se localizan los Municipios de Salamá, San Miguel Chicaj, Rabinal, Tactic, Cubulco y Granados.

La ciudad de Salamá es la cabecera del departamento de Baja Verapaz, tiene una población aproximada de 25,000 habitantes y es el centro principal económico de la región.

Dentro de la economía nacional esta zona está considerada dentro de las regiones pobres; sus condiciones climatológicas no le favorecen mucho. Además, no se han emprendido obras de infraestructura para incrementar su desarrollo económico y cultural.

Únicamente la Ciudad de Salamá cuenta con Institutos de segunda enseñanza, hospitales generales, autoridades gubernamentales, etc. El resto de municipios solo cuentan con escuelas primarias, autoridades municipales, centros de salud, etc.

La economía de la región se basa principalmente en el cultivo del maíz, café y frijol, además existen fincas que tienen buena ganadería, aserraderos que se dedican a la explotación de maderas preciosas y de construcción, cultivo de cítricos y legumbres. El municipio de Rabinal ha desarrollado su industria típica de cerámica, así como es famoso por la calidad de sus naranjas.

La minería no ha ayudado a esta región, a excepción de algunos intentos locales para la explotación de canteras de serpentina y caolínes. Se han hecho exploraciones para cronita, pero estos proyectos no han pasado de su fase inicial.

### III. - FISIOGRAFIA

#### a. Geomorfología.

El área ocupa parte de la Sierra de Chuacús, limitada al norte por la falla Polochic. Esta sierra está formada principalmente por rocas metamórficas del Paleozoico, cuerpos intrusivos graníticos, rocas ultrabásicas y en menor grado por rocas sedimentarias mesozoicas. En los valles es común encontrar sedimentos clásticos Terciarios de origen continental y extensos depósitos de pómez. Debido a la litología mayormente metamórfica, esta sierra ha desarrollado un drenaje dendrítico que se aprecia perfectamente en las fotografías aéreas, así como su coloración rojiza característica debido a la alteración del contenido de minerales ferromagnesianos.

Los últimos movimientos de la orogenia Laravide, así como movimientos de tipo epirogénico ocasionados por cuerpos intrusivos, fueron los responsables de la formación de estas sierras y montañas. Algunos aspectos fisiográficos que aún no están bien estudiados, muestran que las sierras han sido levantadas en tiempos recientes, lo cual ha acelerado los procesos de erosión y acentuado lo abrupto de su topografía. Dentro de estos aspectos puede situarse una vieja superficie de erosión que ha sido levantada, de la cual aún se encuentran vestigios en la Sierra de Las Minas y en el Valle de Salamá.

Las grandes fallas de Polochic y Motagua que parecen delimitar una estructura en graben, han jugado un papel importante en la geomorfología del área, proporcionando movimientos secundarios de asentamiento. Los escarpes, el cauce agudo de algunos ríos, y en general el relieve de la región, nos induce a pensar que ésta se encuentra en un ciclo geomorfológico de juventud tardía.

Más hacia el norte y fuera del área estudiada, principia a manifestarse la provincia fisiográfica de las tierras bajas del Petén, cuya litología es principalmente calcárea de tipo kárstico.

#### b. Orografía e Hidrografía

El sistema principal de montañas de la región lo constituyen la Sierra de Chuacús y parte de la Sierra de los Cuchumatanes, ambas corresponden al sistema central de Sierras y Montañas de Guatemala.

La Sierra de Chuacús se localiza en la parte sur del área, atravesándola aproximadamente de oeste a este; en su prolongación hacia el este toma el nombre de Sierra de Las Minas. Al sobrevolar la Sierra de Chuacús se observa una coloración rojiza característica proporcionada por la intemperización de su litología en su mayor parte de naturaleza metamórfica. Su elevación varía de 910 m en el Valle de Salamá hasta 2,478 m en el Cerro llamado Chimachó y 2,342 m en la montaña de Chiquihuitán.

Hacia el norte del área tenemos la prolongación de la Sierra de Los Cuchumatanes, que también la atraviesa de oeste a este. En esta zona la sierra está dividi

da longitudinalmente por la falla Polochic. Su elevación máxima la alcanza en la montaña Chimiagua, al noroeste del área. Su topografía es abrupta y eminentemente selvática.

Las poblaciones de Salamá, Rabinal y Cubulco se encuentran en pequeños valles que existen entre las dos sierras, en donde también se levantan pequeñas montañas y lomeríos.

El sistema hidrográfico de la región es pródigo, aunque existen los tres tipos de corrientes superficiales perennes, intermitentes y efímeras, son las primeras las que predominan en la región.

Fuera de la zona de estudio, hacia el noroeste, tienen su inicio los grandes Ríos Motagua y Chixoy o Negro, y dentro de la zona hacia el noreste se inicia el Río Polochic.

Para la exploración geológica por métodos geoquímicos se determinaron en el área cuatro sistemas de drenaje; uno que corresponde al conjunto de quebradas que drenan hacia el Río Motagua cubriendo la parte suroeste del área (hoja Granados 1:50,000). Este río se inicia en el Municipio de Chichicastenango y es alimentado principalmente por el drenaje del flanco sur de la Sierra de Chuacus, su cauce es paralelo a ésta y corre sobre la zona de falla del mismo nombre; desemboca en el mar de las Antillas y sus últimos kilómetros sirven de límite entre Guatemala y Honduras.

El segundo sistema de drenaje lo componen la parte alta del Río Chixoy o Negro. Este sistema cubre la región este y noroeste del área (hoja Los Pajales y la parte norte de la hoja Cubulco 1:50,000). El recorrido de este río es uno de los más largos del país; se inicia en Huehuetenango y corre hacia el este para hacerlo después hacia el norte penetrando en las tierras bajas del Petén en donde se une al Río La Pasión y juntos forman el Río Usumacinta que sirve de línea divisoria entre Guatemala y México, recorre gran parte del territorio mexicano antes de desembocar en el Golfo de México. La energía potencial de este río forma parte de las reservas que Guatemala tiene para el futuro.

El tercer sistema de drenaje está constituido por el Río Salamá, que es un afluente importante del Río Chixoy o Negro. Este sistema cubre la mayor parte de la hoja Salamá y Cubulco (hojas 1:50,000) drenando el centro y parte del oeste del área.

Hacia el extremo noreste del área, también se inician dos importantes ríos de Guatemala; estos son el Río Cahabón y el Río Polochic, cuyo recorrido es considerable. Lamentablemente dentro del área no fue posible integrar un cuarto sistema de drenaje con estos ríos. Ambos ríos se unen antes de desembocar en el Lago de Izabal.

## IV. - GEOLOGIA

### a. Geología Regional

En el Territorio de Guatemala se encuentran distribuidos en el tiempo y en el espacio los tres grandes grupos de rocas: ígneas, sedimentarias y metamórficas.

Cada uno de estos tres grandes grupos de rocas están emplazados en zonas perfectamente definidas que dividen al territorio en cinco unidades morfo-estructurales, estas son: (Ver Fig. No. 3).

1. - Plataforma sedimentaria del Petén y Belice
2. - Anticlinorium de los Cuchumatanes
3. - Completo cristalino-metamórfico
4. - Cinturón volcánico
5. - Plataforma del Pacífico

#### 1. - Plataforma sedimentaria del Petén y Belice

Esta unidad de rocas sedimentarias mesozoicas y cenozoicas es la continuación de la Plataforma Continental en Territorio Guatemalteco y abarca parte de los departamentos del Petén y Belice. Su relieve es plano en la parte norte con alturas no mayores de los 100 metros, mientras que hacia el sur presenta un relieve suave que no sobrepasa los 500 metros de altura. La estratigrafía de esta unidad aún no es bien conocida, se encuentran sedimentos calcáreos, arcillosos y evaporíticos, así como sedimentos continentales que fueron depositados después de la última regresión marina a finales del Oligoceno. El intemperismo químico es común en esta zona proporcionándole una topografía kárstica y fuertes corrientes subterráneas de agua. En su límite hacia el sur se incrementa la actividad salina, y parece ser que además del levantamiento regional esta unidad ha sido afectada por movimientos diapíricos.

#### 2. - Anticlinorium de los Cuchumatanes

Esta unidad tectónica forma las Sierras de los Cuchumatanes, Chamá y Santa Cruz que cruzan Guatemala de Oeste a Este. El Anticlinorium de Los Cuchumatanes, con alturas que sobrepasan los 3,300 metros sobre el nivel del mar, es una continuación del Anticlinorium de la Sierra Madre: unidad tectónica establecida para el SE de México.

Estructuralmente esta unidad está formada por una serie de pliegues con orientación NW-SE que a menudo presenta sistemas de fallas de tipo longitudinal. Estas fallas están controladas o forman parte de la Falla Polochic que cruza el territorio de W a E y que limita esta unidad con el complejo cristalino-metamórfico. Actualmente se tiene conocimiento que tanto esta falla, como la del Motagua, están relacionadas con la fosa de Bartlett en el Mar de las Antillas (Océano Atlántico), cuya profundidad supera los 5,000 metros.

Los disturbios que plegaron esta región fueron provocados por la Orogenia Lara-

mide durante el Paleoceno-Eoceno (Benavides-García 1956), cuyos esfuerzos se considera actuaron de norte a sur. Se considera también que el Cinturón Cristalino-Metamórfico sirvió como masa estable que opuso resistencia a los esfuerzos compresionales dando origen a los pliegues, fallas y flexionamiento que presentan las estructuras.

La estratigrafía consiste aproximadamente de 6,050 metros de espesor de rocas sedimentarias que están expuestas en los altos Cuchumatanes en el departamento de Huehuetenango. El rango de estos sedimentos es considerable, cubre desde la Formación Chicol del Grupo Santa Rosa, a la que se le ha asignado una edad Pre-Pérmica, hasta la Formación Sepur del Cretácico Superior. Russell E. Clemens y Burke Burkart han establecido la columna estratigráfica para el NW, (Fig. No. 4). En la Baja Verapaz y en la parte sur de la Alta Verapaz, al Norte de Guatemala, la Misión Geológica Alemana estableció la columna estratigráfica (Fig. No. 5).

### 3.- Complejo Cristalino-Metamórfico

Esta unidad morfo-estructural aflora en forma de una faja que atraviesa Guatemala de oeste a este, ligeramente convexa hacia el sur, su mayor exposición es hacia el noreste continuando en Territorio de Honduras para desaparecer en el Mar de Las Antillas. Hacia el este se angosta e incluso desaparece bajo el material piroclástico del Cenozoico. Hacia el norte está limitada en toda su extensión por la Falla Polochic y hacia el sur por el Cinturón Volcánico. Paralelo a la Falla Polochic y dentro del Complejo Cristalino-Metamórfico, corre la Falla de Motagua que afalla a esta unidad tectónica en sus dos terceras partes.

La litología de esta unidad, como su nombre lo indica, es típicamente un complejo, en gran parte de rocas metamórficas. Hacia el noroeste de Guatemala varía entre rocas plutónicas, meta-plutónicas y meta-sedimentarias. La unidad litológica cartografiada por Clemens y Burkart en el departamento de Huehuetenango son gneis, esquistos, anfibolitas, metapedernal, metacuarcita, metaconglomerado, rocas metavolcánicas, así como metaplutónicas; afloran en el núcleo disectado de los Altos Cuchumatanes, al oeste de Huehuetenango.

La Misión Geológica Alemana estudió la zona localizada al noreste de Guatemala, entre las regiones de Salamá y Tactic, determinando la columna litológica que se muestra en la Fig. No. 6. Esta zona está localizada dentro del área en estudio.

Respecto a la paleohistoria de esta unidad, fue durante el Geosinclinal Paleozoico (Dengo y Bohnenberger 1967) que se extendió desde el Istmo de Tehuantepec hasta parte del Territorio de Nicaragua, donde se depositaron los metasedimentos que forman el Complejo Metamórfico. En cuanto a las rocas cristalinas que se encuentran en este complejo, aún hace falta investigar más sobre su naturaleza, emplazamiento y edad. La Misión Geológica Alemana le asignó una edad Cretácica al cuerpo intrusivo de composición granodiorítica que aflora al noreste de Salamá: las rocas ultrabásicas compuestas por minerales del grupo de la serpentina, se les asignó una edad Cretácico-Terciaria. La edad para el gabbro, diorita, anfibolita y serpentinita aún está indeterminada.

#### 4. - Cinturón Volcánico

Esta unidad cubre la parte Occidental, Sur y Oriental de Guatemala, extendiéndose paralelamente al Océano Pacífico por el resto del Territorio Centro Americano, formando parte del Cinturón Volcánico que rodea el globo terrestre.

La actividad volcánica en esta zona que está entre las más intensas y explosivas del mundo, principió en el Terciario Tardío y continúa aún en el presente. Precisamente el 11 de Octubre de 1974, el Volcán de Fuego, localizado a 60 - km al Suroeste de Guatemala, entró en una de sus erupciones más intensas en su historia; sus últimos 250 metros de altura fueron destruidos completamente, arrojando gran cantidad de material lávico y piroclástico de composición básica. Otros volcanes como el Pacaya y de tipo adventicio como el Santiaguito, se mantienen en constante actividad.

El Vulcanismo Terciario se caracteriza por erupciones de fractura, produciendo grandes volúmenes de material riódacítico; mientras que las erupciones cuaternarias se conservan en la margen meridional de la zona Volcánica Terciaria se distinguen por ignimbritas dacíticas, altos conos y domos de lava andesíticos (Samuel Bonis, 1966). En el Sureste de Guatemala, el Vulcanismo Cuaternario es diferente; aquí se presentan grandes conos compuestos de material andesítico y grupos de pequeños conos cineríticos, así como derrames lávicos. Muchos de estos focos están controlados por fracturas que siguen una orientación preferencial norte-sur.

Una parte considerable del basamento de esta unidad tectónica consiste de plutones de naturaleza granítica. Algunos de estos cuerpos graníticos se han datado dando una edad Cretácica. Es posible que estos cuerpos se encuentren emplazados dentro de un basamento metamórfico que bien puede ser la continuación del Complejo Cristalino-Metamórfico descrito anteriormente.

#### 5. - Plataforma del Pacífico

Hacia la Costa del Pacífico, los productos de la erosión de estas montañas volcánicas han creado una planicie costera con un promedio de 50 km de ancho. Los sedimentos, de un espesor desconocido, consisten de arenas, gravas, cenizas, pómez y depósitos laháricos, que pasan gradualmente hacia las rocas volcánicas de detritus depositado en abanicos aluviales.

#### b. Geología Económica (Area IV, Sierra de Chuacús)

La región tiene desde tiempos muy antiguos antecedentes mineros: así, la parte Oeste de la Sierra de Chuacús y las regiones de Purulhá y Tukurú, son distritos en los cuales hubo una explotación minera intensa que principió en tiempos de la Colonia, hasta el fin de la Segunda Guerra Mundial.

El trabajo más completo que se ha hecho en parte de esta área, encaminado al reconocimiento y evaluación de depósitos minerales metálicos y no metálicos en forma sistemática, fue el que realizó la Misión Geológica Alemana conjuntamente con el Instituto Geográfico Nacional de Guatemala.

La Misión Geológica Alemana aplicó diferentes métodos de exploración, e incluso en el área de Salamá aplicó métodos geoquímicos.

A continuación se describen los depósitos metálicos que se localizan dentro del área de estudio, o bien, cerca de ella.

Yacimientos pequeños de hierro se encuentran en las calizas de la Formación Cobán, Alta Verapaz, y también en las calizas pérmicas de la Formación Chochal en Baja Verapaz. Estos depósitos fueron primeramente sulfurosos de origen hidrotermal que posteriormente, por medio de una oxidación profunda, fueron transformados en hematita y limonita ( $FeO$  y  $Fe_2O_3$ ), que es como actualmente se presentan. Estos yacimientos han sido explotados esporádicamente por industriales guatemaltecos utilizando métodos rudimentarios. La Misión Geológica Alemana llegó a la conclusión que estos yacimientos no son de rendimiento económico.

Minerales de Plomo (Pb) y Zinc (Zn) son explotados desde hace mucho tiempo y en forma esporádica, en las Minas de Caquípec y Suquinay (Puruhá), Hoja Tucurú, 1:50 000, al este de Tactic. Estas minas no han sido estudiadas sistemáticamente, de ahí que no se conozcan sus reservas.

Actualmente está en explotación la Mina Oxec, por la Compañía Transmetales, Ltda., situada aproximadamente 8 km al este del pueblo de Cahabón (Hoja Chicomoxan, 1:50 000). La mineralización consiste principalmente de sulfuros de cobre y carbonatos en una proporción menor. Con relación a las reservas de esta mina, éstas le han permitido a la compañía instalar un molino con capacidad de 500 toneladas diarias.

Hacia el noreste, a orillas del Lago de Izábal, se encuentran los depósitos níquelíferos más grandes descubiertos en América Latina, después de los descubiertos en Cuba. Estos yacimientos son de origen mecánico y se encuentran en suelos residuales del tipo laterítico originados de rocas ultrabásicas. Actualmente la concesión de explotación la tiene la Compañía Exploraciones y Explotaciones Mineras de Izábal (EXMIBAL), que a su vez es una subsidiaria de la Compañía Internacional Níquel de Canadá.

En cuanto a minerales no metálicos, se encuentran los siguientes depósitos:

En el basamento de la Sierra de Chuacús aparece asbesto en filones angostos y cortos, íntimamente relacionados con peridotitas serpentinizadas. Los depósitos encontrados no son aún suficientes para que ameriten su explotación.

Depósitos de barita se han descubierto al noroeste y noreste del Poblado de Cubulco (Hoja Cubulco, 1:50 000). El mineral se encuentra formando pequeños cuerpos lenticulares y filones angostos en la aureola de un complejo granítico.

Depósitos de Distena se localizan en la parte central de la Sierra de Chuacús, en los alrededores del poblado de Tres Cruces, al norte de Pachalum (Hoja Granados, 1:50 000). Este mineral está íntimamente relacionado con rocas metamórficas de la Facies Almandin-Anfibolita. Localmente las rocas aflorantes

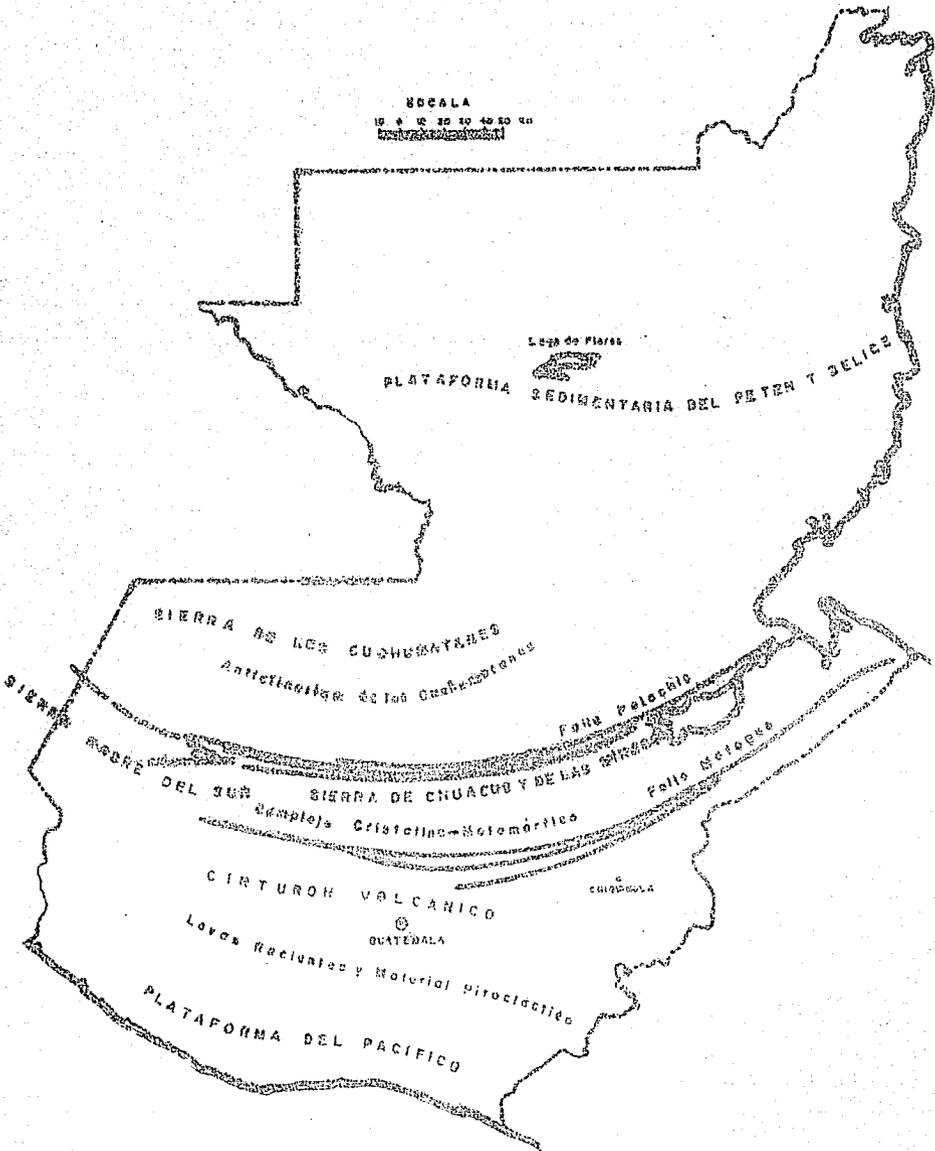
están bastante entremezcladas con la Distena. Según los estudios de la Misión Geológica Alemana, estos depósitos son de rendimiento económico.

Depósitos industrialmente económicos de yeso se localizan en el valle del Río Chixoy o Negro en Alta Verapaz. Este yeso forma varios yacimientos individuales de diferentes extensiones y espesores, encontrándose en una zona de fallas con orientación norte-sur. Se han cubicado aproximadamente 109 millones de toneladas en el Valle del Río Chixoy.

Yacimientos económicos de granate, únicos hasta ahora descubiertos en Centro América, se han localizado en los departamentos de Baja Verapaz y Quiché.

Por último, se tienen yacimientos de pirofilita, un mineral talcoso que se localiza cerca de la Población de Morazán (Hoja Progreso, 1:50 000), y otros yacimientos aislados se encuentran en las serpentinitas a ambos lados del Río Motagua.

ESCALA  
 0 10 20 30 40 50 km



UNIDADES MORFO-ESTRUCTURALES

Fig. 1

Tesis: EDGAR TOBIAS

SECCION ESTRATIGRAFICA GENERALIZADA PARA EL  
NOROESTE DE GUATEMALA

AUTOR: CLEMENS Y BURKART

EDAD		UNIDADES DE ROCA	ESPESOR (metros)	LITOLOGIA
CEÑOZOICO	TERCIARIO CUATERNARIO		0- 400	Aluvión, Ceniza volcánica, Till Glacial, Conglomerado, Rocas volcánicas en el valle de Cuico y Selagua.
		MESOZOICO	CRETACICO	FORMACION SEPUR
FORMACION IXCOY	500- ±3000			Intercalación de Caliza, Dolomita, brecha de Caliza y Dolomita, menos Lutita y Arenisca fina. La parte superior es fósilífera.
JURASICO	FORMACION TODOS SANTOS		1200- 1800	Conglomerado Rojo, Arenisca, Lodolita, Caliza local en la parte superior; capas blanco-amarillentas de Arenisca conglomerática.
	PALEOZOICO		PERNICO	FORMACION CHOCHAL
GRUPO SANTA ROSA		FORMACION ESPERANZA		± 500
		FORMACION TACTIC	500- ± 1000	Arenisca fina, Limolitas y Lutitas; algunas capas delgadas de Caliza en la parte superior.
		PRE-PERNICO	FORMACION CHICOL	800- ± 1200

FIG. Nº 1

SECCION ESTRATIGRAFICA CONJUNTA, PARTE SUR DE ALTA VERAPAZ  
Y PARTE NORTE DE BAJA VERAPAZ. ESPESORES APROXIMADOS

AUTOR: MISION GEOLOGICA ALEMANA (1970)

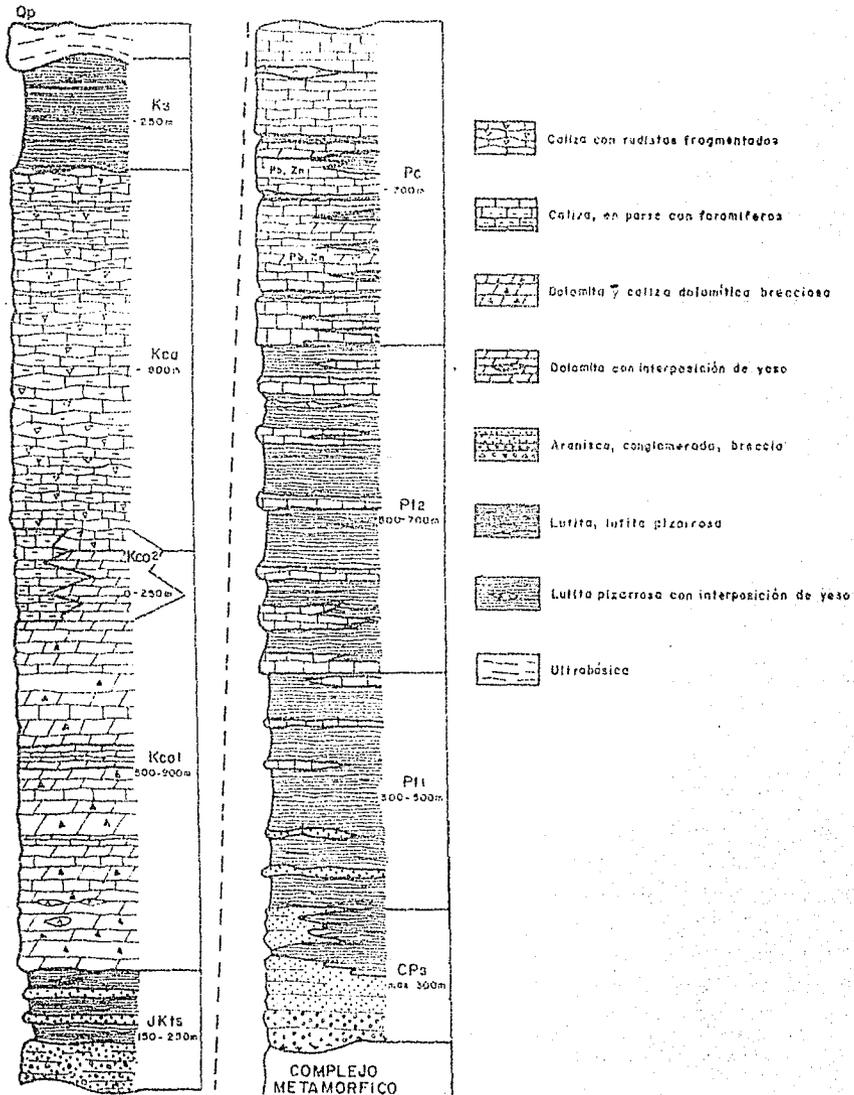


FIG. Nº 5

COLUMNA LITOLÓGICA PARA EL NORESTE DEL COMPLEJO METAMÓRFICO-CRISTALINO (Región entre Salamá - Tactic)

AUTOR: MISION GEOLOGICA ALEMANA

CARBONIFERO PRE-CARBONIFERO	<p>ZONA DE CLORITA DE SALAMA</p> <p>Filita, Cuarzita, Metagrauvaca, Metarcosa, localmente con fósiles                  Filita, metamorizada por contacto de Granodiorita                  Filita, Metagrauvaca y Metarcosa granitizada                  Celiza cristalina</p> <p>ZONA DE BIOTITA DEL CHOL</p> <p>Esquisto mesovítico-biotítico, Paragnais, Blastita de plagioclasa,                  Metatextita, en parte granitizada</p> <p>MARMOL</p> <p>ZONA DE GRANATE DE POLIBATZ</p> <p>Esquisto micáceo-granítico, Cuarzita, Blastita de plagioclasa,                  Metatextita</p>
EDAD INDETERMINADA	<p>PLAGICLASA - HORNBLENDA - LAMPROFIRA                  (Post-Maestrictiano)</p> <p>GRANODIORITA                  (Probablemente cretácico)</p> <p>SERPENTINITA</p> <p>DIORITA - GABRO                  En parte granitizada</p> <p>ANFIBOLITA</p>

FIG. Nº 6

## V.- LA ESTADISTICA APLICADA A LA GEOQUIMICA

Tal y como se dice en la parte introductiva a este trabajo, se hace a continuación un resumen de los principales pasos que se siguen en la compilación e interpretación de los datos geoquímicos. Sobre esta base estadística fue hecha la exploración geológica por métodos geoquímicos en el Area IV, Sierra de -- Chuacús.

Los principales pasos son los siguientes:

### a. Necesidad y objetivo práctico del tratamiento estadístico de la información

La fase de compilación e interpretación de un estudio geoquímico se distingue por dos características que son fundamentales:

- La gran cantidad de datos a ser analizados
- La falta de precisión de estos datos

Los métodos de muestreo y métodos analíticos deben sacrificar precisión por velocidad debido a la misma naturaleza de la exploración geoquímica, y la primera consecuencia de este hecho es que un resultado aislado no tiene ningún valor en geoquímica. Es necesario que los valores formen parte de una población tan numerosa y homogénea como sea posible. Las inexactitudes individuales, como en todos los fenómenos, tienden a desaparecer progresivamente cuando las observaciones se extienden a un número cada vez mayor de poblaciones.

La primera fase de la interpretación geoquímica es la de condensar grandes masas de datos numéricos y extraer de ellos la información esencial. El modo -- más objetivo y digno de confianza de hacerlo (y algunas veces el único), es estadísticamente. Grandes grupos de datos engorrosos y difíciles de interpretar pueden ser reducidos a una forma útil por medio del uso de estadística descriptiva. En la práctica esto se facilita por medio de una representación gráfica de la distribución de frecuencias de un grupo dado de datos; entonces el valor promedio, que es una expresión del grado de variación alrededor del promedio y el límite -- arriba del cual empiezan las anomalías, se determina rápido y con precisión, -- así como la existencia de una o varias poblaciones en el área de estudio.

Este método estadístico que se aplica a los datos, también simplifica la comparación del comportamiento geoquímico de un elemento en varios ambientes geológicos, o de varios elementos en la misma unidad litológica.

### b. Dificultad del tratamiento estadístico en el caso de estudios de sedimentos -- fluviales

En una interpretación estadística exacta, es necesario llenar dos condiciones:

- Tratar con gran cantidad de datos
- Que estos datos sean homogéneos

En el reconocimiento de sistemas fluviales la primera condición se llena fácil-

mente, pero no la segunda. Por cierto que la importancia en la técnica de muestreo algunas veces se descuida en este tipo de exploración; pero aun así si se le presta la debida atención, muchos tipos de ranaje y muchas unidades litológicas son generalmente muestreadas con el objeto de tener una población homogénea de muestras. Una muestra de sedimento fluvial no se origina "in situ" y tiene que ser considerada en función de la cuenca y de la unidad litológica de la cual se derivó. La mejor manera de evitar la inconveniencia de la heterogeneidad de las muestras es la de repartir el área de estudio en unidades fluviales y litológicas cuanto esto sea posible, y hacer la interpretación estadística para cada una de ellas separadamente. Sin embargo, aun cuando se haga esto, el mismo grado de precisión no se puede obtener como en el caso de un estudio de suelos donde una buena homogeneidad es posible.

### c. Ajuste a una distribución logarítmica normal. (log normal)

#### i) Definiciones:

Quando se trata de grandes masas de datos geoquímicos, el primer paso es el de encontrar a qué tipo se ajustan los patrones de distribución de los varios grupos de observaciones. Hasta la fecha, el patrón de distribución logarítmica normal parece ser el más aplicable a los resultados de la mayor parte de los estudios geoquímicos.

En exploración geoquímica estudiamos el contenido de elementos-traza en varios materiales de origen natural, y al decir que los valores se distribuyen en una forma log-normal implica que los logaritmos de estos valores están distribuidos siguiendo la ley normal (Ley de Gauss), muy bien conocida como la "curva en forma de campana" (Fig. No. 7).

Muchos fenómenos naturales o económicos pueden ser expresados por un valor que varía entre cero e infinito, representados por una curva de distribución asimétrica. Si, en vez de los valores actuales de la variable misma se plotan en la abscisa sus logaritmos, la curva de frecuencia toma una forma simétrica en forma de campana, la que es típica de una distribución normal. Esto sucede cuando el fenómeno está sujeto a un efecto proporcional, o sea cuando causas iniciales independientes en las variaciones del valor estudiado, hacen efecto en una forma multiplicativa. Por ejemplo, este es el caso de la distribución de los valores de un depósito mineral, el tamaño del grano en muestras de rocas sedimentarias y otros.

En todos estos ejemplos el carácter estudiado sigue la ley log-normal, la que es probablemente más común que la normal.

Es interesante notar que la ley log-normal se ajusta muy bien en el caso de depósitos minerales de baja ley como el Oro (Au), por ejemplo; pero en el caso de minerales de alta ley, por ejemplo el hierro (Fe), la distribución experimental tiene generalmente una forma asimétrica negativa debido a su limitación en dirección de los valores altos.

#### ii) Construcción de la curva de frecuencia

Una curva de distribución log-normal se define por dos parámetros: uno que depende del valor medio, y el otro del carácter de la distribución de valores. Este último parámetro es una medida de la amplitud de la distribución de los valores; esto es si la distribución cubre un rango amplio o reducido de valores. Los dos parámetros pueden ser determinados gráficamente como se explicará más adelante. En la práctica se trabaja con curvas de frecuencia acumulada y se explicará su construcción por medio de un ejemplo práctico aplicado durante el presente trabajo.

Los varios pasos en esta construcción son los siguientes:

- Selección de un grupo preciso de datos ("población") tan grande y homogéneo como sea posible
- Agrupamiento de los valores en un número adecuado de clases
- Calcular la frecuencia de su ocurrencia en cada clase y plotearla contra los límites de clase; esto nos da un diagrama llamado "histograma"
- Suavizar el histograma a manera de obtener una curva de frecuencia
- Plotear las frecuencias acumuladas en el eje de las ordenadas, nos da la curva de frecuencia acumulada la cual es el integral de la curva de frecuencias
- Al reemplazar la escala aritmética en el eje de las ordenadas por una escala de probabilidades, la curva de frecuencias acumuladas se representa por una o más líneas rectas.

Ejemplos de la construcción de curvas de frecuencia log-normal se muestra en la Fig. No. 7.

Comentarios sobre los diferentes pasos:

Entre mayor sea la población analizada, más precisión y exactitud se obtendrá en los resultados. Si se hace necesario, aun 50 valores pueden ser analizados estadísticamente, pero los límites de confianza deben de ser calculados para ver si el análisis tiene algún significado útil.

Un agrupamiento correcto de los valores es obligatorio si se espera obtener precisión en la interpretación estadística. Los resultados están distribuidos en clases, el nódulo de los cuales debe ser proporcional a la precisión de los análisis; entre más preciso sea el análisis, más pequeño será el nódulo. El intervalo logarítmico debe ser adaptado a la amplitud de variación de los valores y a la precisión de los métodos analíticos.

En estadística se recomienda trabajar con 15 a 25 intervalos de clases. Generalmente la amplitud de la clase expresada logarítmicamente, debe mantenerse igual a/o menor que la mitad de la desviación estándar. En geoquímica conviene trabajar con 10 a 20 puntos sobre la línea de frecuencias acumuladas, esto es, con 9 a 19 intervalos o clases. Se tienen que considerar 3 variables: el número de puntos necesarios para construir una línea correcta (n), que pueden variar entre 10 y 20; la amplitud en la distribución de los valores (R), expresada por la relación entre el valor más alto y el valor más bajo de la población; en la mayor parte de los casos R varía entre 6 y 300 p.p.m. (promedios experimentales); y la amplitud de las cla

ses expresadas logarítmicamente (intervalo logarítmico) puede ser seleccionada en función de los dos primeros parámetros. Estas tres variables están relacionadas así:

$$\text{int. log.} = \frac{\log. R}{n}$$

Cuando  $n$  varía entre 10 y 20 y el  $\log. R$  entre 0.78 y 2.48, los valores extremos del intervalo logarítmico serán:

$$\text{int. log.} = \frac{0.78}{20} = 0.039$$

$$\text{int. log.} = \frac{2.48}{10} = 0.25$$

Se seleccionó 0.10 como el mejor intervalo logarítmico de clases que mejor se ajusta a la mayor parte de las distribuciones, dando así un número razonable de clases y una buena definición de la curva. En el caso de una dispersión muy reducida de los valores alrededor de la media, se hace necesario usar el intervalo 0.05 y si la dispersión es específicamente grande se escogería 0.2 como intervalo de clases. Cuando ya se ha seleccionado el intervalo logarítmico es fácil calcular una tabla con los límites de clase en p.p.m. La única precaución es evitar empezar con un valor redondo, de tal manera que ningún resultado analítico caiga entre el límite de dos clases. En trabajo geoquímico, la tabla más útil y más comúnmente empleada es la del intervalo logarítmico 0.10, una parte de la cual se da a continuación:

Límite de clase (log) . . . . 0.07, 0.17, 0.27, 0.37, 0.47, 0.57, 0.67  
 Límite de clase (p.p.m.) . . 1.17, 1.48, 1.86, 2.34, 2.95, 3.72, 4.68

Se puede extender en ambas direcciones tan lejos como sea necesario.

Después de haber seleccionado la clase de tabla, los valores se agrupan dentro de cada clase y se calcula la frecuencia con que ocurren, hecho esto, se plotan las frecuencias contra los límites de clase (ya que este último ha sido calculado logarítmicamente, debe usarse papel aritmético-logarítmico), dando así un histograma el cual se suaviza hasta formar una curva de frecuencias. Sin embargo, los histogramas pueden conducir a conclusiones erróneas. Ellos están afectados fuertemente por pequeños cambios en los intervalos de clase; las curvas de frecuencia son difíciles de dibujar y manejar; por ejemplo, se hace necesario determinar los puntos de inflexión de la curva con objeto de evaluar la desviación estándar. En la práctica, el paso del histograma a la curva de frecuencia se ha eliminado y la curva de frecuencia acumulada se construye directamente.

Al plotear las frecuencias acumuladas en el eje de las ordenadas en vez de las frecuencias, se obtiene el integral de la curva de la cual se habló anteriormente. Tiene la forma de una línea recta cuando se usa el papel gráfico apropiado (log probabilidad), y es el que se usa en la presentación geoquímica y en la interpretación de los resultados.

Con respecto a dónde comenzar a acumular las frecuencias, el procedimiento normal seguido por muchos autores es el de empezar con la acumulación de las frecuencias desde los valores más bajos hasta los más altos (Fig. No. 7). Sin embargo, uno debe considerar una propiedad de la escala de probabilidades cuando se usa en el eje de las ordenadas; los valores cero y 100% se rechazan como infinito; no tiene mucha importancia en el caso de cero porque el 0% no existe, pero en cada caso la última frecuencia acumulada es la del 100% y este valor es imposible de plotear puesto que no existe en la gráfica. Entonces, debido a la falta de precisión en los valores bajos y la importancia de los altos para la determinación del nivel umbral, se considera más útil acumular las frecuencias de los niveles más altos a los niveles más bajos; entonces, el 100% corresponderá a la clase más baja y será así eliminado.

En cuanto a dónde plotear las frecuencias acumuladas y siendo la curva un integral, las ordenadas deben ser ploteadas como límites de clase y no deben corresponder al centro de la clase; entonces, siendo que se acumulan las frecuencias de los valores más altos a los más bajos, las frecuencias acumuladas deben ser ploteadas contra los límites inferiores de clase. Usando el valor central de la clase implicaría un error en el exceso de la tendencia central de los parámetros (valor normal y valor umbral), pero no en el parámetro de dispersión (coeficiente de desviación). Este error o diferencia varía con la amplitud de la clase usada y es fácilmente calculado (6% para el int-log de clase de 0.05, 12% para el int-log de clase de 0.10, y 26% para el int-log de clase de 0.20).

Si se usa el límite inferior de las clases, las curvas construídas con diferentes intervalos logarítmicos de clase, pueden ser directamente comparadas sin hacerles ninguna corrección.

Por ejemplo: Véase la distribución del Zn (en el Apéndice) para poblaciones complejas, comprende 998 resultados que varían entre 8 y 200 p.p.m.

$$\text{Población: } N = 998$$

$$\text{Rango: } R = \frac{200}{8} = 25$$

Se selecciona el mejor intervalo de clase como se explica arriba:

$$\text{Int-log.} = \frac{\log_e R}{n} = \frac{1.397}{15} = 0.093 \sim 0.10$$

Un intervalo logarítmico de 0.10 dará 15 intervalos de clase, lo cual es aceptable.

En geoquímica los puntos nunca se ajustan con exactitud a una línea recta; pero esto no es de tanta importancia, siempre que permanezcan dentro de un canal delimitado por los límites de confianza que se toman usualmente al nivel de probabilidad del 5%. El uso de gráficas para calcular el intervalo de confianza evita un cálculo fastidioso y da relativamente buena precisión para los valores de las frecuencias acumuladas entre 5% y 95%. El ancho del canal de confianza es inversamente proporcional a la importancia de la población considerada; entre

más grande es la población, más estrecho es el intervalo de confianza. Para comprobar si una distribución sigue un patrón log-normal, se debe usar la prueba de Pearson; pero esta larga operación no se justifica en este tipo de interpretación y prácticamente el control gráfico descrito anteriormente es satisfactorio.

El propósito principal al construir la curva de frecuencias acumuladas para una población dada, es el de comprobar si se ajusta a una distribución log-normal, y si este es el caso, estimar gráficamente sus parámetros básicos: valor normal ( $b$ ), valor umbral ( $t$ ), y coeficiente de desviación ( $s, s', s''$ ).

" $b$ " da una idea del nivel promedio de concentración de los elementos en un ambiente dado

" $t$ " se supone que es el límite superior de las fluctuaciones de " $b$ "; depende de " $b$ " y " $s$ ". Los valores iguales a/o mayores que " $t$ " se consideran anómalos.

" $s$ " expresa el esparcimiento de los valores alrededor de " $b$ "; corresponde al desplegamiento de los valores, su rango del más bajo al más alto.

Es común también usar " $\mu$ ", " $\sigma$ " y " $\theta$ " para el valor normal, coeficientes de desviación y valor umbral respectivamente.

Cuando se trabaja con muestras de suelos, generalmente éstas se ajustan a la ley log-normal; así también en el estudio del reconocimiento fluvial en Guarema se encontró que el contenido de elementos-traza en sedimentos fluviales aparentemente se ajusta a una distribución log-normal.

En el caso de una curva perfecta de distribución de frecuencias, el valor normal así calculado corresponde al valor modal (el más frecuente) y a la mediana (50% de los valores arriba, y 50% de los valores abajo de él) y es la media geométrica de los resultados. Esta media geométrica es un valor de mucho más significado que la media aritmética. Es también un parámetro más estable, menos sujeta a cambios con la adición de nuevos datos y menos afectada por los valores altos.

Antes de explicar cómo determinar gráficamente el coeficiente de desviación, debe recordarse aquí una propiedad esencial de la distribución normal (que se ajusta a la curva de campana).

" $b$ " siendo el valor de la mediana y " $s$ " la desviación estandar, entonces:

68.26% de la población cae entre  $b-s$  y  $b+s$

95.44% de la población cae entre  $b-2s$  y  $b+2s$

99.74% de la población cae entre  $b-3s$  y  $b+3s$

Esto es correcto en el caso de una distribución log-normal ya que los logaritmos de los valores están normalmente distribuidos. Entonces, al aproximar los por-

centajes arriba mencionados y tomando "b" como el valor normal, se puede decir que el 68% de la población cae entre b-s y b+s, y que el 32% está fuera de estos límites, 16% de los valores caerán arriba de b+s y 16% abajo de b-s. Los valores de b-s y b+s se obtienen proyectando la intersección de la línea de distribución con las ordenadas 16% y 84% en el eje de las abscisas. Al trabajar con logaritmos se deben considerar las proporciones y no los valores absolutos así establecidos.

Tomando como ejemplo la distribución de frecuencias para el Cu en poblaciones complejas (Ver Gráfica en el Apéndice), se determinan los puntos P (en la ordenada para el 16%) y A. OA es la expresión geométrica de la desviación; ésta es inversamente proporcional al gradiente de la línea. Se le denomina "desviación geométrica" (s'); no tiene dimensión, ya que es un factor obtenido al dividir el valor leído en A por el valor leído en O:

$$s' = \frac{b+s}{b} = \frac{25}{16} = 1.6$$

Entonces, multiplicando o dividiendo el valor normal por la desviación geométrica (s') se obtienen los límites superior e inferior de un intervalo incluyendo 68% de la población (desde b-s hasta b+s). Multiplicando el valor normal por el cuadrado de la desviación geométrica, nos da un intervalo incluyendo aproximadamente el 95% de los valores o de la población (b-2s hasta b+2s).

Como todo el razonamiento está hecho con logaritmos es también necesario expresar la desviación geométrica (s') por un logaritmo; entonces, al logaritmo (base 10) de la desviación geométrica (s') se le denomina "coeficiente de desviación" (s).

$$s' = 1.6$$

$$s = \log. 1.6 = 0.21$$

También puede resultar interesante considerar un tercer índice de desviación - éste es la "desviación relativa" (s''), algunas veces llamado coeficiente de variación. Está expresado en forma de porcentaje:

$$s'' = 100 \frac{s}{b}$$

$$s'' = 100 \frac{0.21}{16} = 1.3\%$$

Después del valor normal y del coeficiente de desviación, el tercer parámetro de importancia es el nivel o valor umbral "t" el cual está en función de los dos primeros. Se ha visto en el caso de una distribución simétrica (ya sea normal o log-normal) que el 95% de los valores individuales caen entre b-2s y b+2s, o sea, únicamente 2.5% de la población excede el límite superior b+2s. Este límite superior se toma convencionalmente como el nivel o valor umbral "t" arri

ba del cual los valores son considerados anómalos.

$$\text{Log. } t = \log (b+2s)$$

o si se evita usar logaritmos:

$$t = b \times s^2$$

$$t = 16 \times 1.6^2 = 41 \text{ p.p.m.}$$

Prácticamente "t" así como "b" se leen directamente en la gráfica como la abscisa que corresponde a la intersección de la línea de distribución con la ordenada del 2.5%. En el ejemplo que se ha desarrollado se lee 40 p.p.m., la pequeña diferencia se debe a la aproximación de la ordenada exacta que ha sido leída en el 2.5% en vez del 2.28%. Esto demuestra la importancia de la desviación - en la estimación del valor umbral; dos poblaciones pueden tener el mismo valor normal, sin embargo, pueden tener diferente valor umbral si sus coeficientes - de desviación son diferentes.

En todo lo anterior se ha considerado el caso más simple, una sola población -- log-normal cuya expresión diagramática es la línea recta. Sin embargo, al -- construir curvas de frecuencia acumulada puede obtenerse también una línea que brada, la cual sugiere que el grupo de datos considerados corresponde a una población compleja o bien a dos o más poblaciones. En la práctica la interpretación se hace con juegos de datos seleccionados de tal manera que no se incluyan más de dos diferentes distribuciones; por ejemplo: una unidad litológica puede incluir dos tipos de mineralización mostrándose en los suelos o sedimentos fluviales, uno representativo del contenido normal del material muestreado y el otro comprendiendo mineralización superpuesta relacionada con una mena o yaacimiento mineral.

Los tres principales casos de distribuciones no homogéneas que pueden ocurrir más frecuentemente en orden decreciente de frecuencia, son los siguientes:

- un exceso de valores altos en la población considerada
- una mezcla de dos poblaciones en un grupo dado de datos
- un exceso de valores bajos en la población considerada

Ejemplo del primer caso se puede observar en la distribución de frecuencias del Pb para poblaciones complejas (Ver Gráficas en el Apéndice), y del tercer caso - la distribución de frecuencias del Zn también para poblaciones complejas..

#### d. - Ventajas de las curvas de frecuencia acumulada

La manera más precisa y fácil de presentar una gran cantidad de datos es la de plotear la distribución de un elemento en una unidad seleccionada como curvas de frecuencia acumulada sobre papel gráfico de probabilidades, teniendo el cui-

dado de no sobrecargar la gráfica con líneas y datos innecesarios. Todos los parámetros característicos de la distribución pueden ser estimados sin cálculos engorrosos; varias poblaciones pueden ser consideradas fácilmente y las distribuciones complejas claramente identificadas. Además, el ajuste a una distribución log-normal puede ser comprobado gráficamente.

La comparación de características geoquímicas de varias unidades en un área de estudio, es muy importante en la evaluación de su potencial minero. Si se hace necesario, pueden plotearse las distribuciones correspondientes en el mismo diagrama; así, las heterogeneidades serán fácilmente visibles y podrán ser fácilmente seleccionadas las unidades correspondientes para una investigación posterior. En una escala más amplia se puede comparar fácilmente el comportamiento geoquímico de varios elementos-traza en un ambiente geológico determinado dado en varios países o provincias metalogénicas.

#### e. Diagramas de correlación

En el caso de una mineralización polimetálica, dos elementos distribuidos logarítmicamente normal, por ejemplo entre Pb y Zn, una muestra alta en Pb es generalmente alta en Zn. Este concepto geológico de la relación entre dos tipos de mineralización, aunque cualitativo y bastante vago, puede ser representado por un factor exacto: "el coeficiente de correlación" ( $\rho$ ), el cual da una medida rigurosa de su grado de dependencia entre dos o más mineralizaciones.

El coeficiente de correlación " $\rho$ " siempre cae dentro del intervalo  $-1 \leq \rho \leq 1$ ;  $\rho = 0$  significa una completa independencia entre dos elementos considerados;  $\rho = \pm 1$  indica una relación de dependencia directa o inversa entre ellos (relación lineal).

Para el cálculo de  $\rho$  existe una forma gráfica para estimarlo; es un método menos preciso pero mucho más rápido que el cálculo estadístico completo. El método consiste en construir una "nube de correlación" utilizando papel logarítmico. Cada muestra de la población bajo estudio es ploteada siguiendo sus dos coordenadas: su valor en un elemento A y su valor en un elemento B. Cuando están las dos poblaciones ploteadas representan una "nube de puntos".

Esta presentación de los datos es muy conveniente porque nos proporciona una imagen geométrica de las leyes de distribución. Los ejes pasan por el centro de gravedad  $b_A, b_B$ , es decir, por el punto cuyas coordenadas son los valores normales de los dos elementos considerados. Los puntos dentro de cada cuadrante son contados y agrupados de la forma siguiente:

$N_1$  = número de puntos en el 1o. y 3o. cuadrante

$N_2$  = número de puntos en el 2o. y 4o. cuadrante

El coeficiente de correlación viene dado por la fórmula:

$$\rho = \text{Seno} \left[ \frac{\pi}{2} \cdot \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right]$$

En la práctica jamás va a ser igual a 1, éste sería el caso en que todos los puntos estuvieran en una línea recta. Casi por lo general el coeficiente de correlación cae dentro de los dos casos siguientes:

$\rho = "0"$  ó ligeramente cerca de "0", esto sucede cuando la nube elíptica tiene sus ejes paralelos a los ejes de las coordenadas y las dos variables son independientes.

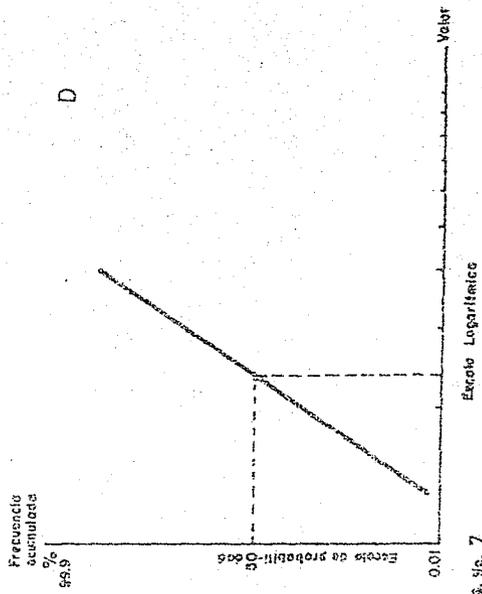
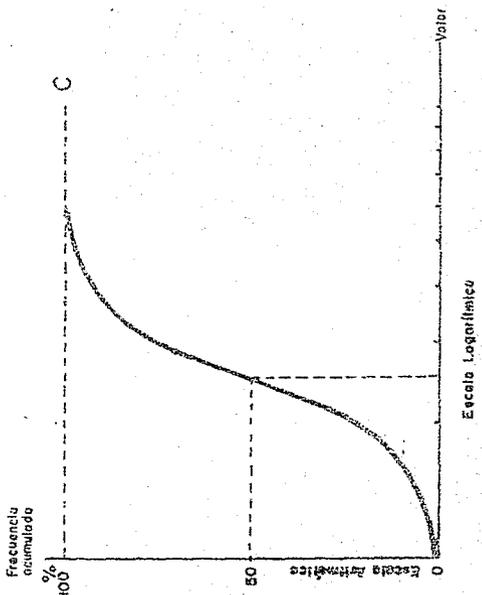
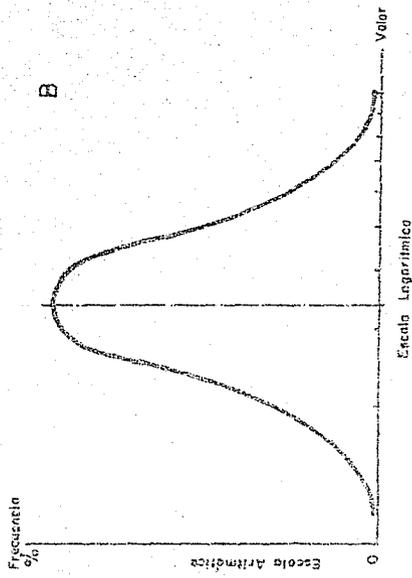
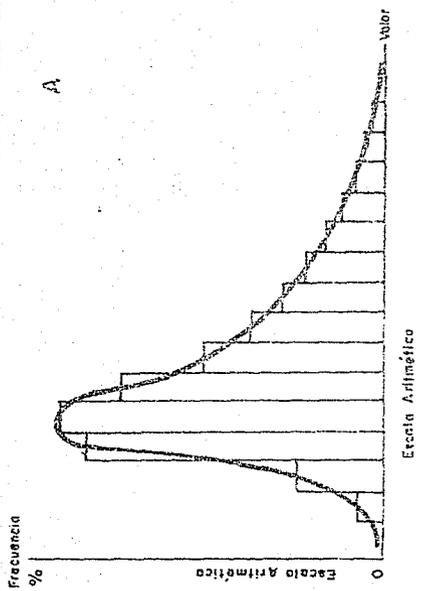
$\rho$  Es claramente diferente de "0", la nube representa una elipse cuyos ejes están inclinados con respecto a los ejes de las coordenadas. La pendiente de los ejes principales tiene el mismo signo de  $\rho$ . Si  $\rho > 0$ , los dos elementos varían en la misma dirección; si  $\rho < 0$ , los dos elementos varían inversamente.

La nube de correlación está en función de dos histogramas; es la forma más simple para establecer si una población es homogénea o heterogénea. Cuando la población es homogénea, los puntos tienden a agruparse para formar una sola nube elíptica; en el caso inverso, los puntos tienen uno o más centros de atracción formando dos o más nubes elípticas que en algunos casos pueden traslaparse.

En la prospección geoquímica, el coeficiente de correlación puede ser usado para determinar la asociación mineralógica de los elementos en muestras naturales. El diagrama de correlación muestra si dos elementos están espacialmente asociados, o bien si uno puede ser usado como camino para hallar al otro.

Como ejemplo pueden consultarse (en el Apéndice) los diagramas de correlación hechos durante el presente estudio. Lamentablemente la mayoría de los diagramas dieron resultados negativos, lo que se atribuye en parte a lo normal de la mineralización y al exceso de rocas metamórficas y volcánicas en la zona de estudio; de tal manera, que estos diagramas no ilustran bien el concepto del "coeficiente de correlación"

# CURVA DE DISTRIBUCION LOG-NORMAL



## VI. - PROSPECCION GEOQUIMICA

### a. Introducción

El término "Geoquímica" fue introducido por el químico suizo Schönbein en 1938. Geoquímica significa la química de la tierra, pero para fines geológicos se puede restringir el término diciendo que la "geoquímica se ocupa de la distribución y migración de los elementos químicos en el interior de la corteza terrestre, en el espacio y en el tiempo".

Durante 50 años la geoquímica estuvo en desarrollo, enfocada principalmente al análisis químico de los elementos contenidos en muestras colectadas de la corteza terrestre, de aguas mineralógicas y de gases. Este trabajo se limitó a los laboratorios europeos, hasta el año de 1884 en que se fundó el Servicio Geológico de los Estados Unidos, nombrando a F. W. Clarke como químico en jefe. La labor geoquímica que ha venido desarrollando esta institución se considera como una de las mejores de nuestros días. Clarke dirigió la organización durante 41 años y fue responsable de una basta investigación y divulgación de todo el material colectado por el equipo de Geólogos en su trabajo de campo.

Ha sido precisamente en la Unión Soviética donde más se ha investigado en este campo, posiblemente por su gran extensión territorial y la necesidad de obtener métodos de exploración a nivel regional y a un costo relativamente bajo comparado con otros métodos geológicos de exploración. Viendo el magnífico resultado de la aplicación geoquímica en la Unión Soviética, siguieron el ejemplo Estados Unidos, Canadá, Francia, Africa del Sur y otros, en donde también se han descubierto importantes yacimientos minerales, mejorando cada vez los métodos de exploración geoquímica. Actualmente se está tratando, y ya se ha adelantado mucho en este campo, de perfeccionar programas para el uso de máquinas computadoras, y poder así hacer más rápido el método e ir eliminando errores humanos.

Algo muy importante al hacer una interpretación basada en parámetros geoquímicos, es conocer previamente la geología de la región que se está explorando; de otra manera, el método solo no funciona.

### b. Prospección Geoquímica

Hawkes y Webb definen de la manera siguiente lo que se entiende por prospección geoquímica:

"Cualquier método de exploración minera basado en la medición sistemática de una o más propiedades químicas de los materiales que se presentan en forma natural".

"El propósito de las mediciones en el descubrimiento de aureolas químicas anormales, o anomalías geoquímicas relacionadas a la mineralización".

"La propiedad química es comunmente el contenido en trazas de algún elemento o grupo de elementos; el material que se presenta en forma natural puede ser roca, suelo, sedimentos fluviales, detritos glaciales, vegetación o agua".

Una prospección geoquímica se puede llevar a cabo a nivel regional o bien en áreas pequeñas; todo depende del tipo de exploración que se requiera. Una exploración geoquímica regional encaminada por ejemplo a la evaluación de determinados minerales en un área específica, generalmente llega hasta la exploración geoquímica de detalle; esto es, el estudio de las "anomalías geoquímicas" obtenidas a partir de la interpretación estadística de los datos geoquímicos.

Se ha mencionado ya el término "Anomalía Geoquímica"; este término no es más que el objetivo que se persigue en un reconocimiento o prospección geoquímica. Para tener bien aclarado el concepto de lo que significa una anomalía geoquímica, es necesario tener presente el significado de dos parámetros geoquímicos fundamentales, el valor normal o valor de fondo y el valor umbral o valor límite normal (background y thres hold respectivamente, términos en inglés). El significado de estos términos ha quedado bien aclarado en el capítulo anterior. Se puede definir una anomalía geoquímica como "el valor o valores geoquímicos que sean superiores al valor umbral o inferiores al valor normal"; en el primer caso obtenemos una "Anomalía Geoquímica Positiva" que es la que interesa y se persigue en las exploraciones por métodos geoquímicos; en el segundo caso obtenemos una "Anomalía Geoquímica Negativa" que únicamente tiene un valor en investigación geológica. También se puede definir una "Anomalía Geoquímica Positiva" (en adelante únicamente se hablará de "anomalía geoquímica", entendiéndose por esto que se refiere a una anomalía geoquímica positiva), como un área con un alto contenido de uno o varios metales o algunas otras características químicas de un material de ocurrencia natural.

No todas las anomalías geoquímicas resultan ser yacimientos de rendimiento económico; puede suceder, y esto es muy frecuente, que la anomalía geoquímica determinada se deba a un enriquecimiento local de una fuente de material con un contenido normal de un metal. Este es uno de los principales problemas que presenta la interpretación de los resultados geoquímicos; poder distinguir un enriquecimiento de un metal que no tiene significancia económica, de una anomalía geoquímica que es indicativa de un yacimiento mineral de rendimiento económico.

Las anomalías geoquímicas genéticamente pueden clasificarse en dos grupos atendiendo principalmente a los procesos de petrogénesis, metamorfismo y actividad hidrotermal que intervinieron a profundidad en la formación del depósito mineral o bien, que estos son el efecto del intemperismo, transportación y sedimentación sobre la superficie de la tierra. A los primeros se les denomina "Anomalías Geoquímicas Primarias", o sea aquellos depósitos que se encuentran en su lugar de origen, y a los depósitos que han sufrido acarreo se les denomina "Anomalías Geoquímicas Secundarias". Las anomalías

primarias pueden también subclasificarse de acuerdo a su génesis y tamaño en "áreas de anomalías geoquímicas, halos o aureolas geoquímicas"; las anomalías secundarias pueden subclasificarse atendiendo al medio de transporte que sufrieron los materiales; así existe transporte por corrientes superficiales y subterráneas de agua, transportación glacial o bien, no tener un transporte apreciable, tales como los enriquecimientos secundarios (gossan) o también suelos residuales como los lateríticos que generalmente son ricos en Níquel.

Muy importante en la exploración geoquímica es utilizar la escala adecuada para el estudio; comunmente se trabaja con las siguientes escalas:

Reconocimiento	1:1,000,000	a	1:100,000
Prospección	1:100,000	a	1:25,000
Detalle	1:10,000	a	1:2,000

En la prospección geoquímica realizada en Guatemala se utilizaron mapas topográficos a escala 1:50,000, precisamente porque Guatemala tiene cubierto todo su territorio con cartas topográficas a esta escala, lo que no sucede en la mayoría de los países de América Latina, que no poseen o poseen parcialmente cartas topográficas a esta escala.

Generalmente la exploración geoquímica se hace a base de muestras de sedimentos, muestras de suelos o bien, combinando ambas clases de muestras. Se hace necesario entonces describir lo que es un sedimento y un suelo; un sedimento, en los términos geológicos más elementales, se puede definir como el producto de la intemperización, erosión y depositación en un nivel base, sin incluir en el concepto la diagénesis, ya que ésta implica procesos de litificación y metamorfismo de las rocas sedimentarias. Un sedimento es un material inconsolidado e interesan en la exploración geoquímica de sedimentos, las arenas, las arcillas y los limos. En cuanto a la definición de suelo, primero se tienen que hacer algunas consideraciones; es cierto que son las rocas las que dan origen a los suelos, pero esto no implica que la clase de suelo esté determinada totalmente por la clase de roca que le dió origen. Estudios recientes han demostrado que el tipo de suelo está determinado además por otros factores tales como el tiempo de formación, el clima y la topografía del terreno; así, científicos rusos han investigado que diferentes suelos se desarrollan sobre rocas idénticas en áreas diferentes cuando el clima varía de un área a otra; así también, el suelo que se desarrolla en la cima de un cerro es diferente al que se desarrolla en la ladera y éste a su vez diferente al que se desarrolla al nivel del terreno, al pie del cerro; de tal manera que "suelo" se puede definir simplemente como "un material superficial natural que sostiene la vida vegetal".

Como todos estos factores, y algunos otros de menor importancia que no se menciona, se combinan para la formación de un suelo, el número posible de tipos de suelo sobre la superficie terrestre es casi ilimitado.

Generalmente en los suelos se pueden observar tres horizontes que por comodidad se denominarán A, B y C, aunque en la naturaleza pueden estar ausentes uno o más de estos horizontes o no existir suelo simplemente. El horizonte A es la sección de suelo que se encuentra inmediatamente abajo de la cubierta vegetal, a este horizonte también se le denomina "zona de lixiviación"; comúnmente este horizonte presenta una coloración que va del gris al negro debido al contenido en cantidades variables de materia orgánica. El horizonte B se localiza inmediatamente después del horizonte A y es en este horizonte donde el intemperismo ha actuado con mayor intensidad alterando totalmente la roca original; de tal manera que únicamente aquellos minerales resistentes a la descomposición se pueden reconocer todavía. Generalmente el material de este horizonte son arenas o arcillas con un alto contenido de óxidos de hierro, con una coloración que varía de café rojizo a amarillo. Por último se tiene el horizonte C que es la roca original parcialmente descompuesta, en donde aún se pueden reconocer los minerales originales de la roca. Inmediatamente después del horizonte C se localiza la roca fresca original.

Cuando se trabaja con geoquímica de suelos, la muestra hay que tomarla del horizonte B o bien, en la parte superior del horizonte C. El horizonte A no se aconseja para tomar la muestra por la razón de que ésta puede estar contaminada por escurrimientos superficiales, polvo que se sedimenta de la atmósfera, contaminaciones biológicas, etc.

### c. Operaciones de Campo

#### 1. - Planificación del trabajo

La prospección geoquímica que se realizó en el área IV, Sierra de Chuacús, Guatemala, se planificó tomando como base las hojas topográficas a escala 1:50,000. La planificación estuvo a cargo del autor conjuntamente con el Jefe de la Sección de Geología y Geoquímica de la Dirección General de Minería e Hidrocarburos, tomando en consideración la experiencia obtenida durante el estudio geoquímico de las tres áreas anteriores.

En la planificación del trabajo se tomó en cuenta la distribución del drenaje, la información geológica que existe del área, la accesibilidad, condiciones climatológicas y personal especializado para la realización del muestreo de campo.

Uno de los problemas que surgió durante la planificación fue establecer el posible espaciamiento del muestreo que permitiera la localización de aquellos depósitos pequeños de interés económico, y que por la movilidad de los elementos podrían escaparse al reconocimiento geoquímico. Este problema se solucionó tomando más de una muestra en los drenajes con un recorrido considerable y tratando de mantener la densidad de muestreo igual o mayor a una muestra por km<sup>2</sup>.

Los resultados de estudios anteriores demuestran que el patrón de dispersión

para Zinc y Plomo es alrededor de 4 ó 5 km, mientras que para el Cobre, un poco menos movable, está entre 3 ó 4 km. Dentro de estos límites los valores en p. p. m. se mantendrán arriba del valor normal regional.

Para la distribución de las unidades litológicas se tomó como base el mapa geológico a escala 1:125,000 hecho por la Misión Geológico Alemana. Guatemala aún no tiene cartas geológicas a escala 1:50,000 de esta área.

La planificación se concluye localizando en los mapas topográficos, en este caso a escala 1:50,000, las muestras que el Geólogo tiene que sacar en el campo, poniendo especial atención a los sistemas de drenaje que hayan sido determinados con anterioridad.

## 2. - Técnica del muestreo de campo

Estando el trabajo perfectamente planificado se entrega al Geólogo de campo la hoja topográfica con la localización de las muestras que tiene que sacar. En la práctica es muy difícil realizar el programa trazado, ya que existen zonas de difícil acceso o bien inaccesibles en donde la o las muestras no pueden obtenerse. Este factor es muy importante para estimar el tiempo de duración del proyecto, así como el costo del mismo. Es aconsejable hacer sondeos previos de muestreo de campo para poder calcular el porcentaje de recuperación de muestras. Este porcentaje está en función directa de la topografía del terreno, su accesibilidad, clima, vegetación, e incluso, de la condición física del personal de campo.

Para sacar la muestra, en este caso de sedimentos fluviales, el Geólogo o Técnico que está realizando el muestreo debe de buscar el sedimento fluvial más fino, éste generalmente se encuentra al pie de una roca grande en el lecho de las quebradas o bien, en las curvas cóncavas de los grandes ríos. En contrar este tipo de limo que se persigue es bastante difícil y el Geólogo debe de buscarlo, pero si éste no se encuentra se toma del material arenoso más fino que pueda encontrarse. El Geólogo también debe evitar contaminar el sedimento al sacarlo, debiendo lavarse las manos, de preferencia con agua desmineralizada, antes y después de tomar la muestra.

Alrededor de 200 gr de sedimento son suficientes para cada muestra, y para conservarlas pueden utilizarse bolsas de papel kraft si el sedimento está húmedo, ya que en estas bolsas el sedimento se seca fácilmente; si el sedimento está seco, las bolsas plásticas funcionan muy bien. No se debe olvidar que las muestras deben quedar cerradas herméticamente para evitar cualquier tipo de contaminación, ya sea entre ellas mismas o bien del exterior. Tanto en la bolsa de la muestra, como en el mapa topográfico, debe de escribirse la identificación de la muestra con toda claridad. Igual de importante es identificar el sitio donde se tomó la muestra. Con esto no hay problema en el futuro de localizar el sitio donde fue tomada la muestra en caso de que ésta haya salido anómala. La identificación puede hacerse pintando, de preferencia con pintura de aceite, una roca grande o un árbol que se encuentre en o cerca del sitio donde se tomó el sedimento.

La libreta de campo que tiene que llevar el Geólogo, debe de llevarse constantemente al día, las anotaciones debe hacerlas en el mismo lugar donde tomó la muestra, describiendo detalladamente todas sus observaciones y de ser posible ilustrar con gráficas su interpretación geológica. Actualmente existen patrones de libretas para el muestreo geoquímico de campo; generalmente se tienen las siguientes columnas, aunque éstas pueden cambiarse de acuerdo al tipo de muestreo que se está realizando.

Durante el muestreo de campo del área IV, Sierra de Chuacús, se llenaron las siguientes columnas:

- identificación de la muestra.
- coordenadas U. T. M. con aproximación de 25 m.
- número oficial de la hoja topográfica 1:50,000.
- tipo de sedimento (arcilla, limo o arena fina).
- muestra húmeda o seca, color.
- la muestra contiene materia orgánica u oxidaciones.
- descripción fisiográfica del sitio.
- geología general (litología, estructuras, alteraciones y otras observaciones).
- litología del sitio donde se tomó la muestra.
- referir el sitio de la muestra a puntos fijos.
- pH del agua.

Al retornar del campo, que son aproximadamente jornadas de 20 días, el Geólogo entrega al Jefe de Departamento las cajas que contienen las muestras colectadas, el o los mapas topográficos y la libreta de campo. Las muestras son listadas y enviadas al laboratorio geoquímico para su análisis correspondiente.

#### d. Métodos de Laboratorio

El laboratorio geoquímico está entre los departamentos más importantes que integran un proyecto de exploración geoquímica, a éste corresponde hacer el análisis geoquímico de las muestras, ya sean éstas de sedimentos, de suelos, de rocas u otro tipo de muestras.

El laboratorio geoquímico con que se cuente debe tener ante todo rapidez de análisis. Esta es una condición básica para poder reconocer grandes áreas, principalmente cuando se trabaja en geoquímica regional en donde se analizan grandes cantidades de muestras cuyos resultados son fundamentales para continuar la exploración. A menudo se tiene que sacrificar exactitud por rapidez de análisis. La exactitud en los análisis geoquímicos es muy relativa y los errores que se puedan cometer principalmente del tipo humano, no varían apreciablemente los parámetros geoquímicos. Los errores sistemáticos tampoco varían los resultados, ya que este tipo de errores se mantiene constante y no afecta la determinación de anomalías geoquímicas.

Los análisis geoquímicos generalmente comprenden tres etapas principales:

La muestra debe ser parcial o completamente descompuesta de modo que se desprenda el o los elementos que se desea determinar.

Separación del elemento de los otros constituyentes que pudieran interferir en las posteriores mediciones.

Determinación de la cantidad en que se presenta el elemento.

En algunos métodos de análisis como en espectrografía de Rayos X, uno o dos de los pasos intermedios pueden ser omitidos. En otros métodos tales como colorimetría con extracción fría y espectrografía de emisión, varias de las etapas pueden ser ejecutadas simultáneamente.

La descomposición de la muestra varía según la forma en que los elementos estén asociados en la muestra. Comúnmente se utilizan los procedimientos siguientes: ataque con agua fría o caliente, ataque con ácidos débiles en frío y en caliente, ataque con ácidos fuertes en frío y en caliente, volatilización, oxidación y reducción.

Ataque con agua fría o caliente se utiliza en el caso de compuestos químicos fácilmente solubles como algunos cloruros, carbonatos, sulfatos, etc. Ataque con ácidos débiles se utiliza especialmente para análisis rápidos en el campo, libera los elementos cuando estos están ligados a la muestra por enlaces débiles por ejemplo: en suelos ricos en materia orgánica. Comúnmente se usa el HCl y el  $H_2SO_4$ . En el ataque con ácidos fuertes, los ácidos  $HNO_3$ ,  $H_2SO_4$ , y HCl solos o bien combinados (agua regia), concentrados o calientes, tienen una acción destructora sobre muchos compuestos minerales incluyendo algunos silicatos. Para la descomposición de los silicatos el más indicado es el HF.

Para la volatilización se puede utilizar una flama (espectrografía de flama), o bien se puede utilizar una descarga eléctrica (espectrografía de emisión).

La fusión se produce utilizando fundentes alcalinos como  $Na_2CO_3$ , ácidos como  $KHSO_4$  u oxidantes como  $Na_2O_2$ .

La oxidación se utiliza cuando el elemento a liberar se encuentra ligado a materia orgánica (suelos orgánicos), la cual se puede separar o destruir por medio de oxidación con agentes tales como  $HNO_3$ ,  $HClO_4$ ,  $H_2O_2$ .

La separación consiste en apartar el elemento a determinar de otros elementos liberados juntos y que pueden interferir en la determinación. Generalmente los elementos en la naturaleza se presentan casi en su totalidad formando asociaciones mineralógicas o grupos mineralógicos tales como Zn, Cu, Pb, Ag, y raras veces se encuentran elementos en su estado nativo. Se tienen tres procedimientos para separar los elementos:

- separación en fase de vapor
- separación en fase sólida
- separación en fase líquida

La separación en fase de vapor puede ser por destilación y consiste de una fase líquida, sublimación de una fase sólida, o la ionización de átomos de un espacio vacío a partir de un electrodo fuertemente cargado como en el espectrómetro de masas.

La separación de fase sólida se hace cuando el elemento a determinar se separa a partir de una solución acuosa como precipitado o por intercambio de iones.

La separación en fase líquida es la más importante, ya que la mayoría de los métodos colorimétricos muy empleados, se basan en ella. Este procedimiento consiste en agregar un extractor líquido en el cual el elemento a determinar se disuelve con mayor facilidad que en la solución obtenida por el proceso de separación; para facilitar esta transferencia del elemento se debe agitar fuertemente el sistema formado por las dos fases líquidas inmiscibles. Se logra una emulsificación del exterior, aumentando así la superficie a través de la cual se produce la transferencia del elemento.

En cuanto a la última etapa que comprenden los análisis geoquímicos, o sea la determinación de la cantidad en que se presenta el elemento, el conocimiento y dominio del análisis químico cualitativo y cuantitativo son básicos en este campo de la geoquímica, así como la actualización constante del personal en las nuevas técnicas y equipo que continuamente se están aplicando. Existen diferentes métodos de análisis químicos, algunos más rápidos que otros o bien, métodos específicos aplicados a determinados elementos.

En los laboratorios geoquímicos los métodos más usados son aquellos que tienen una mayor rapidez; por ejemplo, durante 12 meses el laboratorio geoquímico del Proyecto Minero de las Naciones Unidas procesó 9,300 muestras con un total de 51,800 determinaciones, utilizando principalmente el método de absorción atómica.

Los métodos de análisis geoquímicos comunmente usados se describen a continuación.

**Gravimetría:** este método se basa en la separación de los elementos causada por sus diferencias de densidades. No es muy aplicado en geoquímica por las cantidades muy pequeñas (trazas) en que se encuentran los elementos. Se aplica con frecuencia para análisis de Au, Ag y grupo del Pt.

**Colorimetría:** los métodos colorimétricos son muy efectivos; se basan en la extracción por medio de un solvente permitiendo la transferencia de material disuelto entre dos fases líquidas no miscibles formando un complejo coloreado cuya intensidad varía con la concentración del metal. Estos métodos son selectivos para cada elemento presentándose algunas veces problemas no previstos que dependen de los reactivos usados, variación del pH de las soluciones, tipo de sedimentos o suelos, etc., que fácilmente pueden encontrarse y enmendarse teniendo el debido cuidado en las determinaciones. Es recomendable que una misma persona realice las lecturas colorimétricas,

ya que de lo contrario el error humano, que no se puede evitar en tipo de lecturas, no permanece constante. Este método es el más común por su bajo costo de operación, así como el de su equipo. La desventaja es que solo se puede determinar un elemento o un pequeño grupo de ellos a la vez.

Espectrometría de flama: muchos elementos pueden ser vaporizados o ionizados al exponerlos en una flama, emitiendo radiaciones características en la parte visible o cerca del ultravioleta del espectro. La identificación puede hacerse por la longitud de onda de las líneas espectrales y estimadas por la intensidad de las mismas. Tienen la ventaja que dan determinaciones de alta precisión para algunos elementos, particularmente los suelos alcalinos.

Espectrografía de emisión: casi todos los elementos cuando son vaporizados o ionizados por el calor intenso de una descarga eléctrica, emiten radiaciones de longitud de onda característica en el rango ultravioleta, por lo que se identifica la cantidad presente según la intensidad de la línea. La medida de las líneas puede hacerse utilizando fotómetros electrónicos. Este método es sumamente ventajoso, ya que puede determinarse un gran número de elementos con una precisión que es suficiente en geoquímica. La desventaja es únicamente el alto costo del equipo y su mantenimiento.

Hasta aquí únicamente se han mencionado los métodos tradicionales de análisis químicos, habiendo descrito muy brevemente las ventajas y desventajas de cada uno de ellos. Actualmente se utiliza el método perfeccionado de "espectrofotometría" de absorción atómica", comúnmente llamado "absorción atómica", que ha dado magníficos resultados en los laboratorios geoquímicos. Los análisis de la presente exploración geoquímica y de las áreas anteriores, se realizaron utilizando este método que se describe después de la tabla a continuación:

Métodos de análisis geoquímicos recomendados para los elementos más comunes:

	Elementos
Colorimétricos	Sb, Cr, Cu, Fe, Pb, Mn, Mo, Sn, Ti, W, Zn
Espectrofotometría de Absorción Atómica	Ba, Co, Cu, Fe, Pb, Ag, Mn, Ni, Zn
Espectrometría de emisión	Sn
Espectrometría de flama	Ba, Sr, Li, Na, K
Gravimetría	Au, Ag, Pt.

Método de Absorción Atómica: el método de absorción atómica se basa en el hecho de que los átomos de un elemento pueden absorber radiaciones de

longitud de onda características y diferentes para cada elemento. Para que esto se pueda realizar es necesario que los átomos estén en condiciones de absorber las radiaciones, es indispensable que estén liberados de sus enlaces químicos y en su mínimo estado de energía, esta condición se puede lograr mediante vaporización de la muestra en una flama.

En la absorción atómica se necesita una fuente de radiación que emita las líneas espectrales del elemento a analizar, lo que se logra mediante lámparas cuyo cátodo se fabrica del mismo elemento. La radiación emitida por esta lámpara se hace pasar por una flama en la cual se ha vaporizado la muestra; esta radiación absorbe una determinada línea espectral (llamada línea de resonancia) cuya intensidad disminuye en forma proporcional a la concentración del elemento, mientras otras líneas no son afectadas. Las líneas no absorbentes se renuevan mediante un monocromador que selecciona una banda de longitud de onda en la zona de la línea espectral de resonancia. Con el uso de un sistema de fotodetección se determina únicamente la disminución de la intensidad de la línea de resonancia. La absorción atómica obedece a la ley de Beer; esto es, que la concentración del elemento es proporcional a la absorvencia.

Este método es bastante exacto y pueden realizarse numerosos análisis rápidamente, ya que sólo es necesario el ataque de la muestra y usar el líquido sobrenadante. Se comprobó que los análisis por absorción atómica dieron resultados más precisos que los métodos colorimétricos debido a la alta sensibilidad del espectrofotómetro. Las determinaciones geoquímicas del Area IV, Sierra de Chuacús, fueron hechas por el laboratorio geoquímico de la Dirección General de Minería e Hidrocarburos de Guatemala utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer 290.

Método colorimétrico de campo: cuando el Geólogo de campo está realizando su muestreo es recomendable que haga sus propias determinaciones en el campo, aunque éstas sean únicamente cualitativas, le servirán para darle una idea de la concentración de los elementos en las muestras que está tomando; así, el Geólogo puede cerrar su densidad de muestreo se observa un alto contenido de elementos en un área determinada; puede hacer también si es necesario un ligero reconocimiento geológico a detalle del área.

Este método es conocido como de "metales pesados" por medio del cual se logra extraer el Cu, Zn y Pb solubles en forma de sales o debidamente retenidos por fuerzas de intercambio. En general, el total de cationes extraídos es aproximadamente 1/10 del total extraído por métodos de fusión con pirrosulfato de potasio.

El método es similar a los usados en el laboratorio para los análisis de cationes, ya que la reacción es conjunta y no selectiva. Se basa en el complejo coloreado que forman dichos cationes a determinado pH con la solución de ditizona en benceno al 0.001%.

Para esta determinación se usa la siguiente solución buffer:

- en aproximadamente 400 ml de agua desmineralizada disolver 50 gr de citrato de amonio más 8 gr de clorhidrato de hidroxilamina.
- limpiar los cationes metálicos de la solución con ditizona en tetracloruro de carbono al 0.01% hasta que la fase orgánica quede completamente verde.
- extraer los restos de ditizona con tetracloruro de carbono hasta que la fase orgánica esté incolora.
- completar a 1,000 ml con agua desmineralizada.
- llevar el pH a 8.5 con amoníaco.

Procedimiento: El Geólogo en su trabajo de campo procede de la siguiente forma:

- en un tubo de ensaye perfectamente limpio (de preferencia lavarlo con agua desmineralizada), se coloca una pequeña porción del sedimento.
- agregar 5 ml de solución buffer y 1 ml de ditizona diluida al 0.001 % en benceno.
- se agita durante 30 seg y se observa la coloración obtenida. Una coloración roja indicará la presencia de metales pesados en una proporción alta.
- si hay una fuerte coloración roja, proceder a diluir con más ditizona, esto dará una idea aproximada de la concentración en que se encuentran los metales pesados en el sedimento analizado.

## VII. - PRESENTACION DE LOS RESULTADOS

Los resultados de la prospección geoquímica realizada en el área IV, Sierra de Chuacús, se presentan en mapas, distribuciones de frecuencia, curvas de frecuencia acumulada relativa, diagramas para obtener el coeficiente de correlación y tablas.

### a. Mapas

Los mapas de trabajo que se usaron para el dibujo, información geoquímica, interpretación de los resultados y localización de las primeras anomalías, son mapas planimétricos de 10 X 15' a una escala 1:50,000, emitidos por el Instituto Geográfico Nacional de Guatemala. Los mapas contienen la distribución del drenaje, los principales rasgos culturales y las principales vías de acceso. Estos mapas se pueden consultar en el Apéndice, los que han sido reducidos a una escala convencional con propósitos de presentación. Los originales se encuentran en el archivo técnico de la Dirección General de Minería e Hidrocarburos de Guatemala.

### b. Distribuciones de frecuencia

Para los resultados geoquímicos de Cu, Zn, y Pb se hicieron distribuciones de frecuencia tanto absolutas como relativas; se agruparon para poblaciones complejas, sistemas fluviales de drenaje y grupos litológicos (las gráficas aparecen en el apéndice).

#### 1. - Poblaciones complejas

La distribución de frecuencia acumulada relativa de los tres elementos analizados para las poblaciones complejas, hacen el total del área IV. Esta información provee patrones geoquímicos generales y cambios regionales en la distribución de elementos traza que nos permiten hacer comparaciones con el resto de las áreas estudiadas.

#### 2. - Sistemas fluviales de drenaje

El contenido de elementos traza en sedimentos fluviales debe ser considerado en relación a la importancia de la cuenca y de la proporción de carga de sedimentos en el río o quebrada donde se tomaron las muestras. Los resultados analíticos, por lo tanto, fueron agrupados para cada sistema de drenaje que cubre el total del área IV. Los sistemas de drenaje que fue posible establecer corresponden a los ríos Motagua, Salamá y Chixoy.

#### 3. - Grupos litológicos

La composición mineralógica y química de las rocas de las cuales se derivan los sedimentos fluviales, el tipo de litología de cada una de las formaciones y las relaciones de edad, son los factores principales que intervienen en la distribución primaria de los elementos. Tipos de roca diferentes tienen características geoquímicas diferentes; un factor que afecta directamente el

valor normal y el valor umbral en la distribución de los elementos. El rango promedio de Cu, Zn y Pb en los tipos principales de rocas se han resumido en la tabla a continuación:

Los promedios en p. p. m. se refieren al contenido metálico en la roca (dispersión secundaria); por lo tanto, no pueden compararse directamente con los parámetros de los sedimentos fluviales que se han derivado de ellos (dispersión secundaria), pero estas cifras dan una idea de las diferencias que pueden esperarse en litologías diferentes y aún en una misma litología.

LITOLOGIA Y PROMEDIO PARA Cu, Zn, Pb y Mo  
(de Hawkes and Webb, 1962)

TIPO DE ROCA	Tenor promedio en p. p. m.			
	Cu	Zn	Pb	Mo
Máficos	80-140	50-130	12	0.4 - 1.4
Félsicos	30	60	48	1.9
Calizas	5- 20	4- 20	5- 10	0.1 - 0.5
Areniscas	10- 40	5- 20	10- 40	0.1 - 1.0
Lutitas	30-150	50-300	20	1.0
Lutitas negras	20-300	100-1000	20-400	10.0 - 300
Promedio	70	80	16	1.7
Movilidad	Alto: pH 5.5 Bajo: pH 6.0	Alto	Bajo	Variable

La clase de movilidad se ha generalizado y no toma en consideración varios factores (la presencia de Fe y Mn, materia orgánica, clima, etc.), los cuales influyen en la movilidad de los elementos traza. Una regla general si todos los factores se mantienen constantes es que la movilidad de los metales al aumentar la acidez (contenido de sílice) de las rocas aumenta.

En el área IV, Sierra de Chuacús, los resultados geoquímicos fueron analizados para tres grupos litológicos, tomando como base para esta agrupación el mapa geológico a escala 1:125,000 hecho por la Misión Geológica Alemana. Estos grupos son los siguientes:

Rocas metamórficas, que están representadas por un complejo metamórfico que incluye principalmente la zona de clorita de Salamá, zona de biotita del Chol, serpentinita y esquistos granatíferos. No se desecha la posibilidad de que los resultados estén influenciados por la presencia de rocas volcánicas en el área.

Rocas sedimentarias, que básicamente son calizas y dolomías de la Formación Cobán y Campur del Cretácico Superior. En este grupo litológico

únicamente se obtuvieron patrones geoquímicos para Cu y Zn; la distribución de frecuencia para el Pb no se ajusta a la distribución log-normal.

Rocas volcánicas, la mayoría de las cuales son de edad terciaria-cuaternaria que se localizan en la hoja Salamá y norte de la hoja Granados. Los patrones geoquímicos para este grupo litológico se obtuvieron de la unidad de drenaje formado por el Río Salamá, ya que este sistema se desarrolla básicamente sobre rocas volcánicas.

Debido a que la disponibilidad de información geológica es limitada, no fue posible hacer una diferenciación litológica más detallada, sin embargo, la información obtenida es adecuada para establecer diferencias geoquímicas debidas al cambio en el tipo de litología.

#### c. Coeficiente de correlación

Con el fin de determinar el grado de dependencia que existe entre dos elementos distribuidos normalmente, se hicieron seis diagramas de correlación para los diferentes sistemas de drenaje establecidos (ver gráficas en el apéndice).

#### d. Tablas

Todos los parámetros geoquímicos esenciales y característicos se presentan en forma tabular en el siguiente capítulo.

## VIII. - INTERPRETACION Y EVALUACION DE LOS RESULTADOS

En el área IV, Sierra de Chuacús, se tomó un total de 1087 muestras de sedimentos en aproximadamente 2,500 km<sup>2</sup> con una densidad de muestras de 0.43 muestras por un km<sup>2</sup>.

Las anomalías resultantes en el área prospectada se consideran como las zonas más importantes o favorables para el trabajo inmediato de detalle. Algunas muestras anómalas aisladas no se han tomado en consideración para la determinación de las primeras anomalías; sin embargo se tomó nota de su localización para futuras campañas de campo.

La primera evaluación que se ha hecho de las anomalías, cuya lista aparece en el inciso "d" de este capítulo, concluye la primera fase y el objetivo del presente trabajo. Su significado en términos de yacimientos minerales económicos es imposible de evaluar en esta primera etapa de exploración. El orden de prioridad aún no puede establecerse, ya que, además de los parámetros geoquímicos es necesario considerar el ambiente geológico local, un factor determinante en la selección y prioridad de las anomalías, así como el contenido metálico absoluto y la distribución superficial de los valores altos en el área anómala. Por último se tiene también el contraste geoquímico, o sea el contraste en el promedio de los valores altos contra el valor normal local.

En cuanto a la extensión superficial de las zonas anómalas que han sido delimitadas, ésta puede ser ampliada o reducida al estudiar en detalle la anomalía.

En áreas de litología compleja, como en los alrededores de los macizos ígneos o en las zonas de contacto entre diferentes tipos de rocas, es difícil decidir en que grupo litológico debe colocarse una muestra de sedimento fluvial; no se pueden establecer reglas y la decisión es arbitraria, esto puede explicar un desajuste de algunas poblaciones en la distribución logarítmica normal.

### a. Resultados generales

Los parámetros geoquímicos obtenidos a través del presente trabajo se encuentran tabulados en las tablas No. 1, 2 y 3, las gráficas correspondientes a las distribuciones de frecuencia acumuladas relativas para Cobre, Zinc y Plomo se encuentran en el apéndice.

La mayoría de las distribuciones, como se puede apreciar en las gráficas, se ajustan a la distribución logarítmica normal; algunas muestran un ajuste sorprendente y otras están pobremente distribuidas, o bien muestran una mezcla de dos poblaciones. La distribución para el Zn muestra en general un exceso de valores bajos; esto quedó demostrado en las gráficas, ya que las rectas se quiebran negativamente (asimetría negativa). Esta condición implica la superposición de un grupo relativamente grande de muestras cuya mineralización está muy por debajo del valor normal regional. El mayor

porcentaje de valores bajos se observa en la distribución del Zn, en donde, el 30% de valores no sobrepasan las 70 p.p.m. Geoquímicamente esto indica que es el metal básico menos importante en la zona prospectada; aún así, los diagramas de correlación indican un grado de dependencia significativo entre el contenido de elementos-traza de Zn y Pb.

En la tabla No. 1 se puede observar que los valores normales para Cu, Zn y Pb para poblaciones complejas, son respectivamente 16, 79 y 16 p.p.m. Los valores que excedan de 40, 156 y 63 p.p.m. para Cu, Zn y Pb respectivamente, son mayores que el valor umbral y pueden considerarse como valores anormales o índices significativos.

Los resultados obtenidos son poco halagadores; la mayoría de los valores anómalos no sobrepasa en mucho el valor umbral, con un contraste geoquímico bajo. El ambiente litológico principalmente metamórfico y la ausencia de cuerpos intrusivos considerables, no favorecen el emplazamiento de minerales de Cu, Zn, Pb, y Mo. Este último no se consideró en el presente trabajo. Se hizo el análisis químico para todas las muestras, pero los valores obtenidos están fuera del alcance sensible de los métodos analíticos; sin embargo, en la exploración geoquímica del área I se registraron anomalías significativas de Molibdeno (Mo), en donde el 2% de las muestras contienen entre 3 y 22 p.p.m.; en el área IV los valores más altos no sobrepasan las 3 p.p.m.

#### b. Patrones geoquímicos por unidades de drenaje

El área IV para su estudio geoquímico se dividió en tres sistemas, o unidades principales de drenaje (véase algunos de los mapas geoquímicos en el apéndice):

I Río Motagua

II Río Chixoy o Negro

III Río Salamá

El Río Motagua cruza la sección norte del país, sobre la falla del mismo nombre, y drena la sección SW del área IV. Sus tributarios llevan sedimentos de diferentes tipos de litología, incluyendo rocas ultrabásicas de la zona de falla que han influido en el valor umbral para esta unidad de drenaje, principalmente para el Cu con 53 p.p.m. Posiblemente estas rocas ultrabásicas son ricas en cobre sinéctico.

El Río Chixoy o Negro drena la zona NW del área; gran parte de su recorrido lo hace sobre rocas sedimentarias (calizas y dolomías de la Formación Cobán y Campur), pero sus tributarios acarrean material metamórfico y ultrabásico (serpentina); este último se encuentra en parte serpentizado. Al comparar los parámetros geoquímicos (b, r) de esta unidad de drenaje, con los obtenidos para la unidad de drenaje del Río Salamá para los elementos Cu y Zn, se observa que los correspondientes al Río Chixoy son considerablemente altos debido a su naturaleza litológica.

El Río Salamá drena la mayor parte de la hoja Salamá 1:50,000 y la cruza en sentido SE-NW para unirse hacia el norte con el Río Chixoy o Negro. Su drenaje se desarrolla principalmente sobre una cubierta de material volcánico terciario-cuaternario, pómez y material tobáceo en gran parte redepositado. El espesor de este material piroclástico no se ha determinado, pero es indudable que por estar expuesto al intemperismo y erosión su espesor no es constante; sin embargo, ha sido suficiente para impedir en parte la migración espontánea de los elementos que se encuentran en el complejo metamórfico que subyace a este material volcánico.

La cuenca del Río Cahabón que drena la zona de Tactic, al NE del área, no fue considerada en la determinación de las unidades de drenaje. Su recorrido dentro del área es muy corto y no pudo obtenerse suficiente población; además, hay que tomar en cuenta que su drenaje inicial se desarrolla en zonas donde se han explotado yacimientos de Pb y Zn y no hay que desechar la posibilidad de que sus sedimentos estén contaminados. La anomalía geoquímica localizada al E del pueblo de Tactic está dentro de este sistema de drenaje, y para determinarla fue necesario utilizar los parámetros geoquímicos de las unidades de drenaje ya establecidos en el área.

#### Distribución del Cobre (Cu)

Las líneas de frecuencia acumulada para el cobre se ajustan a la ley logarítmica normal y no manifiestan ningún quiebre en sentido positivo o negativo. El hecho de que la línea no se quiebre es muy significativo, e indica que la dispersión del Cu en la región es normal. Si se compara la distribución del Río Motagua con la del Río Chixoy se puede apreciar que tienen la misma actitud o que casi son coincidentes, y que difieren muy poco de la distribución del Río Salamá. El coeficiente de correlación (P) obtenido para Cu/Pb en las tres unidades de drenaje, además de ser positivo, tiene un valor muy bajo y la relación que pueda existir entre ellos puede atribuirse a una mezcla secundaria en su distribución; pero de ninguna manera puede atribuirse a una dependencia genética; es más, los puntos en el diagrama de correlación están esparcidos en los 4 cuadrantes y su elipse no está bien definida.

En conclusión, desde el punto de vista geoquímico y de los resultados obtenidos, la zona explorada no es favorable para el emplazamiento de minerales de Cu; la mineralización puede considerarse normal en la región, y las anomalías de Cu obtenidas a través del presente estudio no sobre pasan en mucho el valor normal regional y de ninguna manera pueden considerarse como anomalías de primer orden.

#### Distribución del Zinc (Zn)

Se puede apreciar en las líneas de frecuencia acumulada que éstas se quiebran negativamente. En la distribución del Zn para el Río Motagua y Chixoy, lo hacen a un nivel del 70%, y ambos coinciden en el mismo punto; la distribución para el Río Motagua se quiebra a un nivel más significativo del 17%.

Como ya se ha explicado anteriormente, las líneas que se quiebran

negativamente indican un exceso de valores bajos en una distribución logarítmica normal. El exceso de valores bajos, en este caso, puede ser debido a la inclusión dentro de la población de una unidad litológica con un valor normal bajo en contenido de Zn. Puede afectar también el tipo de muestreo, es to es, que un grupo importante de muestras no han sido bien seleccionadas; por ejemplo, que no ha sido posible obtener el sedimento adecuado. Por medio de los diagramas de correlación se puede asumir que sí existe una dependencia positiva entre el Zn y el Pb en los drenajes unitarios del Río Motagua y Chixoy. El valor absoluto del coeficiente de correlación ( $r$ ), + 0.46 + 0.45 respectivamente, permite asumir una relación de dependencia; pero también regionalmente se observa que a valores altos en Zn corresponden valores altos en Pb.

#### Distribución del Plomo (Pb)

La distribución del Pb en el área del Río Motagua y Chixoy se ajusta pobremente a la ley logarítmica normal; las líneas rectas no están bien definidas y no es posible determinar un quiebre positivo en la distribución. En cuanto a la distribución para la unidad de drenaje del Río Salamá, se observa que se ajusta mejor a la ley logarítmica normal que las dos unidades de drenaje anteriores; aún así, las tres distribuciones muestran un comportamiento similar.

En conclusión, las anomalías obtenidas para Zn y Pb dentro del área explorada son poco alentadores y los resultados obtenidos inducen a pensar que se trata de una mineralización normal regional.

#### c. Patrón geoquímico por grupos litológicos

Como se explicó en el capítulo anterior, se obtuvieron patrones geoquímicos para rocas sedimentarias, metamórficas y volcánicas.

Para las rocas sedimentarias se establecieron patrones geoquímicos únicamente para el Cu y Zn, trabajando con el mínimo de población. Para el Pb no fue posible obtener su distribución.

La distribución del Cu se ajusta pobremente a la ley log-normal y su comportamiento es similar a su distribución por unidades de drenaje. Su coeficiente de desviación ( $s'$ ) de 1.6, cae entre los valores para los sistemas fluviales que varían entre 1.4 y 1.8. La población considerada fue de 118 muestras, la cual es muy poca para obtener un patrón geoquímico confiable; aún así, se puede apreciar que los valores de Cu se agrupan en toda la región alrededor de un valor normal de 15 p. p. m.

La distribución del Zn para rocas sedimentarias indica el valor crítico umbral ( $t = 188$  p. p. m.) más alto que se observa en la región; sin embargo, la línea de distribución se quiebra negativamente a un nivel del 65% indicando que la población no es homogénea. Para poder confirmar este valor es necesario considerar un número mayor de muestras, ya que en el presente trabajo se tomaron únicamente 101 muestras. Es posible también, que en la

zona exista una formación arcillosa importante que está influyendo directamente en los patrones geoquímicos determinados para el Zn.

Los patrones geoquímicos obtenidos para las rocas metamórficas, que son básicamente esquistos de Clorita, Biotita y variedades de granate; son aproximadamente iguales a los obtenidos para las unidades de drenaje del Río Motagua y Chixoy. La diferencia que existe es debida a la naturaleza litológica de las rocas metamórficas, que normalmente tienen un contenido más bajo de elementos-traza como Cu y Zn. Esto viene a confirmar que el contenido de Cu y Zn de los esquistos es normal, y que son las rocas ultrabásicas (serpentina) las que influyen en la determinación de los parámetros geoquímicos para unidades de drenaje. La población considerada fue de 258 muestras, pero existen muchos valores censurables y la información geológica es escasa.

Los patrones geoquímicos para las rocas volcánicas se obtuvieron a partir del análisis que se hizo para la unidad de drenaje del Río Salamá, como se puede apreciar en la tabla No. 1. Se consideraron los mismos en base a que el drenaje del Río Salamá se desarrolla casi en su totalidad sobre las rocas volcánicas ya descritas anteriormente.

#### d. Primera aproximación de anomalías

Se obtuvieron un total de 35 anomalías geoquímicas que son el resultado de la interpretación y evaluación de los parámetros geoquímicos. Estas anomalías están localizadas en los mapas geoquímicos 1:50,000 y se han tabulado en la tabla No. 4. Como se puede observar, se determinaron:

10 anomalías para Cu

15 anomalías para Zn

10 anomalías para Pb

Las anomalías están repartidas dentro de los tres drenajes estudiados, Motagua, Chixoy y Salamá. Aún no se puede hablar de "anomalía geoquímica" en un sentido amplio, ya que éstas fueron determinadas con pocas muestras anómalas que no permiten delimitar un área anómala de mineralización, ni tampoco fijarles el orden de prioridad.

El ambiente geológico en que se localizan es el siguiente:

Metamórfico	7 anomalías
Metamórfico-volcánico	18 "
Sedimentario	3 "
Sedimentario-volcánico	2 "

Intrusivo	2 anomalías
Intrusivo-metamórfico	3 "

Como se puede observar, el 51% de las anomalías corresponden a un ambiente geológico metamórfico-volcánico y únicamente 5 anomalías están relacionadas con cuerpos intrusivos dentro de rocas metamórficas.

TABLA N° 1

PARAMETROS GEOQUIMICOS

b = BACKGROUND

f = THRESHOLD

	Cu.		Zn.		Pb.	
	b	f	b	f	b	f
<b>UNIDADES DE DRENAJE</b>						
I RIO MOTAGUA	18.8	52.5	90.8	180.	17.8	54.6
II RIO SALAMA	15.6	29.	22.	80.4	21.	63.5
III RIO CHIXOY O NEGRO	14.2	39.6	81.	133.5	19.6	49.3
<b>UNIDADES LITOLÓGICAS</b>						
ROCAS SEDIMENTARIAS 33	13.5	32.5	86.	188.	---	---
ROCAS METAMORFICAS 36	14.8	35.5	81.3	127.	14.3	47.2
ROCAS VOLCANICAS	15.6	29.	22.	80.4	21.	63.5
TOTAL	15.6	40.	79.	156.	16.	63.

PARAMETROS GEOQUIMICOS

- E = ELEMENTO.  
 S = DESVIACION GEOMETRICA.  
 S' = COEFICIENTE DE DESVIACION.  
 S'' = DESVIACION RELATIVA.

	E	S	S'	S''
RIO MOTAGUA	Cu.	0.23	1.0	1.2
RIO SALAMA	"	0.14	1.4	0.9
RIO CHIXOY	"	0.23	1.7	1.6
RIO MOTAGUA	Zn.	0.15	1.4	0.2
RIO SALAMA	"	0.34	2.2	1.5
RIO CHIXOY	"	0.11	1.3	0.1
RIO MOTAGUA	Pb.	0.25	1.8	1.4
RIO SALAMA	"	0.25	1.8	1.2
RIO CHIXOY	"	0.20	1.6	1.0
ROCAS SEDIMENTARIAS	Cu.	0.20	1.6	1.5
" "	Zn.	0.20	1.6	0.3
ROCAS METAMORFICAS	Cu.	0.18	1.5	1.2
" "	Zn.	0.10	1.3	0.1
" "	Pb.	0.26	1.6	1.8
ROCAS VOLCANICAS	Cu.	0.14	1.4	0.9
" "	Zn.	0.34	2.2	1.5
" "	Pb.	0.25	1.8	1.2
POBLACIONES COMPLEJAS	Cu.	0.21	1.6	1.3
" "	Zn.	0.15	1.4	0.2
" "	Pb.	0.32	2.1	2.0

TABLA N° 3

PARAMETROS GEOQUIMICOS

$\rho$  = COFICIENTE DE CORRELACION

		UNIDADES DE DRENAJE		
		MOTAGUA	SALAMA	CHIXOY
CORRELACION				
Cu/ Pb.	$\rho =$	† 0.19	† 0.36	† 0.41
Pb/ Zn.	$\rho =$	† 0.46	† 0.29	† 0.45

PRIMERA APROXIMACION DE  
ANOMALIAS

Tabla No. 4

Nº	NOMBRE Y NUMERO DE HOJA 1:50,000	U.T.M. APROX.		DRENAJE	LITOLOGIA	E*
		X	Y			
1	2161-III, SALAMA	73.8	75.5	SALAMA	Metamórfico-Volcánico	Cu.
2	" "	75.5	72.5	"	" "	"
3	" "	72.7	68.4	CHIXOY	" "	"
4	" "	72.8	66.6	"	" "	"
5	" "	79.2	68.3	SALAMA	" "	"
6	" "	67.6	76.4	"	" "	"
7	" "	80.2	67.2	"	" "	Zn.
8	" "	79.5	70.2	"	" "	"
9	" "	76.0	73.4	"	" "	"
10	" "	73.9	75.6	"	" "	Pb.
11	" "	79.3	69.3	"	" "	"
12	" "	94.7	64.2	"	" "	"
13	2161-04, TACYIC	72.2	96.2	CHIXOY	Sedimentario.	Zn.
14	" "	73.7	69.4	"	Serpentina.	"
15	" "	68.1	96.0	"	" "	"
16	" "	88.7	95.0	PARAMETROS EXTRAPOLADOS	Sedimentario.	Pb.
17	2060-II, CUBULCO	43.3	61.7	MOTAGUA	Metamórfico-Volcánico	Cu.
18	" "	62.2	77.4	CHIXOY	Diorita-Gabro-Metamórfico	"
19	" "	47.0	62.8	MOTAGUA	Metamórfico-Volcánico	Zn.
20	" "	58.0	66.3	CHIXOY	Metamórfico	"
21	" "	66.7	67.9	"	" "	"
22	" "	51.0	77.4	"	" "	Pb.
23	" "	52.1	76.0	"	" "	"
24	" "	62.1	77.4	"	Diorita-Gabro-Metamórfico	"
25	" "	63.9	76.4	"	" "	"
26	2061-I, LOS PAJALES	47.6	78.1	"	Metamórfico	Zn.
27	" "	56.7	78.8	"	" "	"
28	" "	54.5	91.1	PARAMETROS EXTRAPOLADOS	Sedimentario	"
29	2060-I, GRAMADOS	64.3	42.3	MOTAGUA	Sedimentario-Volcánico	Cu.
30	" "	67.1	42.0	"	" "	"
31	" "	47.2	42.8	"	Metamórfico-Volcánico	Zn.
32	" "	56.9	42.3	"	" "	"
33	" "	57.5	41.5	"	" "	"
34	" "	47.4	42.5	"	" "	Pb.
35	" "	67.0	50.7	"	Metamórfico	"

\* ELEMENTO

TESIS: EDGAR TOBIAS

## IX. - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Todo trabajo de exploración geológica en forma sistemática es sumamente interesante independientemente de que los resultados sean positivos o negativos.

Guatemala con el presente trabajo concluye su exploración geoquímica en áreas seleccionadas de su territorio, contando actualmente con una basta información geoquímica que está a la disposición de todas aquellas personas interesadas en la investigación sobre este campo, principalmente geoquímica de sedimentos y suelos.

Lamentablemente los resultados obtenidos a través de la exploración geoquímica que se realizó en el área IV, Sierra de Chuacús, no son muy alentadores, pero esto no quiere decir que debe desecharse el área explorada puesto que aún se encuentra en la primera fase de su exploración; Serán los estudios geológicos a detalle, durante la última fase, los que determinarán la importancia del área en cuanto a su contenido de yacimientos minerales de rendimiento económico.

Los parámetros geoquímicos regionales son similares a los obtenidos para el área I, II y el área estudiada por la Misión Geológica Alemana. Esto viene a confirmar que la interpretación y evaluación que se hizo de los resultados está correcta.

Existen cuatro factores importantes que influyeron y son determinantes en los resultados obtenidos:

- a. El ambiente geológico definitivamente no es favorable para el emplazamiento de minerales de Cu, Zn y Pb. El 51% de las anomalías determinadas están localizadas en una litología metamórfica-volcánica sin ninguna relación con cuerpos intrusivos de naturaleza ácida, con un contraste geoquímico poco representativo, y que bien pueden atribuirse a cambios litológicos dentro de un contenido normal de elementos traza.
- b. La falta de información geológica durante el proceso de planificación del trabajo y la falta de personal técnico capacitado para realizar reconocimientos geológicos durante el desarrollo del muestreo de campo.
- c. La densidad de muestreo que se registró de 0.43 muestras por  $\text{km}^2$  si bien está dentro de los límites aceptables, no fue suficiente para la localización de depósitos minerales pequeños, en el caso de que estos existan. Si se compara esta densidad de muestreo con la obtenida para las áreas I, II y el área estudiada por la Misión Geológica Alemana de 0.90, 0.68 y 0.76 muestras por  $\text{km}^2$  respectivamente, se observa que la densidad del área IV fue deficiente.

- d. Como una consecuencia del factor "c" las poblaciones con que se trabajaron fueron mínimas.

En cuanto a las recomendaciones que pueden hacerse están:

- a. Como se conservan las muestras recolectadas en el campo, volver a hacer el análisis geoquímico de las muestras anómalas con el fin de confirmar el valor original y desechar errores analíticos.
- b. Si se confirma el valor o valores anómalos puede planificarse un nuevo muestreo de campo a semidetalle y reconocer geológicamente el área con el fin de determinar el ambiente geológico local.
- c. Si los resultados continúan siendo positivos se puede con toda confianza programar los trabajos a detalle de la anomalía geoquímica dándole el orden de prioridad que le corresponda.
- d. Debido a la abundancia de rocas ultrabásicas y metamórficas en el área, ver la posibilidad que existe de explorar minerales del grupo del Platino (Pt), Cromo (Cr), Magnesio (Mg), Aluminio (Al) y minerales radioactivos.

## X. - BIBLIOGRAFIA - APENDICE

## BIBLIOGRAFIA

- Geochemistry in mineral exploration (1962)  
Hawkes, H. E. and Webb, J. S.
- Researches in geochemistry  
Philip H. Abelson
- Principios de Geoquímica  
Brian Mason
- U. N. Mineral Survey, Guatemala.  
Regional Reconnaissance  
Geochemical Stream Sediment Survey
- Informe de geología económica  
Misión Geológica Alemana (marzo, 1970)
- Aplicación de la geoquímica en la prospección de yacimientos  
de fosforita en Tongoy y de Mercurio en Punitaqui, Chile.  
Ing. Marco Soto Iurriaga (tesis)
- Aplicación de análisis de trazas de metales para la exploración  
geoquímica.  
Lic. Garay de Aguirre, Rosalía (tesis)
- Estructura geológica, Histórica, Tectónica y Morfológica de  
América Central  
Dr. Gabriel Dengo
- Mensaje económico informativo de los recursos naturales no  
renovables de Guatemala, X reunión de la Asamblea de  
Gobernadores del Banco Interamericano de Desarrollo  
(BID), Guatemala, Abril de 1969
- Libreto guía de las excursiones  
II reunión de Geólogos de América Central  
Guatemala, Noviembre de 1966
- Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana  
Vol. 32, No. 2, 1969 (1971)
- Geología Física  
Leet & Judson
- Exploración Geoquímica, Sierra de las Minas  
Guatemala, C. A.  
Ing. César E. Recinos P.

Yacimientos Minerales de Rendimiento Económico  
Alan M. Bateman

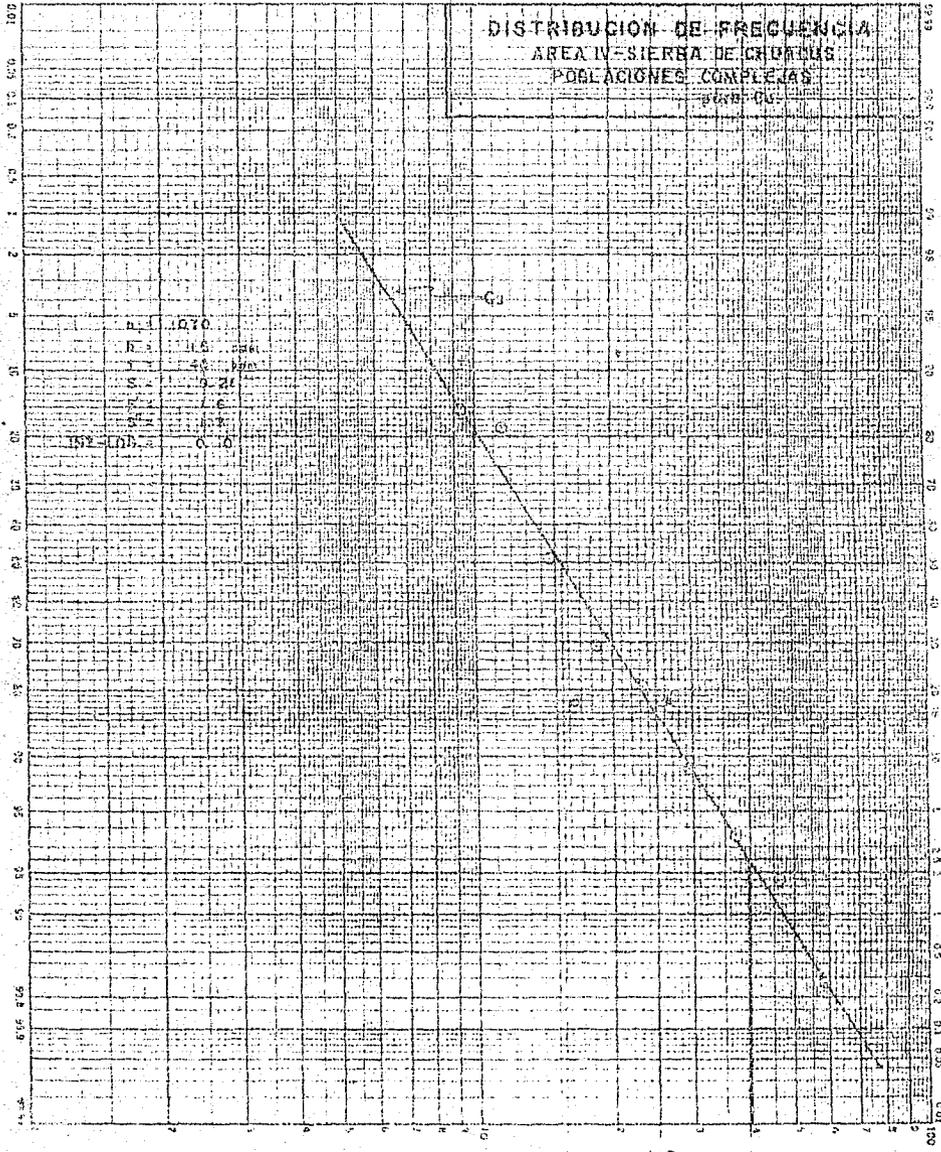
Ore Reserve Estimation and Grade Control  
The Canadian Institute of Mining and Metallurgy  
Special Volume 9 (1968).



GUATEMALA  
C.A.

%

DISTRIBUCION DE FRECUENCIA  
AREA IV-SIERRA DE CHORTIS  
POBLACIONES COMPLEJAS  
1951-52



INSTITUTO  
 DE ESTADÍSTICA  
 Y CENSOS  
 GUATEMALA, C.A.

**PROSPECCION GEOQUIMICA**  
**DISTRIBUCION DE FRECUENCIA**

AREA: IV

FECHA: JUNIO 1974

OBSERVACIONES:

POBLACIONES COMPLEJAS

ELEMENTO: Zn

INTERVALO LOGARITMICO: 0,10

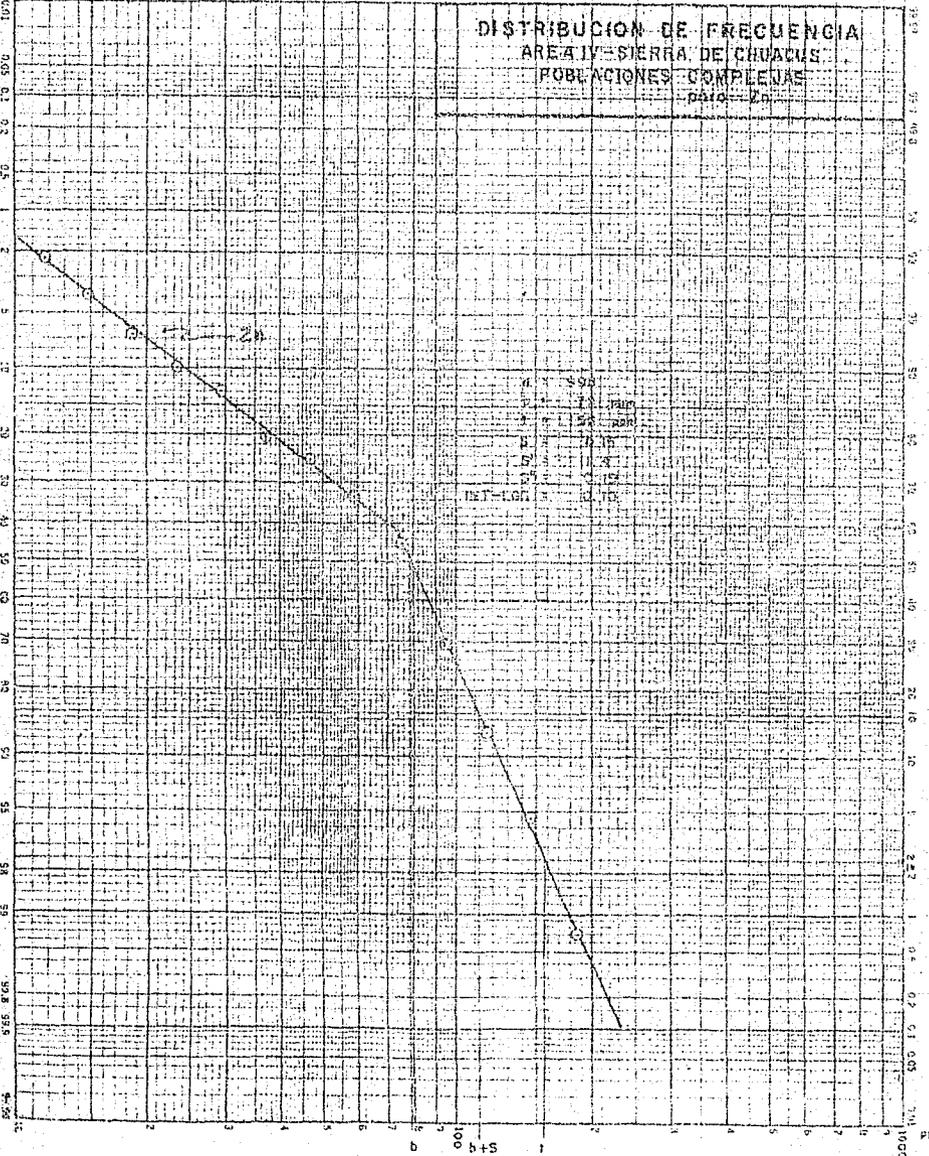
POBLACION N: 909

INTERVALO DE CLASE ppm	FRECUENCIA n	FRECUENCIA ACUMULADA Σn	FRECUENCIA ACUMULADA RELATIVA Σ f %
7.4			
	1	998	100
9.3			
	20	997	99.9
11.7			
	15	977	97.9
14.8			
	29	952	96.4
18.6			
	33	933	93.5
23.5			
	28	900	90.2
29.5			
	76	872	87.3
37.2			
	48	796	79.7
46.8			
	70	748	74.9
58.9			
	123	669	67.0
74.1			
	250	546	54.7
93.4			
	164	296	29.7
117			
	77	132	13.2
148			
	43	55	5.5
186			
	7	7	0.7
234			

GUATEMALA  
C.A.

%

DISTRIBUCION DE FRECUENCIA  
AREA IV SIERRA DE CHUACUS  
POBLACIONES COMPLEJAS  
para 1961



INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA  
 GUATEMALA







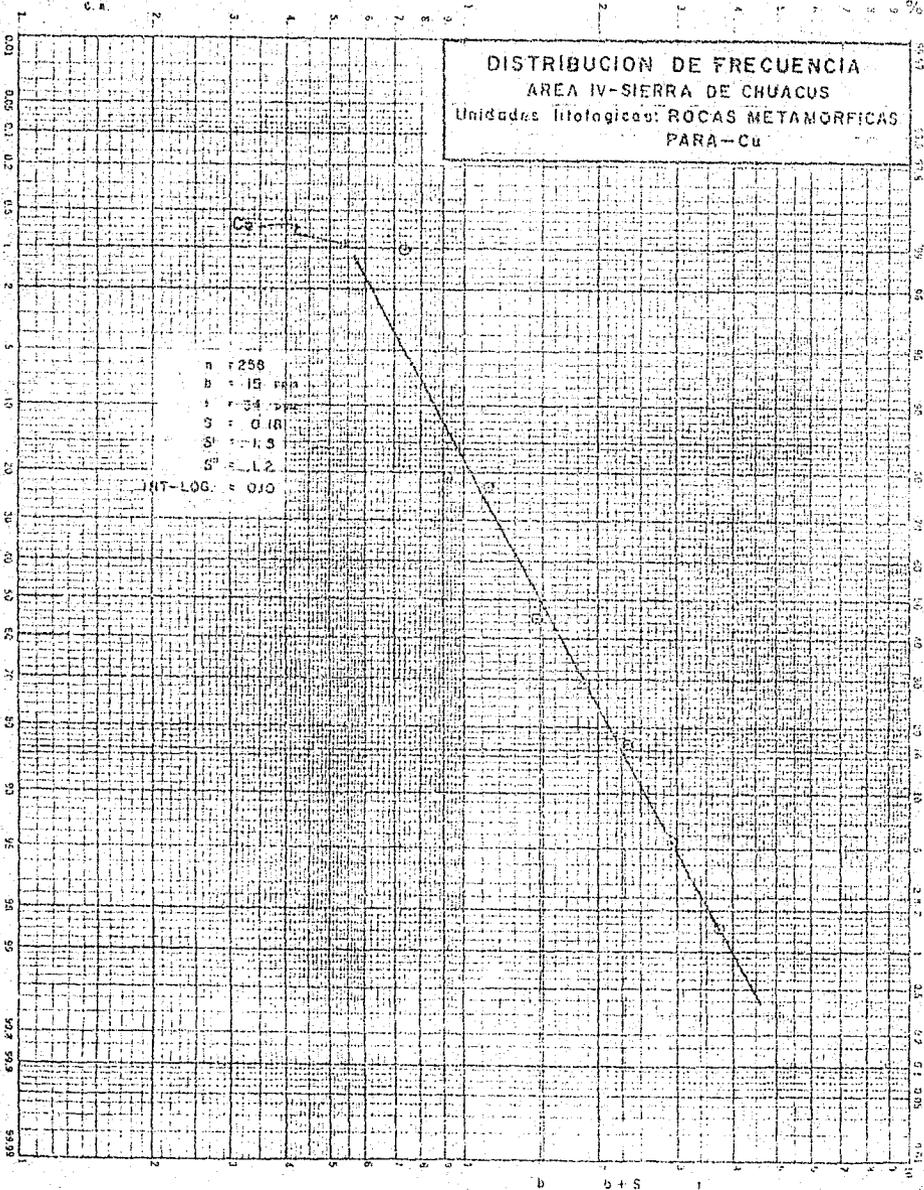
GUATEMALA  
C.R.

DISTRIBUCION DE FRECUENCIA  
AREA IV-SIERRA DE CHUACUS  
Unidades litológicas: ROCAS METAMORFICAS  
PARA-Cu

n = 258  
b = 19  
s = 34  
g = 0.18  
c = 1.3  
d = 1.2

INT-LOG = 0.00

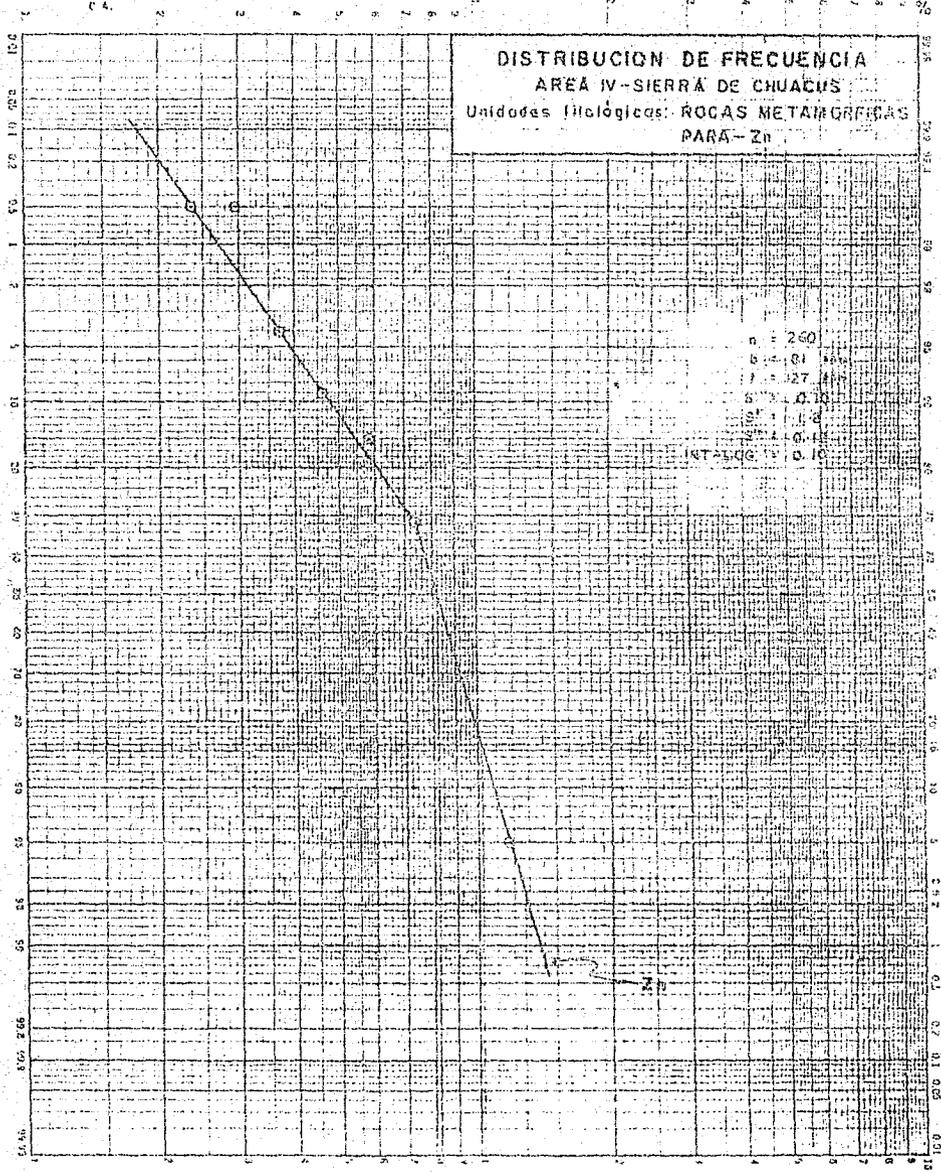
ESTADÍSTICA  
DE  
DISTRIBUCION DE  
FRECUENCIA





SUATEMALA  
C.A.

DISTRIBUCION DE FRECUENCIA  
 AREA IV-SIERRA DE CHUACUS  
 Unidades litológicas: ROCAS METAMORFICAS  
 PARA-Zn



PROBABILITY  
 LOG. PROBABILITY  
 PERCENTAGE  
 EQUIVALENT

48 BONS

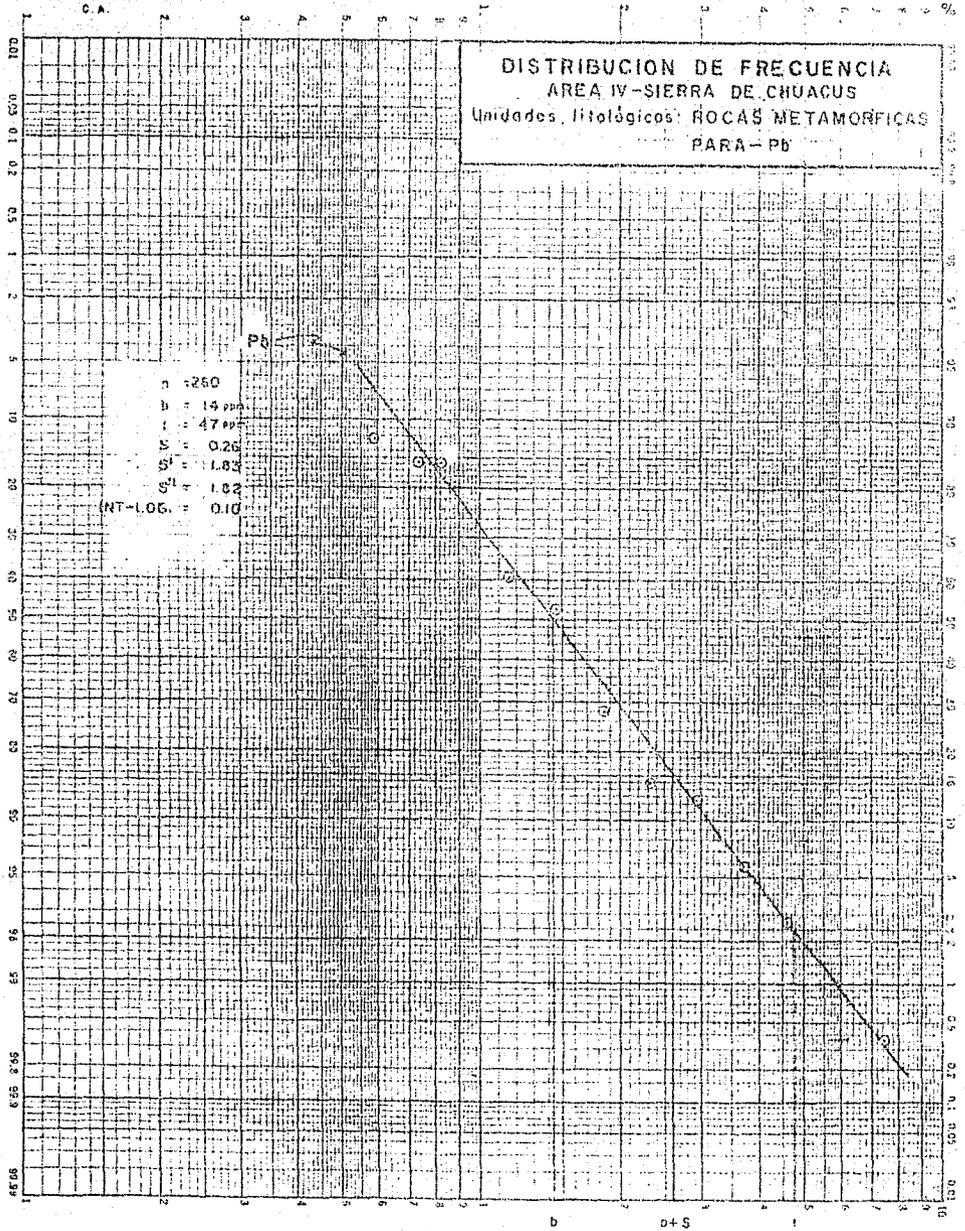
5 + 5 :



GUATEMALA  
C.A.

DISTRIBUCION DE FRECUENCIA  
AREA IV-SIERRA DE CHUACUS  
Unidades litológicas: ROCAS METAMORFICAS  
PARA-Pb

n = 260  
u = 14 ppb  
t = 47 ppb  
s = 0.26  
s<sup>2</sup> = 1.03  
s<sup>1</sup> = 1.02  
NT-1.06 = 0.10

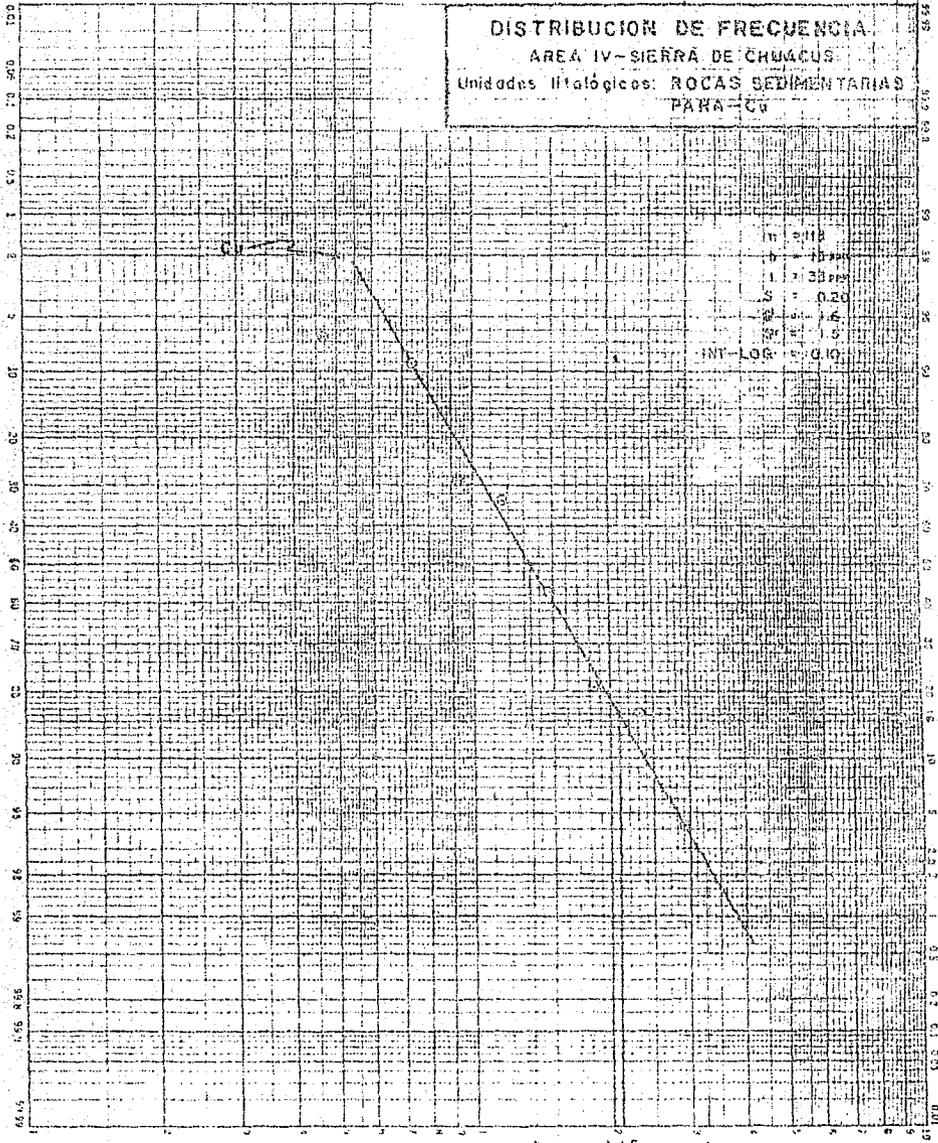


W.E. PUGH  
XILONACUQUE  
RIVERA & ZEPEDA CO.  
25 BOAS



GUATEMALA  
C A

DISTRIBUCION DE FRECUENCIA  
AREA IV-SIERRA DE CHUACUS  
Unidades litológicas: ROCAS SEDIMENTARIAS  
PARA-CU

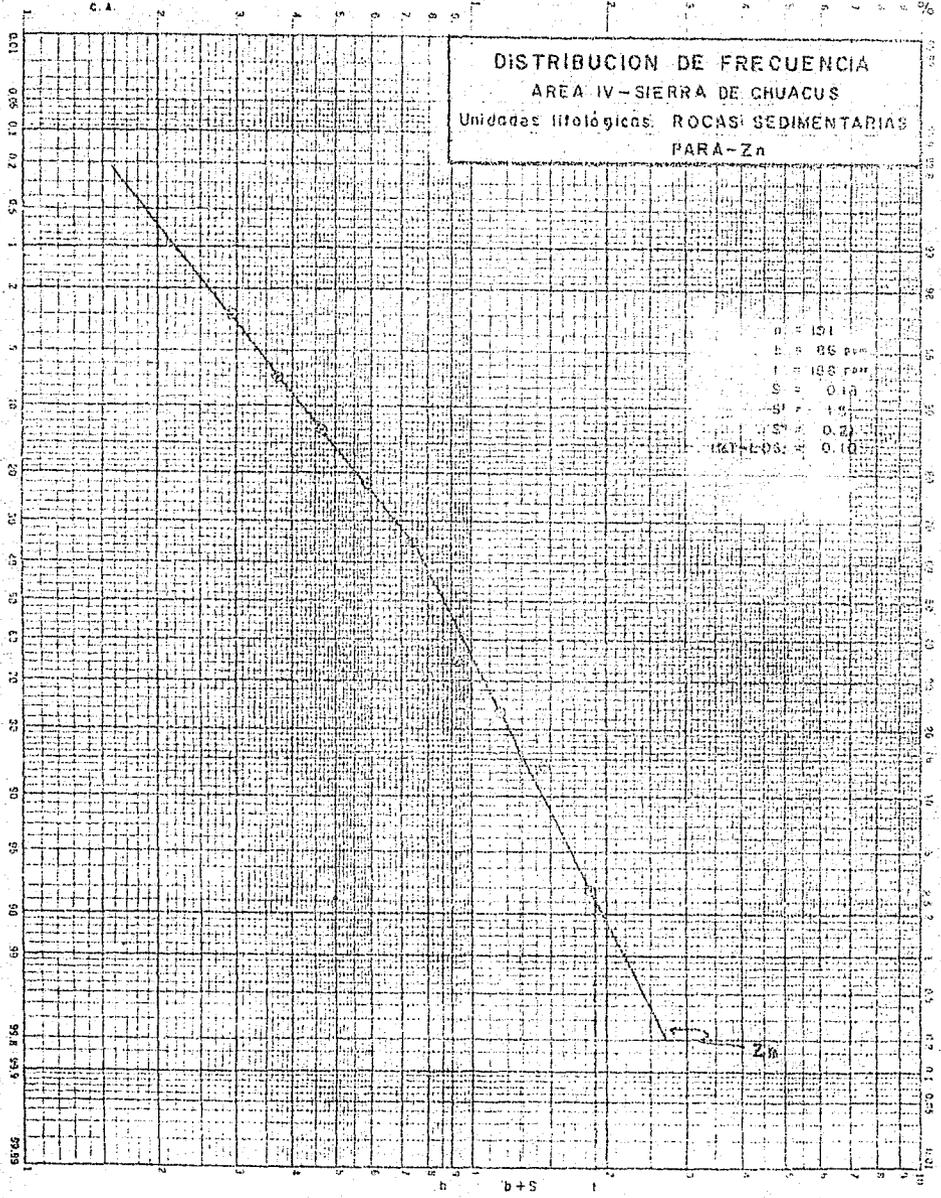


PROBABILITY  
X & LOG SCALE  
KUMPLER & GREEN CO.



GUATEMALA  
C. A.

DISTRIBUCION DE FRECUENCIA  
 AREA IV - SIERRA DE CHUACUS  
 Unidades litológicas: ROCAS SEDIMENTARIAS  
 PARA - Zn



0.01  
 0.02  
 0.05  
 0.10  
 0.20  
 0.50  
 1.00  
 2.00  
 5.00  
 10.00  
 20.00  
 50.00  
 90.00  
 95.00  
 99.00  
 99.99

ROCKS SEDIMENTARIAS  
 AREA IV - SIERRA DE CHUACUS  
 GUATEMALA, C. A.

AS 8002

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

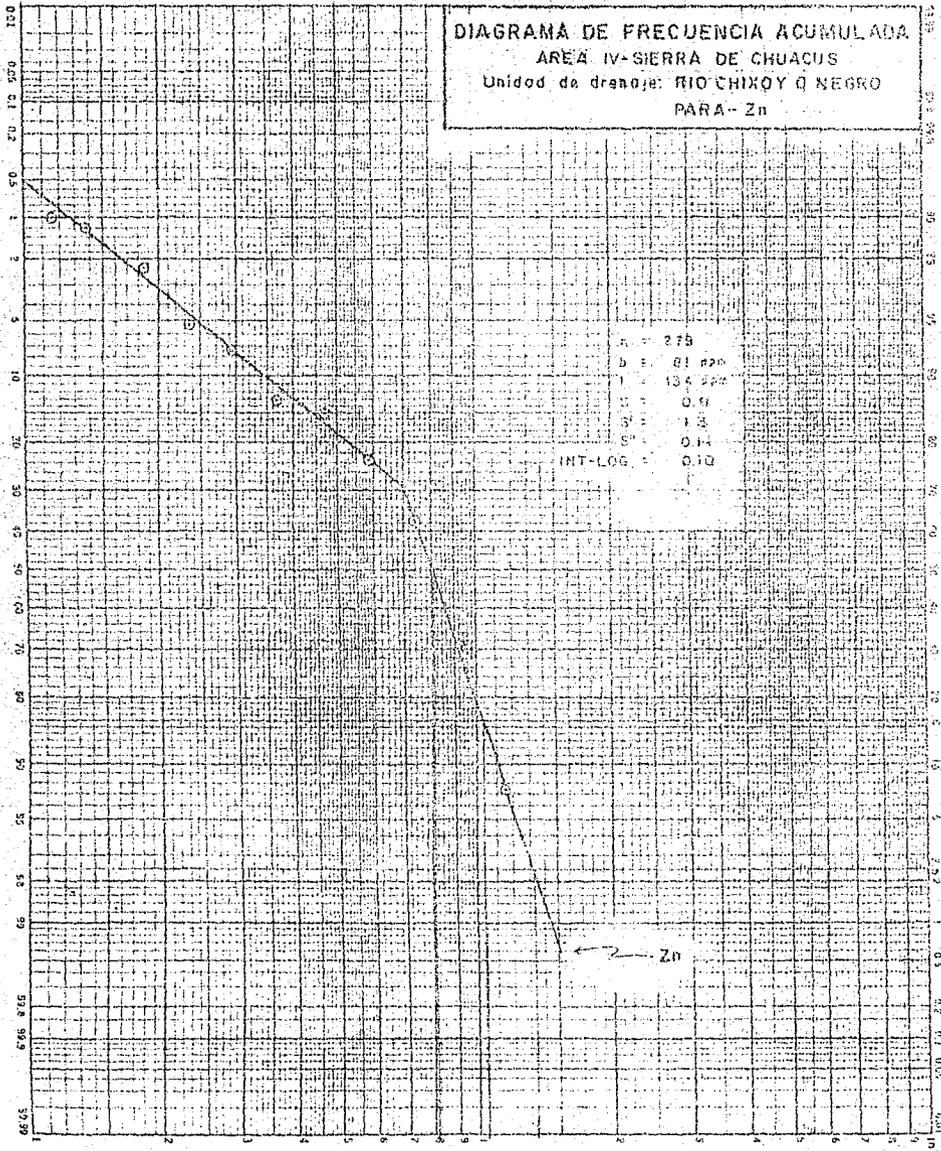






GUATEMALA  
C.A.

DIAGRAMA DE FRECUENCIA ACUMULADA  
AREA IV-SIERRA DE CHUACUS  
Unidad de drenaje: RIO CHIXOY O NEGRO  
PARA: Zn



A = 2.75  
B = 81.820  
I = 134.820  
S = 0.6  
S<sup>2</sup> = 1.5  
S<sup>3</sup> = 0.14  
INT-LOG = 0.10

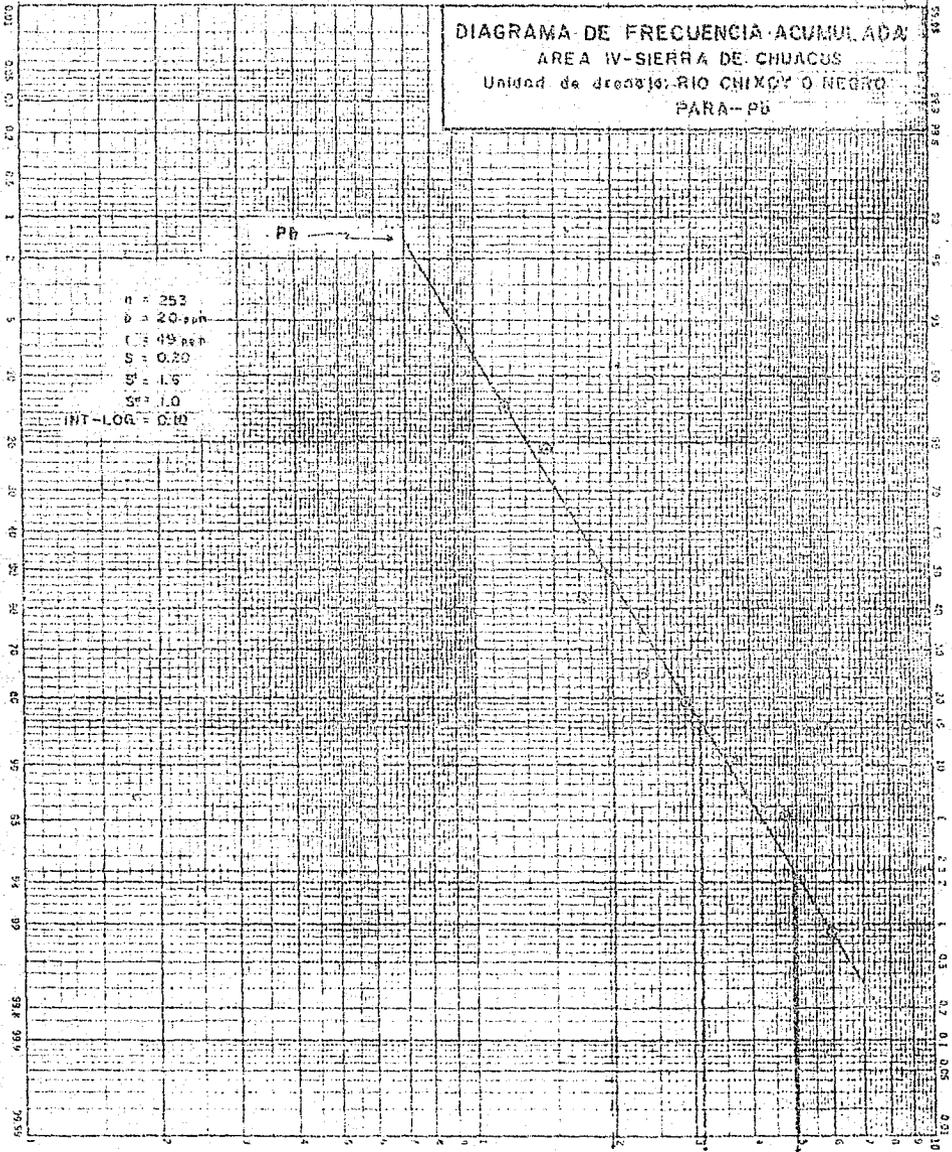
NO. PROBABILIDAD  
A LOS CUMULADOS  
DE LA DISTRIBUCION  
DE FRECUENCIA ACUMULADA

b 4 5 1



SUATEMALA  
C.A.

DIAGRAMA DE FRECUENCIA ACUMULADA  
AREA IV-SIERRA DE CHUACUS  
Unidad de drenaje: RIO CHIXOY O NEGRO  
PARA-Pb



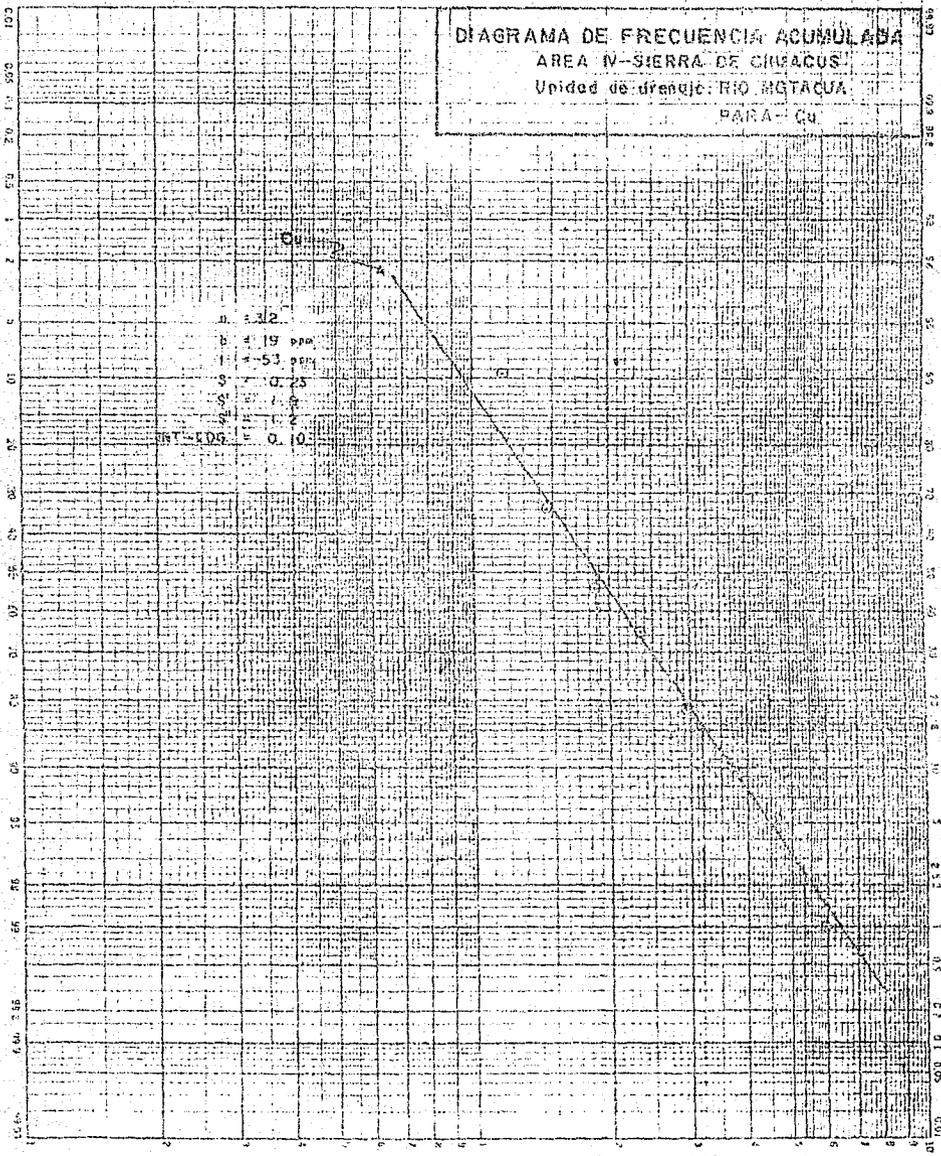
MAPA PROBABILIDAD  
A LOS CICLOS  
DEBIDA A RECURSOS  
45-2013

b+s



GUATEMALA  
C.4

DIAGRAMA DE FRECUENCIA ACUMULADA  
AREA IV-SIERRA DE CHIMACUS  
Unidad de drenaje: RIO MATAQUA  
PARA - Cu

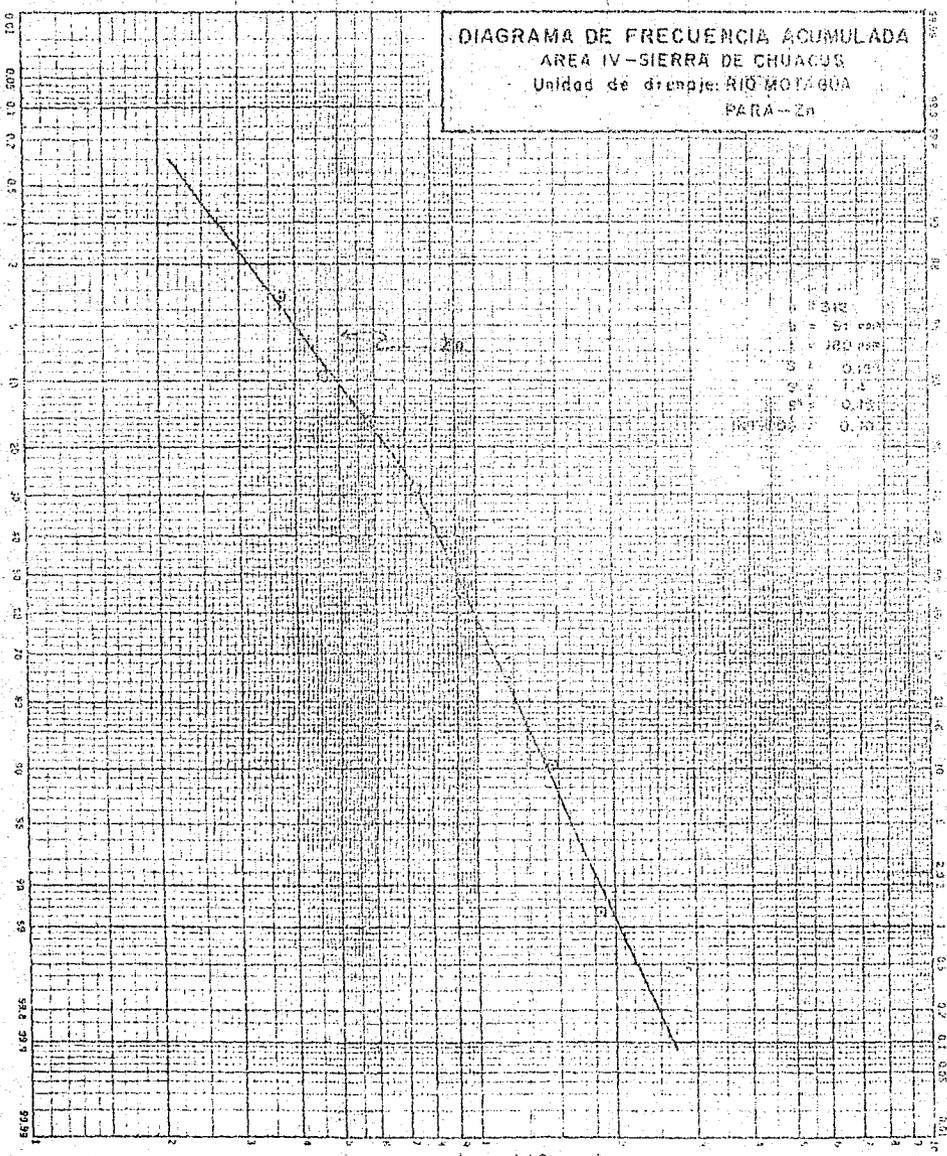


PROYECTO DE  
MATERIALES DE  
CONSTRUCCION  
MAY 1952



GUATEMALA  
C.A.

DIAGRAMA DE FRECUENCIA ACUMULADA  
AREA IV-SIERRA DE CHUACUS  
Unidad de drenaje: RIO MOTAGUA  
PARA-Zn



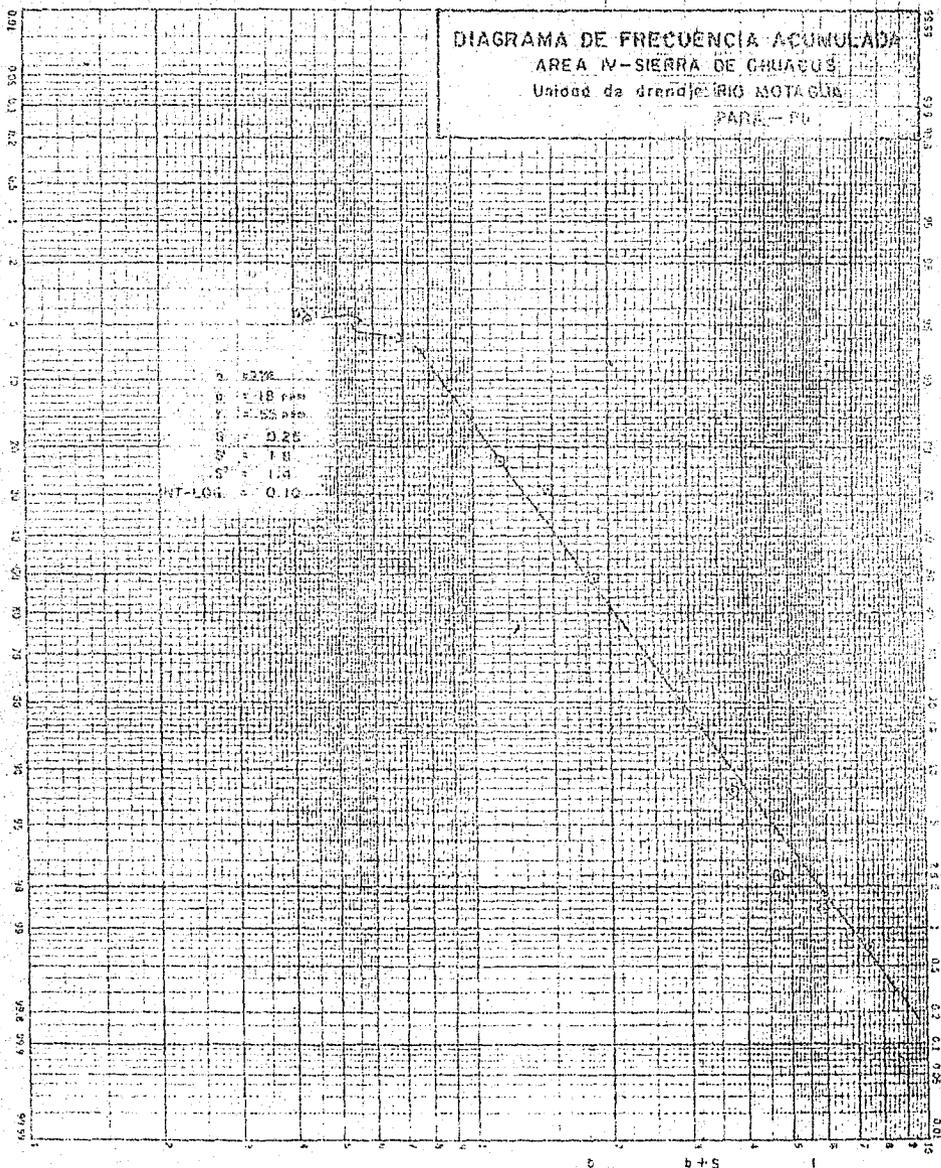
PLAN GUATEMALA  
 N.º 1000  
 48 50 13  
 NITRÓGENO Y FOSFÓFORO

S+9



GUATEMALA  
C.A.

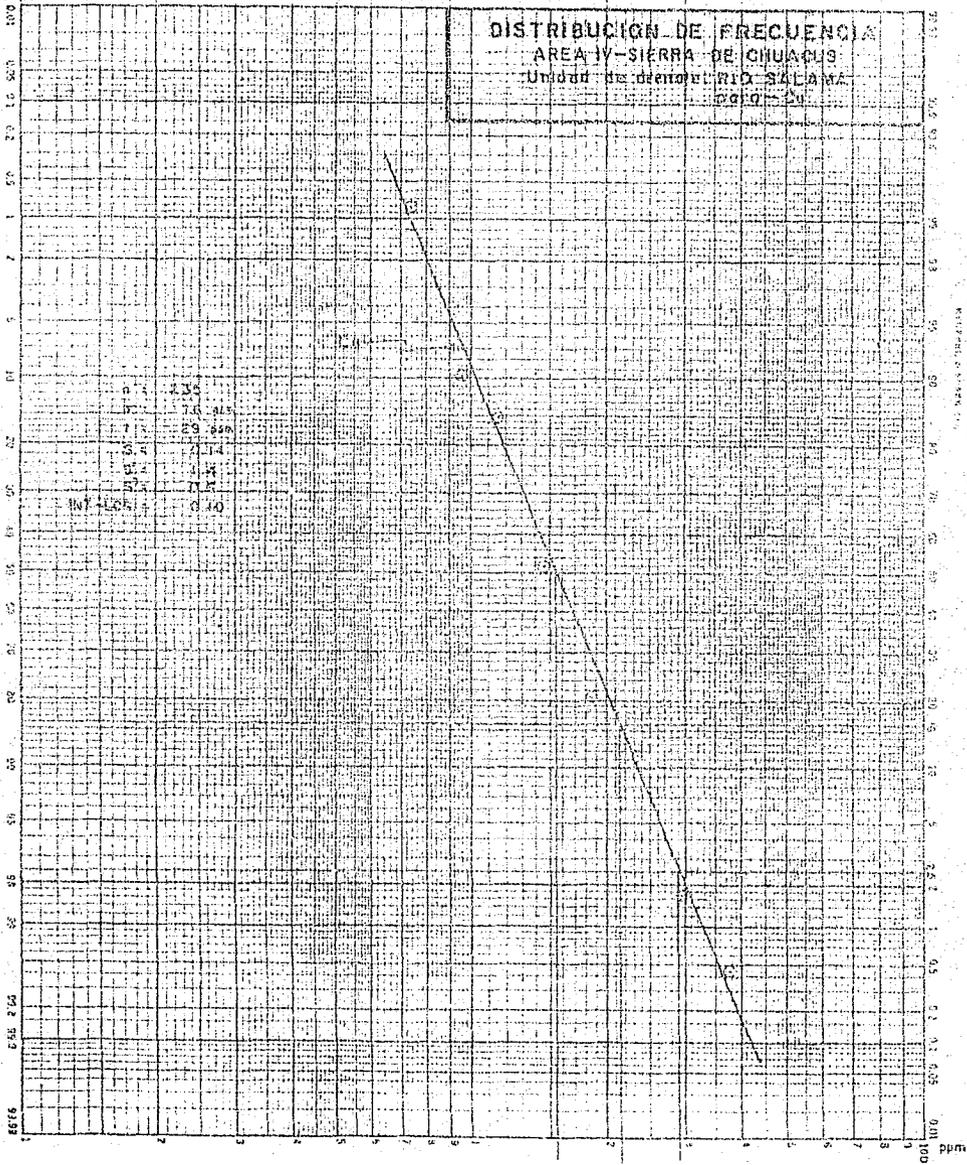
DIAGRAMA DE FRECUENCIA ACUMULADA  
AREA IV-SIERRA DE CHUACUS  
Unidad de drenaje RIO MOTAGUA  
PARA - PU



NO. 2000-10-10-10  
CARTAS  
NORVILLE & PETERSON  
NO. 2000-10-10-10



DISTRIBUCION DE FRECUENCIA  
AREA IV-SIERRA DE CHUACUS  
Unidad de dentado: R10 SALAMA  
0.000-0.001



INSTITUTO GUATEMALTECO DE ESTADÍSTICA Y CENSOS  
 INSTITUTO GUATEMALTECO DE ESTADÍSTICA Y CENSOS  
 INSTITUTO GUATEMALTECO DE ESTADÍSTICA Y CENSOS

PROSPECCION GEOQUIMICA  
DISTRIBUCION DE FRECUENCIA

AREA: IV  
FECHA: JUNIO 1974  
OBSERVACIONES:

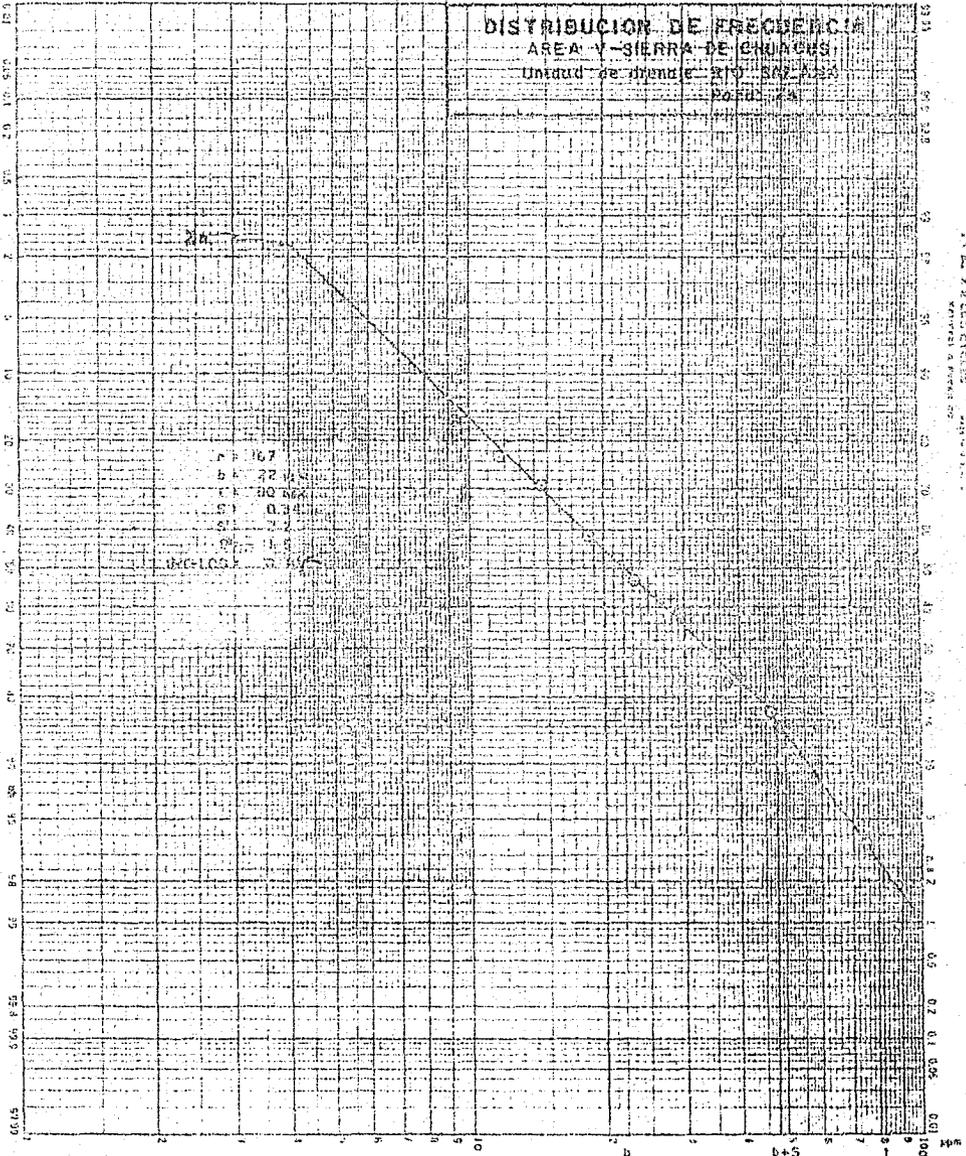
UNIDAD DE DRENAJE  
RIO SALAMA

ELEMENTO: Zn  
INTERVALO LOGARITMICO: 0.10  
POBLACION N: 167

INTERVALO DE CLASE ppm	FRECUENCIA n	FRECUENCIA ACUMULADA La	FRECUENCIA ACUMULADA RELATIVA Li %
4.7	18	167	100
5.9	9	149	89.3
7.4	1	140	84.0
9.3			
	11	139	83.4
11.7	10	129	76.9
14.8			
	21	118	70.7
18.6			
	20	97	58.0
23.5			
	13	77	46.0
29.5			
	28	64	38.4
37.2			
	7	36	21.6
46.8			
	13	29	17.4
58.9			
	10	16	9.6
74.1			
	6	6	3.9
93.4			

GUATEMALA  
C.A.

DISTRIBUCION DE FRECUENCIA  
AREA Y SIERRA DE CHUACMS  
Unidad de Muestra: RIO SAN JUAN  
Pobl. 1000



FOR FREQUENCY  
AND PERCENTAGE  
VALUES

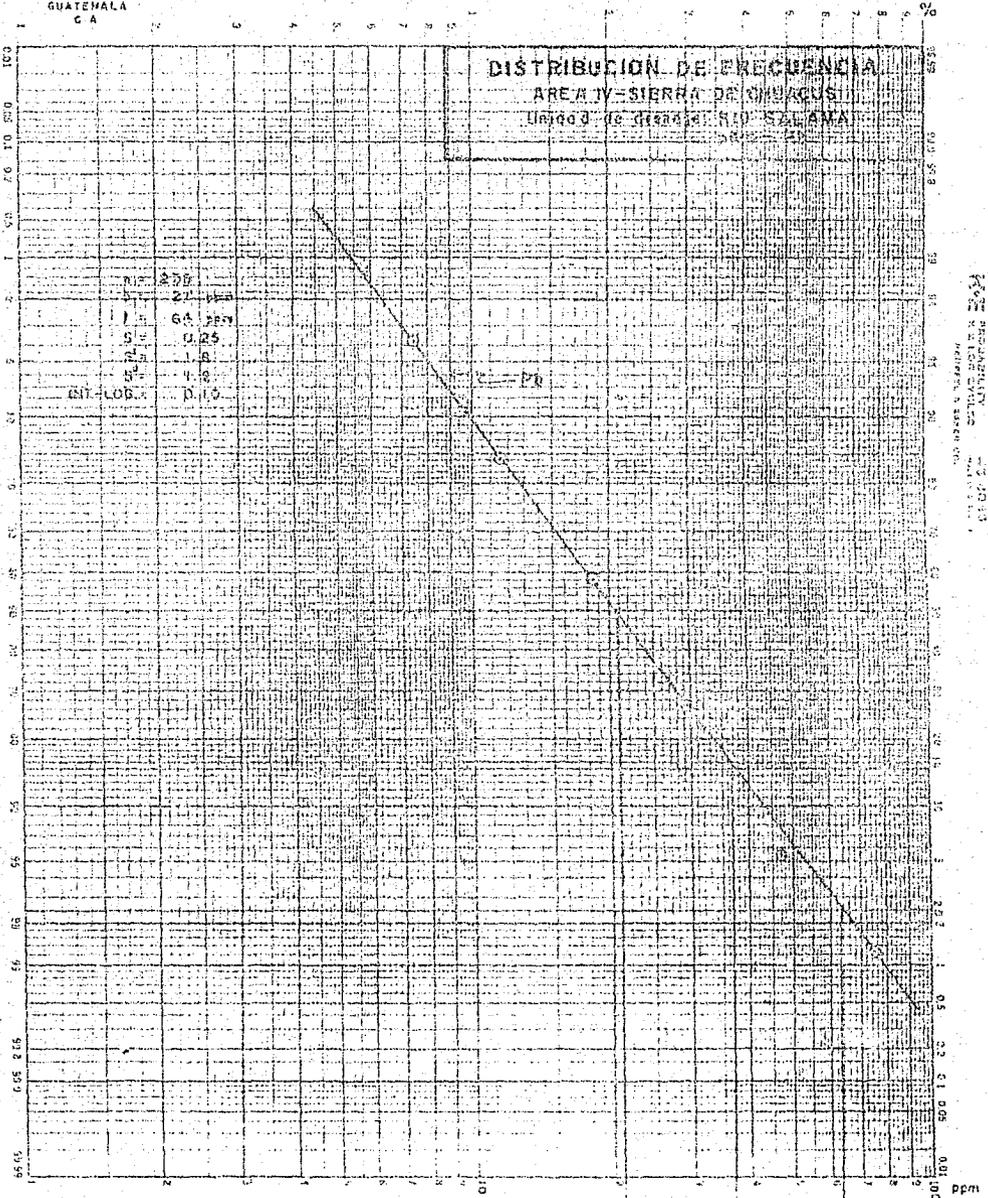


GUATEMALA  
C.A.

DISTRIBUCION DE FRECUENCIA  
AREA IV-SIERRA DE CHUACUS  
Unidad de Muestreo: RIO SALAMA

N = 278  
 $\bar{x} = 64.289$   
 $s^2 = 0.25$   
 $s = 0.5$   
 ENT. LOG. = 0.10

$\chi^2 = PR$

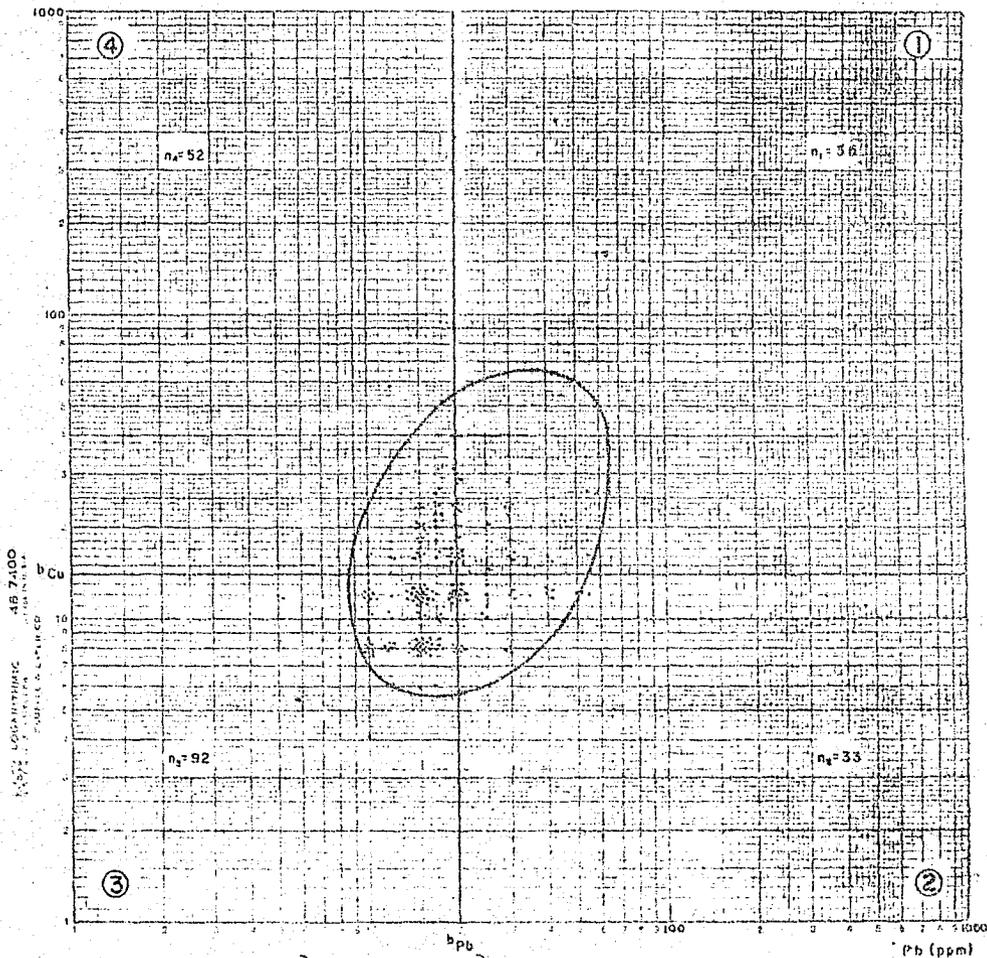


INSTITUTO GUATEMALTEÑO DE ESTADÍSTICA Y CENSOS  
 GUATEMALA, GUATEMALA  
 1970

GUATEMALA  
C.A

DIAGRAMA DE CORRELACION  
Area IV-Sierra de Chuacús  
Unidad de drenaje: Río Chixoy o Negro  
para Cu/Pb

Cu (ppm)



48 7400  
 LOGARÍFIMIC  
 PAPER - U.S. G.P.O.

$n_1 = 55$   
 $n_2 = 33$   
 $n_3 = 92$   
 $n_4 = 52$

$$N_1 = n_1 + n_3 = 147$$

$$N_2 = n_2 + n_4 = 85$$

$$\rho = \text{Sen} \left[ \frac{\pi}{2} \cdot \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right]$$

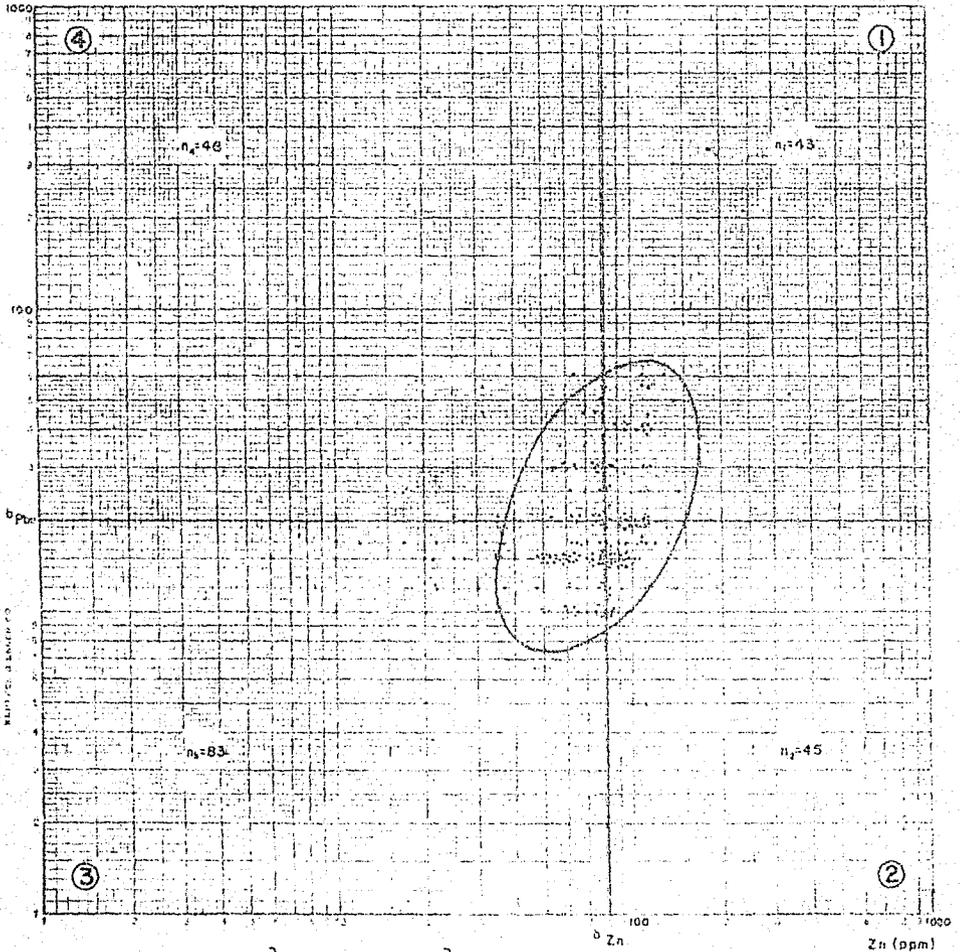
$$\rho = + 0.41$$

GUATEMALA  
C.A.

# DIAGRAMA DE CORRELACION

Area IV-Sierra de Chuacus  
Unidad de drenaje: Río Chixoy o Negro  
para Zn/Pb

Pb (ppm)



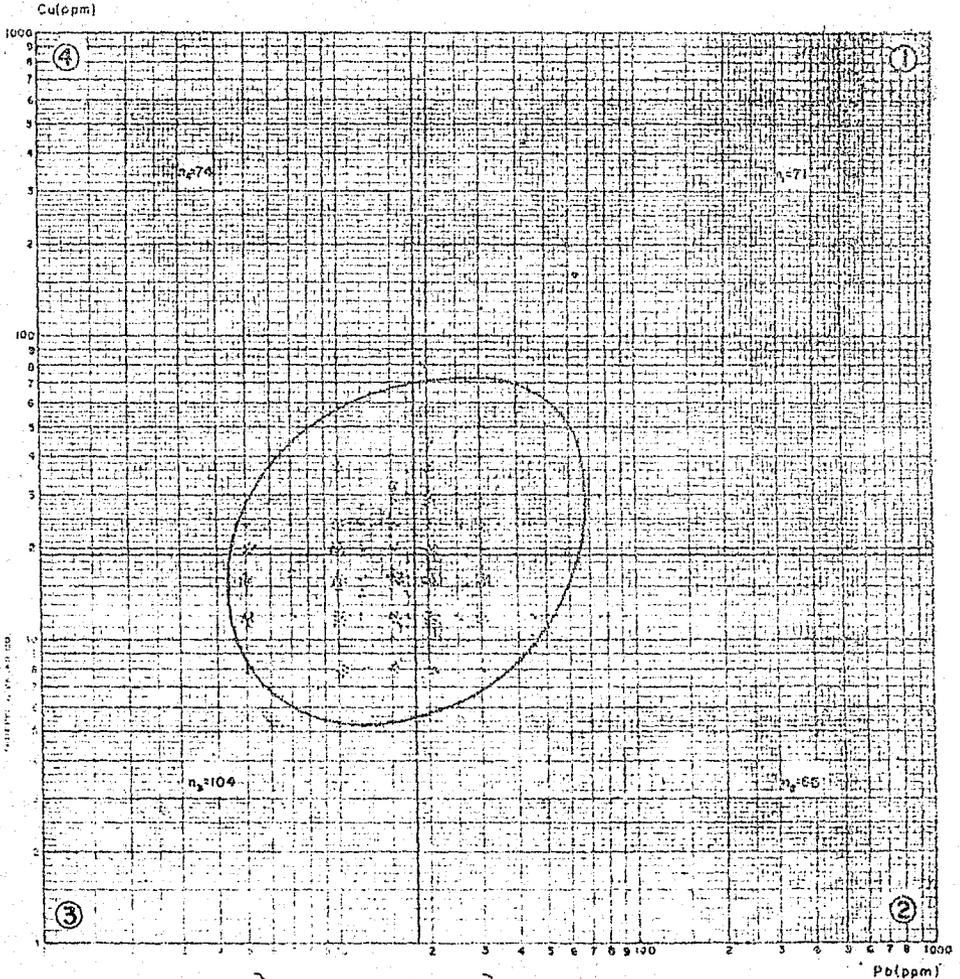
REP. DE LOCALIDAD: C-46 7400  
 MUNICIPIO: SAN JUAN CANTON  
 DEPARTAMENTO: SIERRA DE CHUACUS

$n_1 = 43$ $n_2 = 45$ $n_3 = 83$ $n_4 = 46$	}	$N_1 = n_1 + n_3 = 126$ $N_2 = n_2 + n_4 = 91$	}	$\rho = \text{Sen} \left[ \frac{\pi}{2} \cdot \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right]$ $\rho = +0.45$
--	---	---	---	--

Zn (ppm)

GUATEMALA  
C.A.

DIAGRAMA DE CORRELACION  
Area IV Sierra de Chuacus  
Unidad de drenaje: Rio Mofague  
para: Cu/Pb



LOG-CARTESIAN  
 20 7-500  
 10 10 100 1000  
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

$\left. \begin{array}{l} n_1 = 71 \\ n_2 = 65 \\ n_3 = 104 \\ n_4 = 73 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} N_1 = n_1 + n_3 = 175 \\ N_2 = n_2 + n_4 = 138 \end{array} \right\}$	$\rho = \text{Sen} \left[ \frac{\pi}{2} \cdot \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right]$
		$\rho = + 0.19$

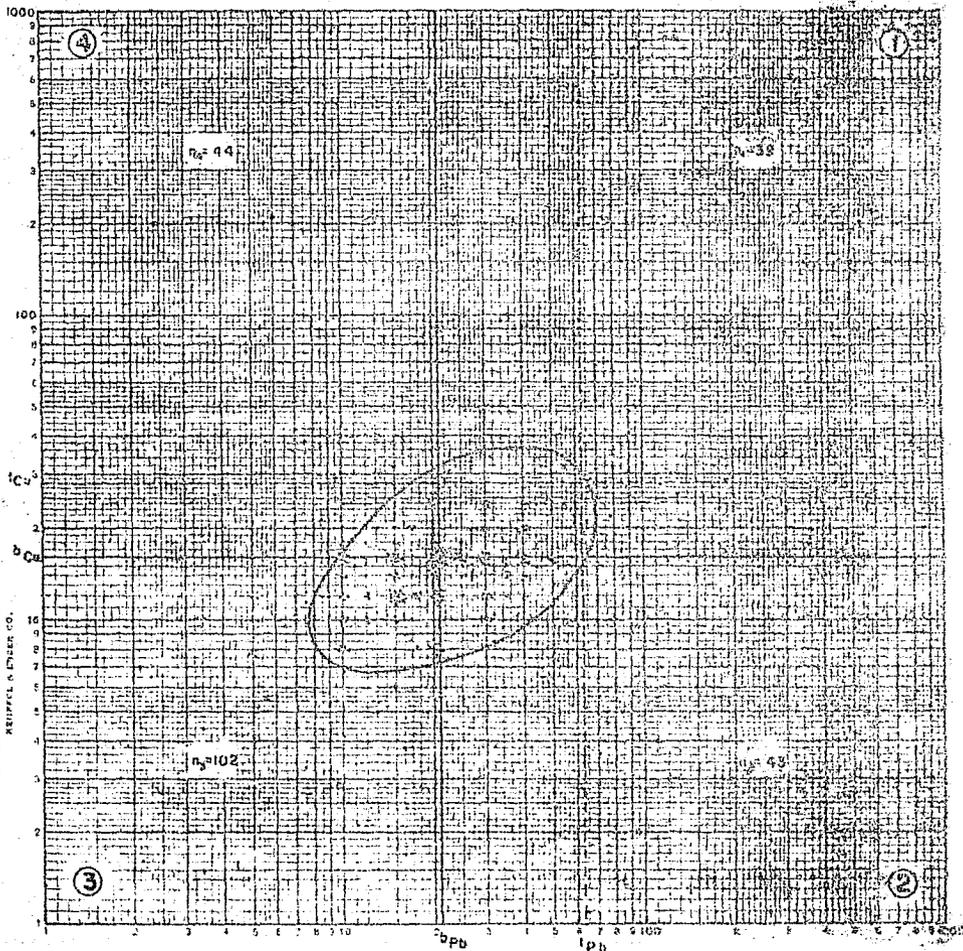
Pb(ppm)



GUATEMALA  
C.A.

DIAGRAMA DE CORRELACION  
Area IV-Sierro de Chuacuz  
Unidad de drenaje: Río Salama  
para: Cu/Pb

Cu (ppm)



LOGARITHMIC 46 7400  
5 X 3 CY LES  
MILWAUKEE  
MILWAUKEE & OTSUKA CO.

$n_1 = 39$   
 $n_2 = 43$   
 $n_3 = 102$   
 $n_4 = 44$

$N_1 = n_1 + n_3 = 141$   
 $N_2 = n_2 + n_4 = 87$

$$\rho = \text{Sen} \left[ \frac{\pi}{2} \cdot \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right]$$

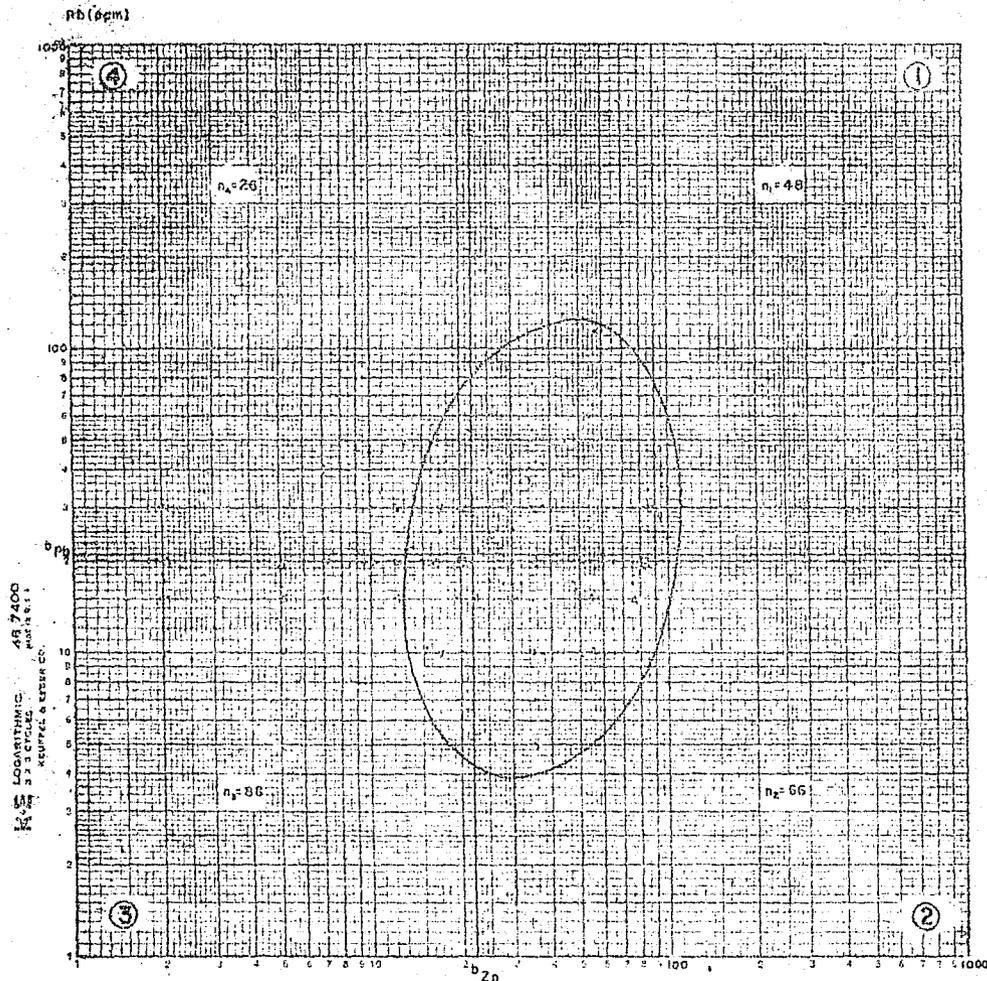
$$\rho = +0.36$$

Pb (ppm)

GUATEMALA  
2.4

# DIAGRAMA DE CORRELACION

Area IV-Sierra de Chuacus  
Unidad de drenaje: Rio Salama  
para: Pb/Zn

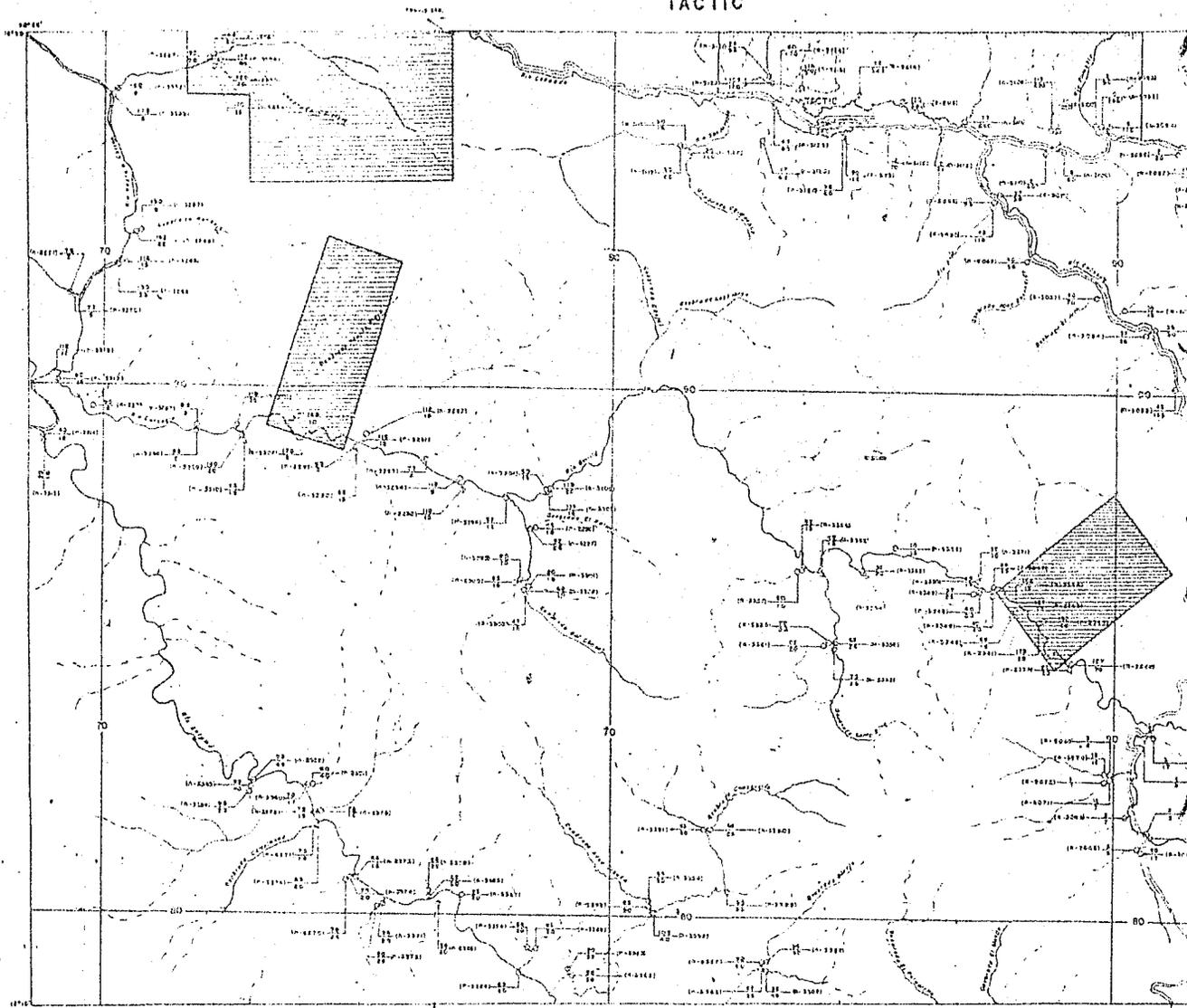


LOGARITHMIC 48 7400  
 3 3 3 CIRCLES  
 MAPA 8.11  
 SCOTT & DENSM CO.

$n_1 = 48$	}	$N_1 = n_1 + n_2 = 136$	$r = \text{Sen} \left[ \frac{\pi}{2} \cdot \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right]$
$n_2 = 66$			
$n_3 = 88$			
$n_4 = 26$			
		$N_2 = n_2 + n_4 = 92$	$r = +0.29$

Zn (ppm)

# TACTIC



Escala 1:50,000

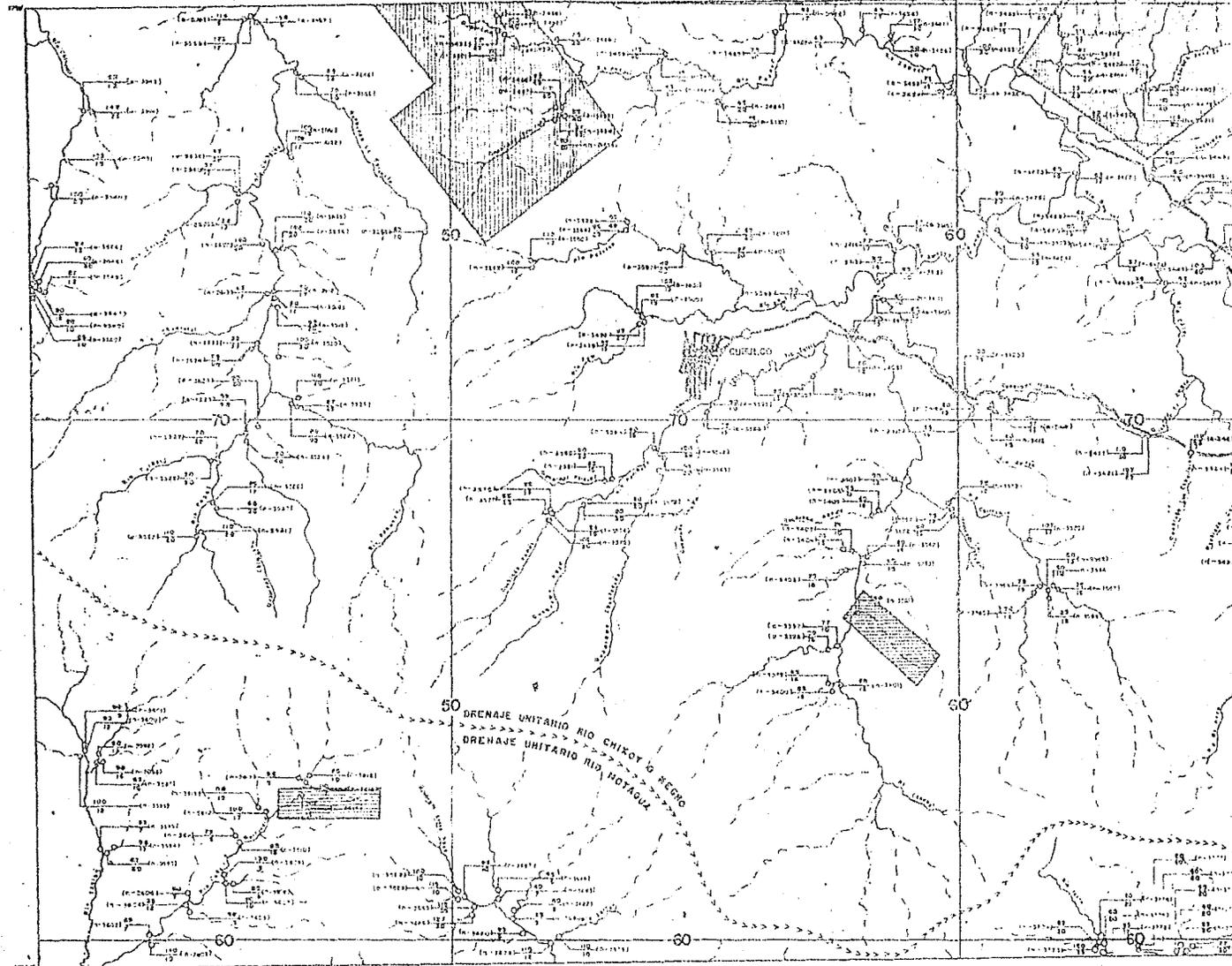
INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL  
GUATEMALA, C.A.

MAP OF SYMBOLS AND ABBREVIATIONS

SYMBOL	NAME	EXPLANATION
[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]







INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL  
GUATEMALA, C. A.

Escala 1:50,000

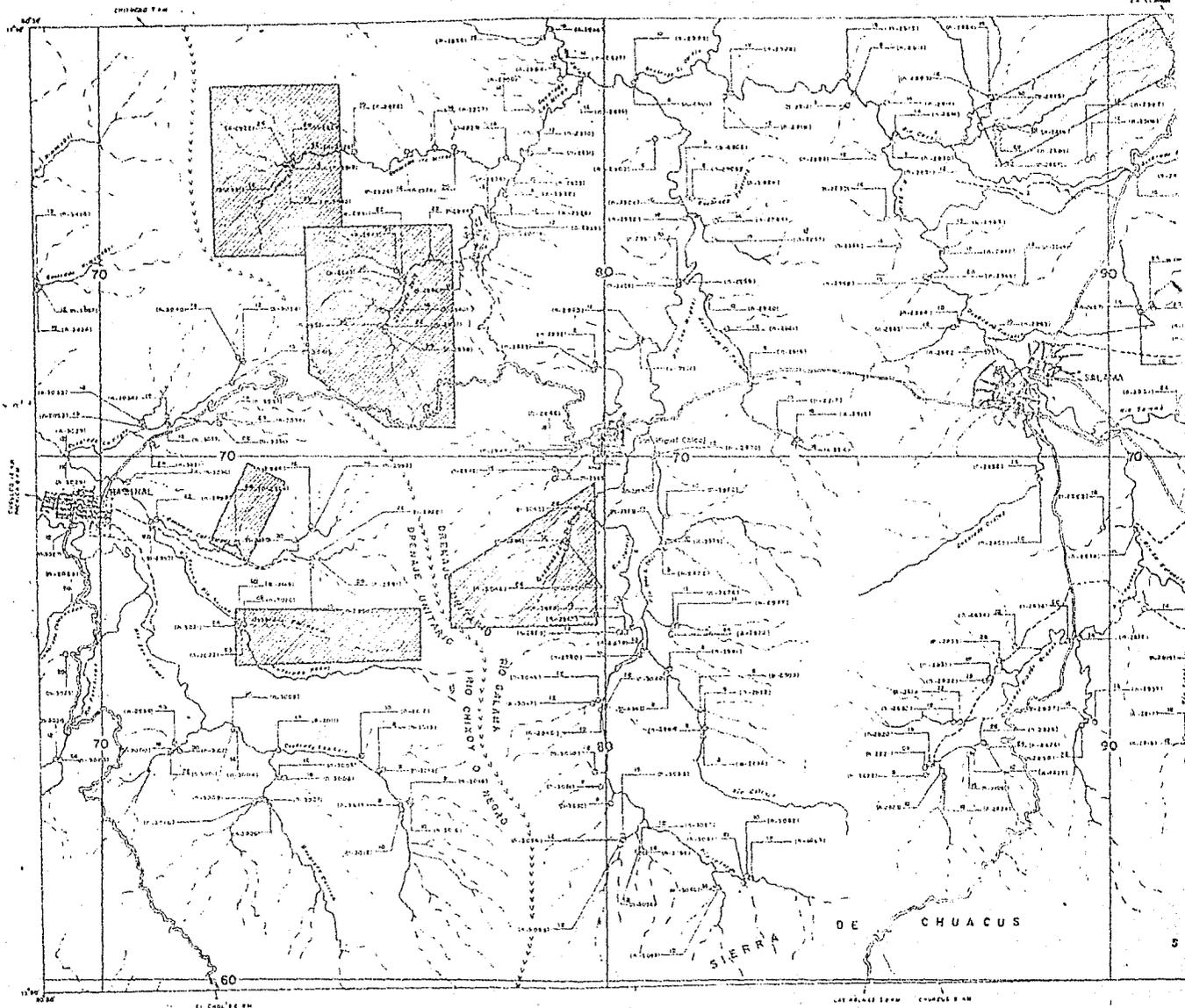
MOJES DE TIPO CONVENCIONALES

UNIDAD CONVENCIONAL	UNIDAD CONVENCIONAL	TIPO DE
100	100	100
100	100	100
100	100	100





# SALAMA



INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL  
GUATEMALA, C. A.

Escala 1:50,000

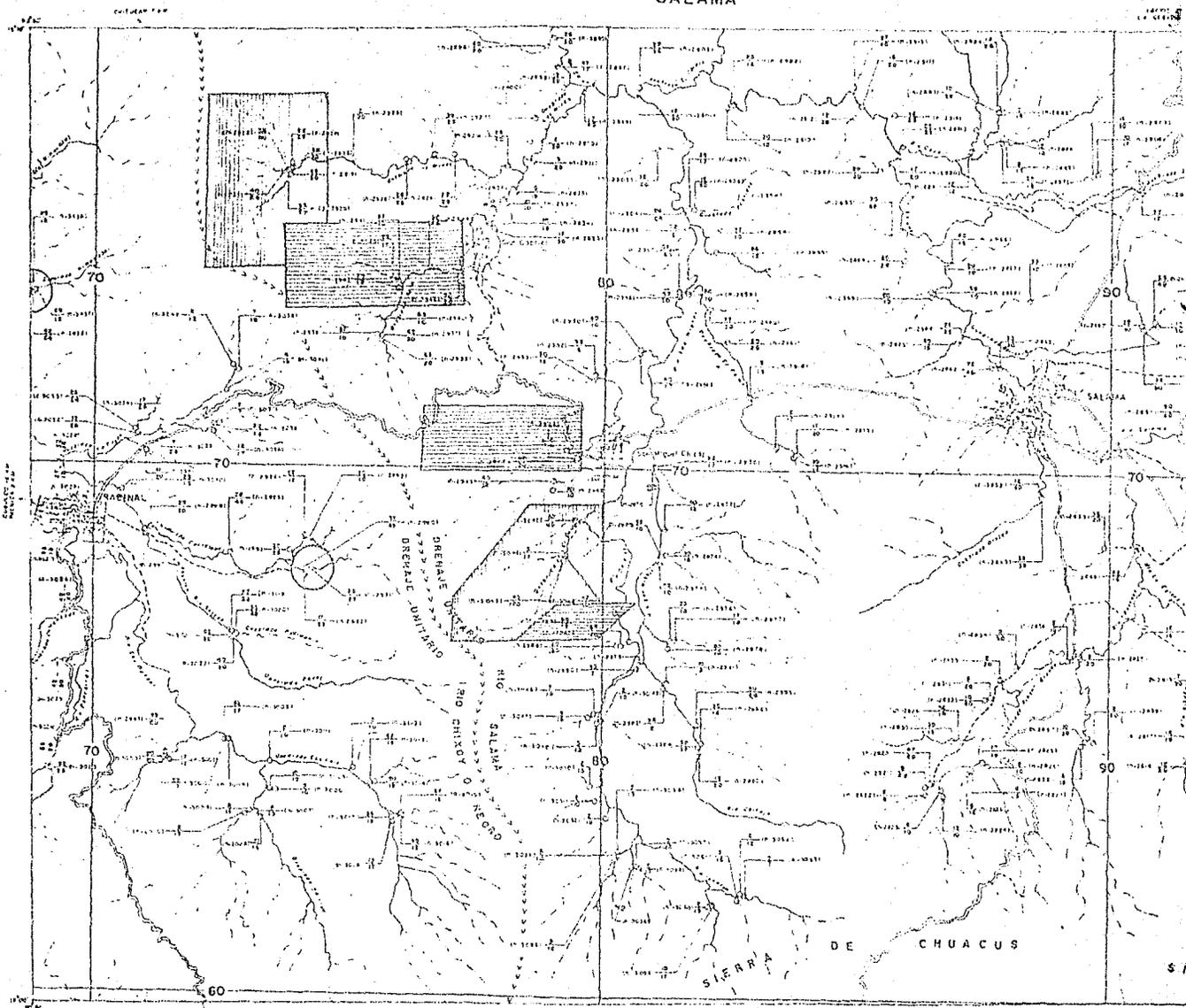
TIPO DE HOJAS ADYACENTES

100-10-11	100-10-12	100-10-13
100-10-14	100-10-15	100-10-16
100-10-17	100-10-18	100-10-19





SALAMA



INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL  
GUATEMALA, C. A.

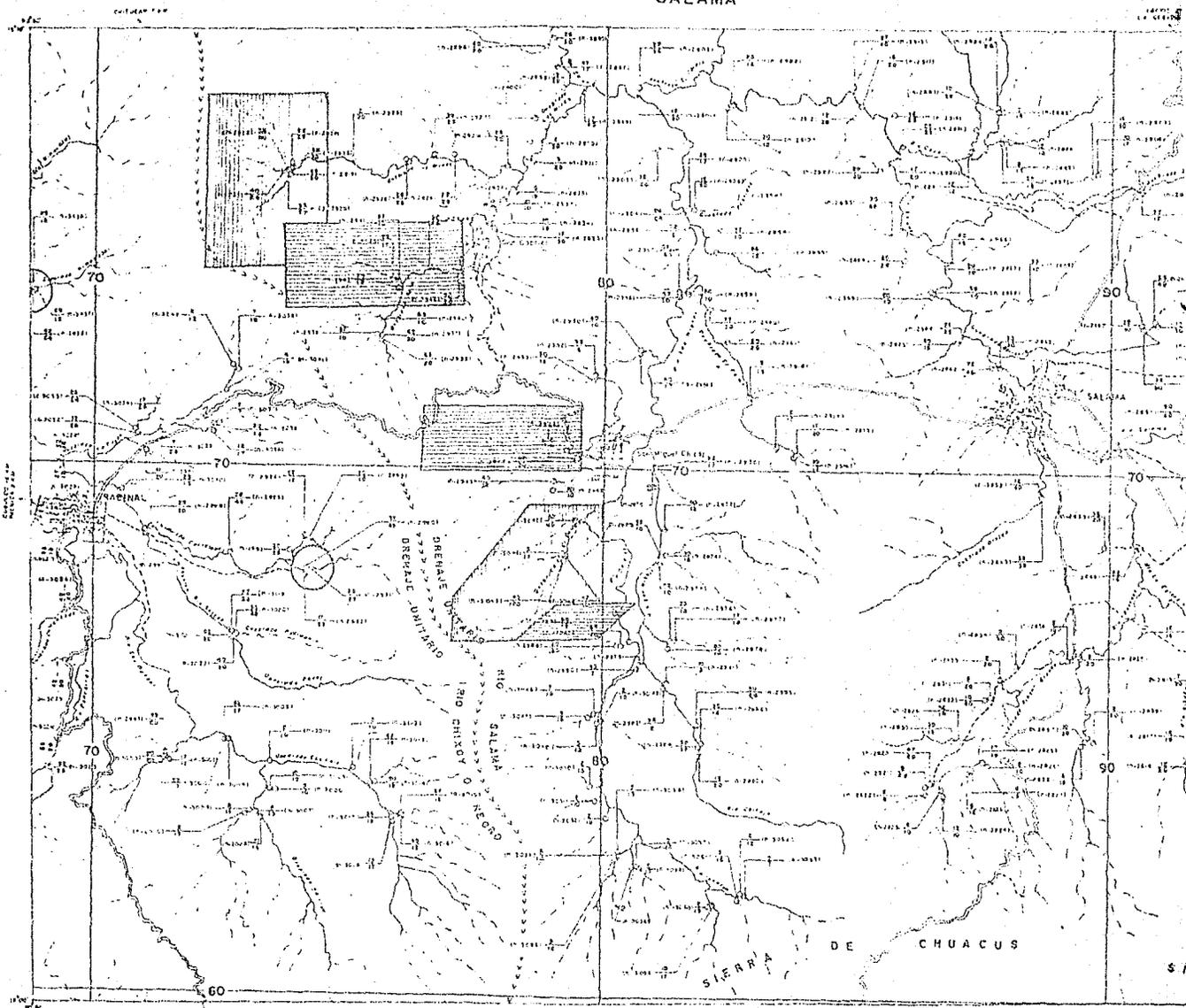
Escala 1:50,000

ABRICE DE NOTAS SIMBOLES

LINEAS AZULAS	LINEAS VERDES	LINEAS ROJAS
LINEAS NUBLOSAS	LINEAS PUNTEADAS	LINEAS TRAZADAS
LINEAS TRAZADAS	LINEAS TRAZADAS	LINEAS TRAZADAS

Vertical text on the right margin, possibly a scale or legend note.

SALAMA



INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL  
GUATEMALA, C. A.

Escala 1:50,000

ABRICE DE NOTAS SIMBOLICAS

LINEAS AZULAS	LINEAS VERDES	LINEAS ROJAS
LINEAS NUBLOSAS	LINEAS PUNTEADAS	LINEAS TRAZADAS
LINEAS TRAZADAS	LINEAS TRAZADAS	LINEAS TRAZADAS

