

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica



Comparacion de Metodos de Estimacion de ley de Cobre

TESIS

**Para Optar el Título Profesional de
INGENIERO DE MINAS**

Javier L. Salazar Muñoz

LIMA—PERU

1989

A mis queridos padres:
Ladislao y Ada por sus
abnegados sacrificios en el
desarrollo de mi carrera
profesional.

AGRADECIMIENTO

El suscrito desea expresar sus más sinceros agradecimientos por la culminación del presente trabajo de tesis para optar el título de Ingeniero de Minas, a la empresa Southern Peru Copper Corporation, propietaria de la mina Cuajone, por autorizar la realización de este trabajo y por las facilidades brindadas para su desarrollo.

Gracias a este apoyo y con la convicción de que este trabajo contribuirá al desarrollo de la tecnología de la explotación minera fue posible la culminación de esta tesis.

COMPARACION DE METODOS DE ESTIMACION DE LEY DE COBRE

INTRODUCCION

RESUMEN

CAPITULO 1. GENERALIDADES

1.1. Ubicacion y proceso productivo

1.2. Geología de la mina

1.2.1. Litología

1.2.1.1. Vólcanicos pre-mineral

1.2.1.2. Complejo intrusivo

1.2.1.3. Volcánicos post-mineral

1.2.2. Mineralización

1.2.2.1. Capa lixiviada

1.2.2.2. Oxidos

1.2.2.3. Zona enriquecida

1.2.2.4. Zona de transición

1.2.2.5. Zona de primario

CAPITULO 2. BREVE DESCRIPCION DE METODOS DE ESTIMACION DE RESERVAS

2.1. Métodos geométricos

2.2. Métodos de promedios ponderados por la distancia

CAPITULO 3. ESTIMACION DE RESERVAS POR EL METODO POLIGONAL

CAPITULO 4. INFORMACION DISPONIBLE: METODO DEL INVERSO DE LA POTENCIA ENESIMA DE LA DISTANCIA Y METODO GEOESTADISTICO

4.1. Información disponible

4.2. Asignamiento geológico a taladros diamantinos y bloques reales

CAPITULO 5. ESTIMACION DE LEY DE COBRE POR EL INVERSO: DE LA POTENCIA ENESIMA DE LA DISTANCIA

5.1. Metodología de la estimación

5.1.1. Parámetros utilizados

5.1.2. Criterio para la obtención de exponente óptimo de la distancia: varianza mínima de error

5.1.3. Comparación de resultados

5.1.3.1. Sin restricción geológica

5.1.3.2. Con restricción geológica

5.1.4. Análisis de resultados

5.1.4.1. Restricción geológica

5.1.4.2. Dimensión de bloques

5.2. Determinación de exponentes óptimos de la distancia por zonas geológicas

CAPITULO 6. ESTIMACION DE LEY DE COBRE POR EL METODO GEOESTADÍSTICO

6.1. Cálculo estadístico: histogramas y determinación de estadigráfos

6.2. Variogramas

6.2.1. Análisis de variogramas

6.2.2. Obtención de modelo tridimensional

6.3. Aplicación de la técnica del krigeage

6.3.1. Diferencia entre el método del inverso de la distancia y krigeage

6.3.2. Krigeage clásico

6.3.3. Krigeage logarítmico

6.4. Comparación de resultados

6.4.1. Varianza de estimación teórica

6.4.2. Media, varianza de estimación experimental, de dispersión y coeficiente de correlación

6.4.3. Porcentaje de error de tonelaje y ley

6.4.4. Curvas de tonelaje y ley media Versus ley de corte

CAPITULO 7. COMPARACION DE RESULTADOS ENTRE EL METODO
GEOESTADISTICO, INVERSO DE LA POTENCIA ENESIMA DE
LA DISTANCIA Y POLIGONAL CON DATOS REALES

- 7.1. Media, varianza de estimación experimental, de
dispersión y coeficiente de correlación
- 7.2. Porcentaje de error de tonelaje y ley
- 7.3. Curvas de tonelaje, ley media y contenido metálico
versus ley de corte

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

El cálculo de reservas tiene como propósito determinar la cantidad, la ley y la distribución espacial del mineral en el yacimiento.

En Cuajone se estiman reservas desde hace algunos meses atrás con el método del inverso de la potencia enésima de la distancia, método que mejoró sustancialmente el porcentaje de error que se obtenía anteriormente con el método poligonal cuya característica era sub-estimar el tonelaje de mineral y sobre-estimar la ley de cobre.

En el afán de disminuir el error que se obtiene actualmente se inició un nuevo estudio de estimación de ley de cobre por el método geoestadístico.

El presente trabajo tiene como objetivo comparar los métodos: poligonal, el inverso de la potencia enésima de la distancia y el método geoestadístico versus los bloques reales ya minados, leyes que son obtenidas en base a leyes de taladros de voladura primaria.

En el presente estudio existen básicamente dos poblaciones de análisis; la primera y sobre la que se han realizado más pruebas, consiste en un prisma de base cuadrada de 400x400 metros y 75 metros de altura. La segunda población es una ampliación de la primera es el volumen minado desde el inicio de la operaciones hasta Junio de 1987.

RESUMEN

Muchos de los principios básicos de las técnicas de estimación de reservas no han sufrido cambios en los últimos años, su aplicación está restringida de acuerdo a la facilidad de su cálculo manual. Con el advenimiento de las computadoras, se están empleando técnicas que brindan una mejor aproximación al tonelaje de mineral y ley real del yacimiento.

En Cuajone con la aplicación del método computarizado del inverso de la potencia enésima de la distancia en reemplazo del método poligonal (manual) para la estimación del tonelaje de mineral y ley de cobre para planeamiento a largo plazo se consiguió una mejor precisión, y una mayor rapidez de cálculo por su manipulación con computadora.

Posteriormente se inició un estudio geoestadístico para asignar ley de cobre a bloques de tal manera que nos permita acercarnos mejor a la ley real de los bloques. El método geoestadístico por medio de modelos matemáticos nos permite obtener resultados mejor fundamentados que con los otros métodos de estimación.

Este trabajo consta de siete capítulos:

El capítulo 1 trata sobre el proceso productivo de Cuajone y la geología del yacimiento.

En el capítulo 2 se describe brevemente el concepto básico de los métodos de estimación de reservas.

El capítulo 3 describe el método poligonal, aplicado anteriormente en Cuajone.

En el capítulo 4 se describe brevemente la información utilizada, las consideraciones tomadas en cuenta para el asignamiento de ley a bloques con el método del inverso de la potencia enésima de la distancia y geoestadístico, y el asignamiento de códigos a los bloques de acuerdo a la zona geológica en que se encuentren.

El capítulo 5 trata sobre el método aplicado actualmente en Cuajone; inverso de la potencia enésima de la distancia; la metodología empleada y sucesivamente se encontrará comparaciones con datos reales, hasta la determinación de los parámetros óptimos para este método.

El capítulo 6 trata sobre el método propuesto; cálculo estadístico de leyes: histogramas y estadígrafos, cálculo de variogramas y determinación de modelos tridimensionales y aplicación de la técnica del kriging.

En el capítulo 7 se compara los resultados de los tres métodos de estimación: geoestadístico, inverso de la distancia y poligonal, a nivel de varianza de estimación y dispersión y coeficiente de correlación y finalmente una comparación de porcentajes de error de tonelajes y leyes para diferentes cut-off.

A continuación mostramos los tonelajes y leyes obtenidos con bloques reales 20x20 y los métodos de estimación mencionados anteriormente: tabla resumen número 1; y el porcentaje de error de tonelaje y ley que resulta de comparar el método geoestadístico, inverso de la distancia y poligonal contra los bloques reales 20x20: tabla resumen número 2.

Tabla resumen número 1.- Tonelajes y leyes de cut-off 0.40 A 0.60 %, para malla real 20x20 y los métodos de estimación: geoestadístico, inverso de la distancia y poligonal en prisma 400x400x75

CUT-OFF	MALLA REAL 20x20		GEOESTADISTICO		INV. DISTANCIA		POLIGONAL	
0.40	30'137,143	1.111	30'083,508	1.109	29'812,361	1.125	26'540,550	1.227
0.45	29'630,295	1.123	29'660,893	1.119	29'236,569	1.139	26'540,550	1.227
0.50	29'155,611	1.134	29'036,752	1.132	28'391,230	1.159	26'034,775	1.242
0.55	28'375,439	1.151	28'394,813	1.146	27'647,677	1.176	25'910,327	1.246
0.60	27'444,134	1.170	27'650,019	1.162	27'225,321	1.185	25'416,690	1.259

Tabla resumen número 2.- Porcentaje de error de tonelaje y ley entre mallas asignadas y reales en prisma 400x400x75

CUT-OFF	GEOESTADISTICO		INV. DISTANCIA		POLIGONAL	
	Tons	Ley	Tons	Ley	Tons	Ley
0.40	-0.2	-0.2	-1.1	1.3	-11.9	10.4
0.45	0.1	-0.4	-1.3	1.4	-10.4	9.3
0.50	-0.4	-0.2	-2.6	2.2	-10.7	9.5
0.55	0.1	-0.4	-2.6	2.2	-8.7	8.3
0.60	0.8	-0.7	-0.8	1.3	-7.4	7.6

CAPITULO 1. GENERALIDADES

1.1. UBICACION Y PROCESO PRODUCTIVO

La mina Cuajone está ubicada a 3500 m.s.n.m., a 30 Km al NE de Moquegua en la antigua quebrada Chuntacala, la cual expuso a superficie el depósito, adyacente al empinado Valle de Torata de orientación NE-SO.

El minado en Cuajone esta basado en el método de explotación a tajo abierto, con bancos de 15 metros de altura, minandose alrededor de 140,000 Tcs de material por día, con una relación de desmonte a mineral de 1:1. La concentradora trata diariamente un promedio de 59,300 Tcs de mineral.

La perforación se realiza con los siguientes equipos: 4 perforadoras rotativas 60R y 45R que usan brocas tricónicas de 12¼ y 9 7/8 pulgadas de diametro respectivamente. Se emplea como explosivo el ANFO; en zonas húmedas se emplea slurrex. El carguío es realizado con 6 palas eléctricas P & H 2100 de 15 Yards cúbicas; el acarreo se realiza con volquetes WABCO de 120 Tcs y el transporte de mina a concentradora es realizado con 10 trenes de 11 carros cada uno y 85 tcs cada carro.

1.2. GEOLOGIA DE LA MINA

1.2.1. Litología

Una intensa alteración hidrotermal ha destruido parcial y totalmente la textura original de la roca y la agrupación mineralógica en las rocas pre-mineral é intrusivas de Cuajone.

1.2.1.1. Volcánicos pre-mineral

Las rocas antiguas de la mina son los miembros inferiores de los volcánicos del grupo Toquepala: la andesita basáltica y la riolita porfirítica. Previamente se reconoció un tercer flujo entre los volcánicos pre-mineral de Cuajone, intermedio tanto en posición como en composición a la andesita basáltica básica y a la riolita porfirítica acídica, esta es la "Andesita Cocotea".

En la andesita basáltica se encuentra algo de textura porfirítica remanente, en forma de manchitas anhedrales muy finas y también se puede encontrar ocasionalmente minerales corroídos (probablemente piroxenos), aunque la alteración es generalmente total.

El flujo de riolita porfirítica está concordante encima del basalto, con un buzamiento muy leve. El espesor de la riolita es hasta 250 m; el fondo del basalto no ha sido encontrado en ningún afloramiento ni taladro de perforación.

La riolita tiene una textura porfirítica muy marcada, con abundantes fenocristales de cuarzo de un tamaño de 2 mm. en una matriz afanítica.

1.2.1.2. Complejo intrusivo

El principal cuerpo intrusivo de Cuajone es un stock de latita porfirítica, que ocupa actualmente en la mina un afloramiento nor-central que tiene una extensión de 800 m (NO-SE). A medida que progresa el minado y los cuerpos laterales de andesitas son removidos, este stock dominará la geología de la mina.

En la zona del tajo y estrictamente hablando, es un pórfido de latita cuarcífera, con cuarzo libre sub-redondeado de 2 à 4 mm de diámetro.

1.2.1.3. Volcánicos Post-mineral

En Cuajone se reconocen dos secuencias piroclásticas principales; separadas por la antigua quebrada Chuntacala, y actualmente por la mina. Estas consisten en los volcánicos Huaylillas y Chuntacala de los lados Sur y Norte de la mina, respectivamente.

El principal constituyente del Huaylillas en Cuajone es la traquita bien silicificada, vesicular y con bandeamiento de flujo; presenta un espesor de 120 a 150 m. Los volcánicos Chuntacala son: una toba cristal de 65 m de espesor, que gradualmente se vuelve una toba blanca suave. Una gran discordancia ha sido rellenada por el aglomerado volcánico.

1.2.2. Mineralización

La zona de mineralización económica de Cuajone tiene un área de extensión máxima de 1200x950 m, alargada en el eje NO-SE en forma de embudo en profundidad y con paredes de buzamiento casi vertical.

Para el depósito en conjunto (previo al minado) el mineral se distribuye volumétricamente dentro de las rocas encajonadas de la siguiente manera: latita (50%), andesita basáltica (25%), andesita intrusiva (23%), riolita porfirítica (2%). La mineralización tiene típicamente forma regular, ley homogénea y mineralogía simple; sólo en la zona de brecha central (con sus inclusiones de latita estéril) representa desmonte interno.

1.2.2.1. Capa lixiviada

Igual que muchos pórfidos, se desarrolló una capa lixiviada sobre el depósito debido al cobre que entró en solución por medio de ácido sulfúrico de baja concentración generado por la reacción del agua de lluvia con la pirita. En la mina actualmente se puede apreciar claramente la capa lixiviada en la riolita porfirítica del sur, zona que presenta un espesor de 120 m desde el contacto del volcánico post-mineral hasta el tope de la zona mineralizada. En el norte hay muy poca capa lixiviada (15 m en el NE)

encontrándose óxidos directamente debajo de los volcánicos post-mineral.

La mineralogía de la capa lixiviada consiste principalmente de óxidos de Fe (limonitas, hematitas).

1.2.2.2. Oxidos

La zona de óxidos se formó por medio de aguas subterráneas con Cu. en solución que percolaron hacia abajo y encontraron condiciones diferentes de PH, produciéndose así la precipitación del Cu. en óxidos, hidróxidos, carbonatos y silicatos; se encuentran óxidos en la zona norte de la mina, con un espesor promedio de 15 m (NE).

La mineralogía de la zona de óxidos consiste en crisocola, malaquita, chalcantita, además cobre nativo, cuprita y tenorita.

1.2.2.3. Zona enriquecida

La zona enriquecida esta definida mineralógicamente por la predominancia de sulfuros secundarios sobre otro tipo de mineralización económica, la cual se refleja por una rápida disminución en las leyes de cobre debajo de esta capa casi horizontal que promedia un espesor de 20 m. Esta zona está ya casi totalmente minada.

La mineralogía está dominada por chalcosita, con algo de bornita, digenita y covelita.

1.2.2.4. Zona de transición

Esta dominada por una agrupación mineral "transicional" entre el enriquecimiento real y la zona primaria propiamente dicha. Consiste en chalcopirita en venas y diseminada, con chalcosita en forma de hollín en las fracturas.

1.2.2.5. Zona primaria

Esta constituirá eventualmente la mineralogía dominante. Es simplemente pirita-chalcopirita con algo de bornita y enargita en venillas ó finamente diseminadas dentro del stock principal de latita porfirítica. La proporción pirita : chalcopirita para la zona central son bajas dentro del rango

1:1 a 2:1, aumentando hacia la perifería en donde son de hasta 15:1. Dentro de la zona de brecha más profunda se pueden encontrar trazas de enargita, tetrahedrita, esfalerita y galena.

CAPITULO 2. BREVE DESCRIPCION DE LOS METODOS DE ESTIMACION DE RESERVAS

Existen varios métodos de estimación de reservas, por la definición de su técnica de estimación pueden ser clasificados en dos grupos:

2.1. METODOS GEOMETRICOS

Estos métodos son usados por la facilidad de su cálculo manual, pero con el advenimiento de las computadoras están siendo reemplazadas por los métodos pertenecientes al siguiente grupo. Pertenecen a este grupo el método poligonal, triangular y el de secciones transversales. Básicamente la técnica de estimación consiste en asignar la ley de un taladro diamantino a un volumen determinado.

2.2. METODOS DE PROMEDIOS PONDERADOS POR LA DISTANCIA

En auge actualmente por ser mecanizables para su cálculo con computadoras. Pertenecen a este grupo el método del inverso de la potencia enésima de la distancia y el método geoestadístico (krigeage). La técnica de estos métodos consiste en asignar ley a un bloque ó punto, haciendo intervenir leyes de taladros diamantinos que se encuentren ubicados en un determinado radio de influencia.

CAPITULO 3. ESTIMACION DE RESERVAS POR EL METODO POLIGONAL

Como su nombre lo indica este método está basado en la ley representativa que poseen los polígonos.

Los polígonos se generan trazando mediatrices entre taladros diamantinos, de tal manera que los lados de un polígono son las mediatrices levantadas y los vértices son las intersecciones de estas mediatrices; de no tener taladros circundantes se considera un radio de influencia de 200 pies (ver figura adjunta).

En la figura tenemos 10 taladros diamantinos con sus respectivas leyes, veamos como se ha generado el polígono número 6.

Se trazan las mediatrices:

L1 entre taladro número 2 y taladro número 6

L2 " " " 3 y " " 6

L3 " " " 4 y " " 6

L4 " " " 7 y " " 6

L5 " " " 10 y " " 6

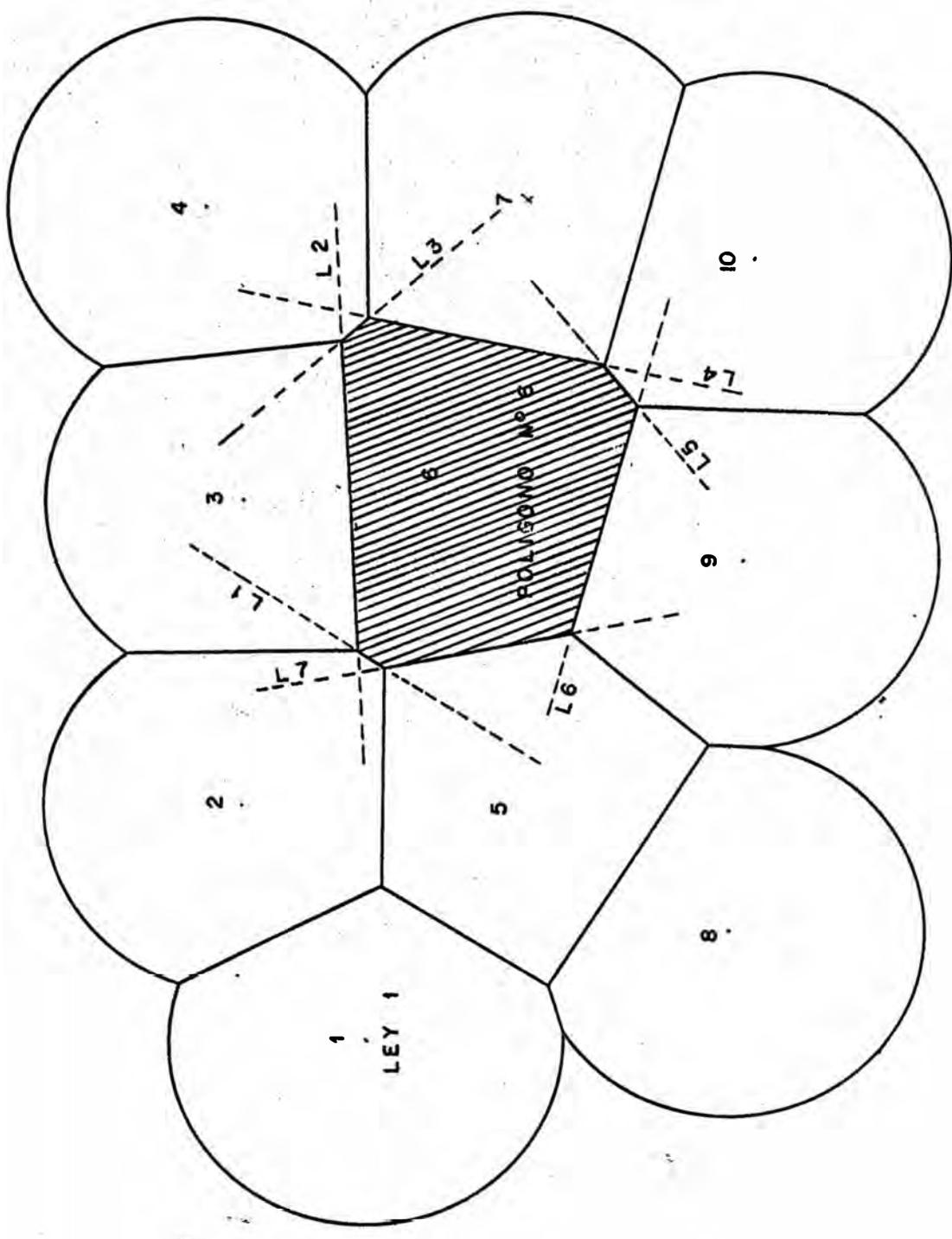
L6 " " " 9 y " " 6

L7 " " " 5 y " " 6

La intersección de estas mediatrices genera el polígono número 6.

Las reservas son calculadas, midiendo el área de cada polígono (usualmente con planímetro) y multiplicando el área por el factor de tonelaje: 109357 a escala 1:2000. La ley de la reserva se obtiene ponderando las áreas y leyes de todos los polígonos.

GENERACION DE POLIGONOS



1, 2, 3 10 PERFORACIONES DIAMANTINAS
L1, L2 L7 MEDIANAS

CAPITULO 4. INFORMACION DISPONIBLE: METODO DEL INVERSO DE LA POTENCIA ENESIMA DE LA DISTANCIA Y METODO GEOESTADISTICO

4.1. INFORMACION DISPONIBLE

Para el caso del método del inverso de la potencia enésima de la distancia y el método geoestadístico el estudio ha sido realizado sólo para ley de cobre.

La ley de cobre del taladro diamantino en cada nivel ha sido obtenido por dos métodos:

i.- Promedio ponderado

El promedio ponderado de ensayos individuales obtenidos de muestras a lo largo de los 15 metros correspondientes al banco. Por ejemplo la ley del nivel 3310 será igual a:

$$(3*1.150 + 6*1.050 + 6*1.000)/15 = 1.050$$

Ley		nivel 3325
1.15	3m	
1.05	6m	
1.00	6m	
		nivel 3310

ii.- Muestreo por banco

Obteniendo una sola muestra a lo largo de los 15 m por lo tanto un sólo ensaye.

-De las cinco campañas de perforación diamantina realizadas, en las cuatro primeras campañas la ley de cobre ha sido obtenida por el primer método y en la última campaña con el segundo método.

Consideraciones

Es frecuente encontrar en los archivos originales de taladros diamantinos ley de cobre total denominado como "waste", que ha sido considerado como cero.

La información que aparece como "trace" por razones prácticas ha tenido la misma consideración que el "waste", ya que sólo en un taladro se dispone de esta información.

4.2. ASIGNAMIENTO GEOLOGICO A TALADROS DIAMANTINOS Y BLOQUES REALES

Para la aplicación de la restricción geológica para el método del inverso de la potencia enésima de la distancia y el concepto de la variable regionalizada en el caso geoestadístico es necesario la asignación de códigos a las leyes de los taladros diamantinos de acuerdo a la zona geológica en que se encuentren.

Para el cálculo estadístico de bloques reales por zona geológica también es necesario la aplicación de códigos a la ley de los bloques, de acuerdo a la ubicación de estos.

Las zonas geológicas que se han considerado en el estudio y que tienen influencia sobre la ley son:

	Código
Por litología:	
i.- Volcánicos post-mineral	4
ii.- Brecha	1
Por tipo de mineralización:	
iii.- Oxidos	3
iv.- Zona enriquecida	2
v.- Zona transicional y/o primario	0

De las cinco zonas geológicas enumeradas, la zona de volcánicos post-mineral, oxidos y zona enriquecida ya están casi totalmente minadas por lo que tienen más importancia la zona transicional y/o primario (llameremos primario en adelante).

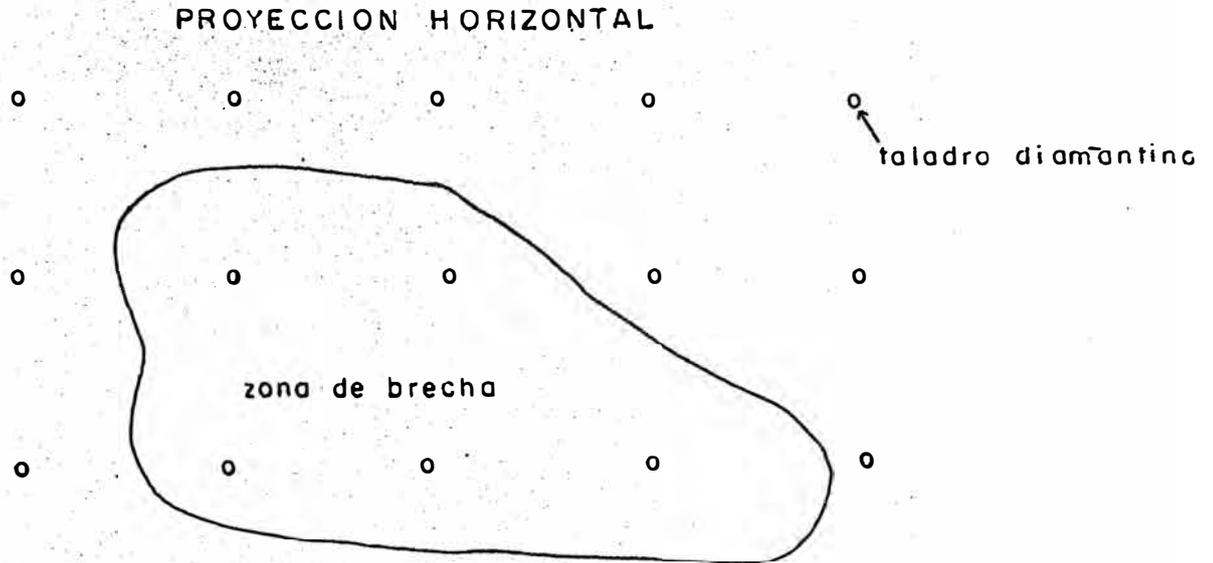
Se tiene delimitado por coordenadas las cuatro primeras zonas geológicas, desde el nivel 2950 hasta el nivel 3520, asumiendo transicional y/o primario lo restante.

En el prisma 400x400x75 el volumen por zona geológica está repartido aproximadamente así:

Primario	70 %
Brecha	16 %
Enriquecido	14 %

i.- Asignamiento geológico a taladros diamantinos

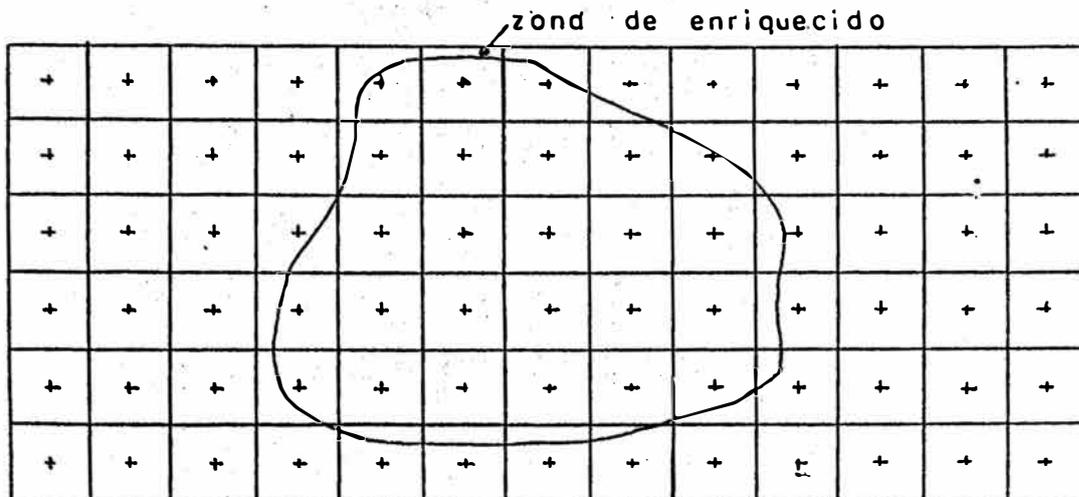
Se asigna códigos geológicos a las leyes por nivel, graficamente se representa así:



Las leyes 7, 8, 12, 13 y 14 tendrán el código 1

ii.- Asignamiento geológico a bloques

Se asigna códigos geológicos a la ley de bloques por nivel, considerando como ubicación del bloque el centro de la base de este.



Los bloques cuyo centro estén dentro de la zona geológica tendrán como código 2.

CAPITULO 5. ESTIMACION DE LEY DE COBRE POR EL INVERSO DE LA POTENCIA ENESIMA DE LA DISTANCIA

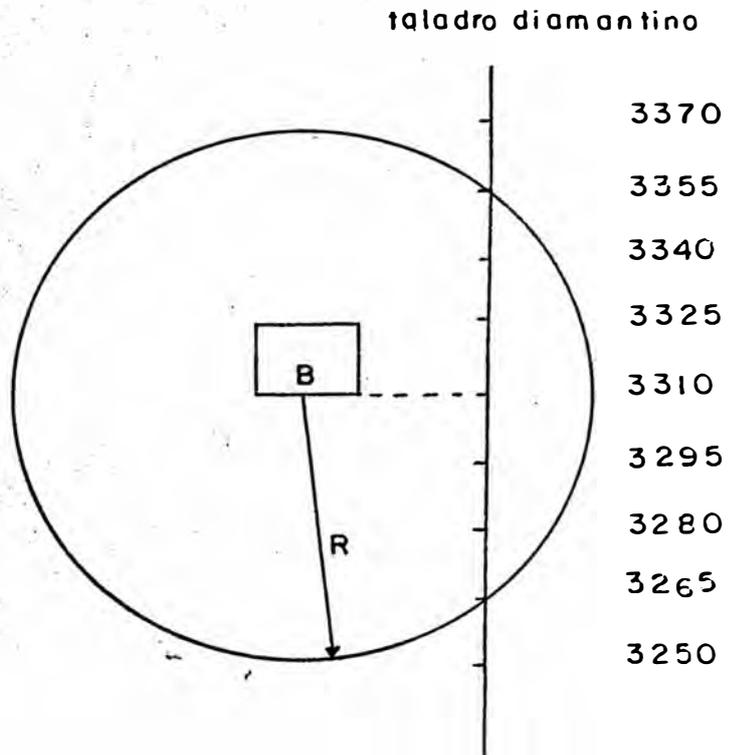
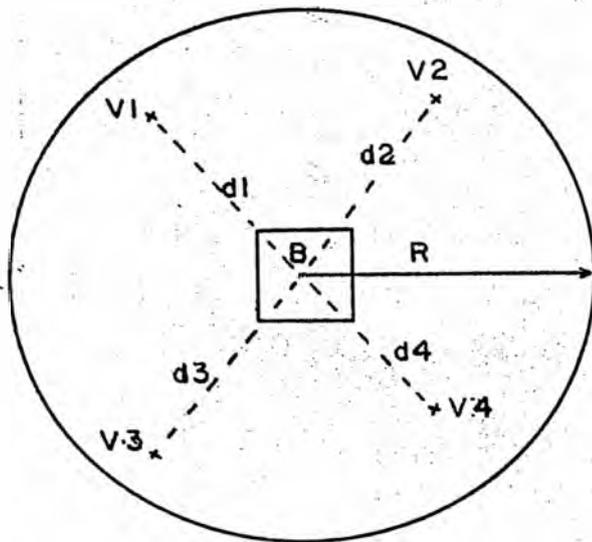
Este método aplicado para asignar leyes a bloques cuadrados de 15 metros de altura, se basa en que una ley de taladro diamantino que interviene en el asignamiento de ley de un bloque, tendrá mayor o menor influencia de acuerdo a la distancia a que se encuentre ubicado del bloque.

Se asigna ley a un bloque aplicando la siguiente fórmula:

$$B = \frac{\frac{V1}{m} + \frac{V2}{m} + \frac{V3}{m} + \frac{V4}{m}}{\frac{1}{d1} + \frac{1}{d2} + \frac{1}{d3} + \frac{1}{d4}}$$

Proyección horizontal

Vista de perfil



Donde:

- R = radio de influencia
- V_i = ley de taladros diamantinos
- d_i = distancia del taladro i al centro del bloque
= exponente de la distancia
- B = ley asignada del bloque

5.1. METODOLOGIA DE LA ESTIMACION

5.1.1. Parámetros utilizados

La aplicación de la fórmula anteriormente descrita está restringida por los siguientes parámetros:

A.- RADIO ESFERICO DE INFLUENCIA

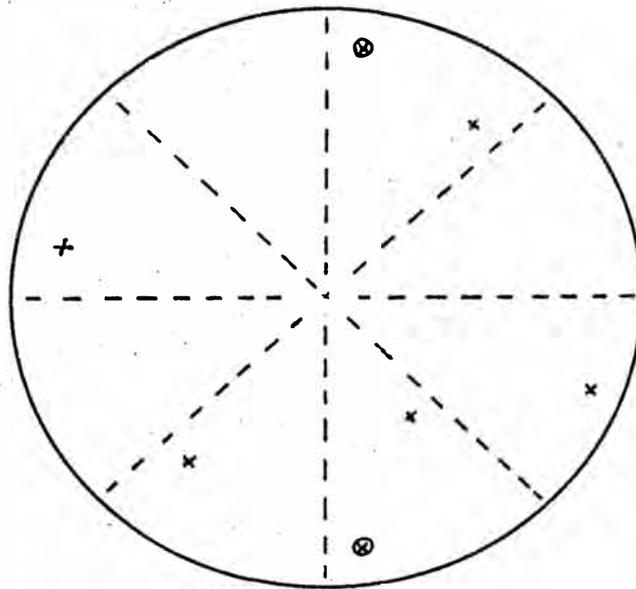
Es la distancia límite hasta la cual se pueden hacer intervenir leyes de taladros diamantinos en el asignamiento de ley a bloques.

En Toquepala se realizó un estudio similar, donde se examinaron radios desde 60 hasta 180 m, del que se obtuvo un radio óptimo de 80 m. En Cuajone por tratarse de un yacimiento tipo pórfido como Toquepala se decidió emplear un radio esférico de 80 m.

B.- RESTRICCIÓN ANGULAR

Se ha aplicado una restricción angular de 45 grados en la horizontal, esto consiste en que si dos o más taladros diamantinos caen dentro de un sector circular de 45 grados en un nivel sólo se considera para el asignamiento de ley de un bloque el que este más cercano al centro del bloque. Ver figura:

Proyección horizontal

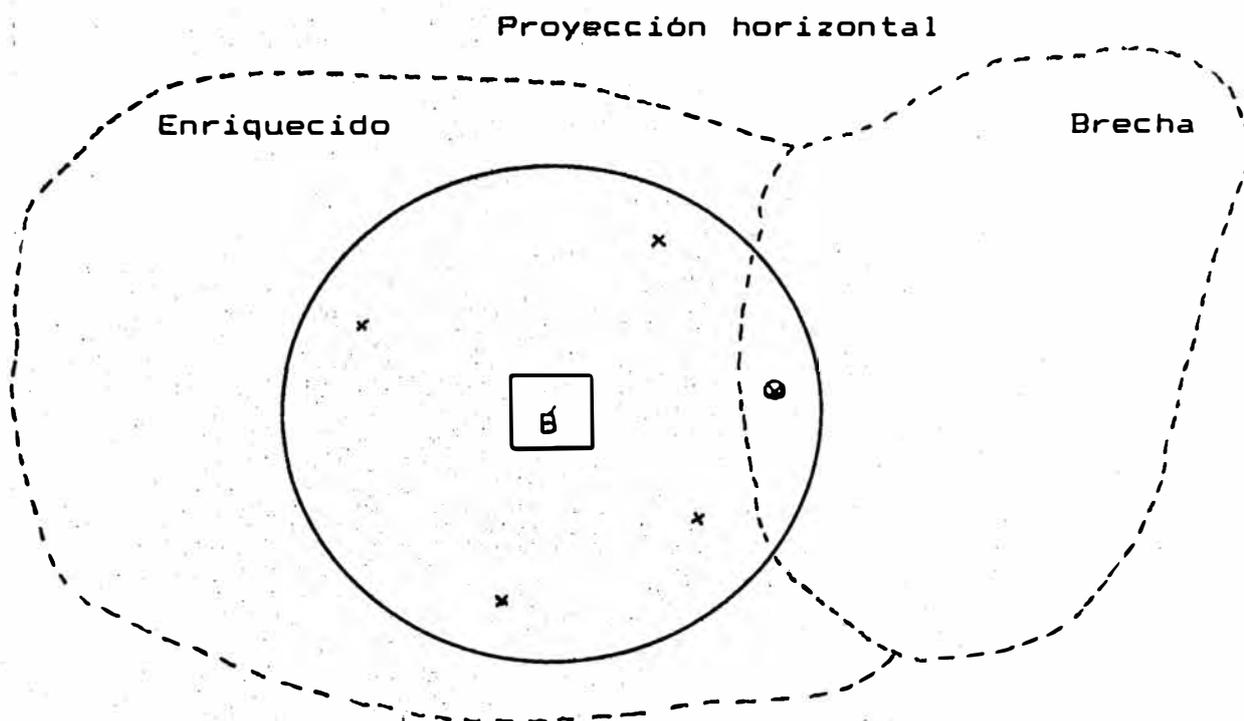


⊗ no interviene en el cálculo

El objeto de esta restricción es para que intervengan los taladros diamantinos con cierta uniformidad y no hacer intervenir taladros excesivamente en una sola dirección.

C.- RESTRICCIÓN GEOLOGICA

Consiste en hacer intervenir leyes de taladros diamantinos que poseen el mismo tipo de mineralización y/o litología (zonas geológicas) que el bloque a asignarse ley.



⊙ no intervendrá en el asignamiento de ley al bloque B

En la población de análisis sólo se consideró restricción geológica para brecha y zona primaria, debido a que en esta población estas dos zonas geológicas son las que predominan.

5.1.2. Criterio para la obtención de exponente óptimo de la distancia: varianza mínima de error

En el área de análisis se ha calculado ley de bloques con diferentes exponentes para la distancia y también haciendo variar el tamaño del bloque (20x20 y 25x25). Esta ley de bloques calculada con diferentes exponentes para la distancia se compara con la ley real del bloque que es el promedio aritmético de los blast holes que están ubicados en un bloque, con la siguiente fórmula:

$$S = \frac{\sum (v_i^* - v_i)^2}{N}$$

Donde: S = varianza de error promedio por bloque
 V_i^* = ley estimada del bloque i
 V_i = ley real del bloque i
 N = número de bloques

La sumatoria, de todos los errores $(V^* - V)$ elevado al cuadrado, de la población de análisis nos da un error acumulado. Para un exponente dado y aplicando los parámetros anteriormente explicados tendremos un error acumulado mínimo.

5.1.3. Comparación de resultados

En la población de análisis se realizó primero una comparación de bloques 20x20 del método propuesto sin restricción geológica con los bloques reales y posteriormente se hizo la comparación con restricción geológica para bloques 20x20 y 25x25. Veamos los resultados:

5.1.3.1. Sin restricción geológica

Radio esférico de influencia = 80 metros

Restricción angular = 45 grados

Exponente óptimo de la distancia = 2.4

Tabla número 1.- Varianza mínima de error

Dimensión bloque	Número Blqs. comparados	Varianza de error	Desviación estandar
20x20	1986	0.161	0.4013

Tabla número 2.- Tonelajes y leyes

cut-off = 0.55 %

Tipo de bloque	Tons. mineral	%Cu	Porcentaje de error	
			Tons	Ley
Real 20x20	28 357 350	1.151	--	--
I.D. 20x20	29 255 700	1.120	3.2	-2.7

cut-off = 0.45 %

Real 20x20	29 611 650	1.123	--	--
I.D. 20x20	31 069 890	1.083	4.9	-3.6

I.D. = inverso de la distancia

Porcentaje de error $\frac{(\text{ley asignada} - \text{ley real}) * 100}{\text{ley real}}$

5.1.3.2. Con restricción geológica

Radio esférico de influencia = 80 m

Restricción angular = 45 grados

Exponente óptimo de la distancia = 1.8 para bloques 20x20 y 25x25

Tabla número 3.- Varianza mínima de error

Dimensión bloques	Número Blqs. comparados	Varianza de error	Desviación estandar
20x20	1974	0.147	0.383
25x25	1263	0.132	0.363

Tabla número 4.- Tonelajes y leyes

Cut-off= 0.55 %

Tipo de bloque	Tons. mineral	% Cu	Porcentaje de error		
			Tons	Ley	
Real	20x20	28 357 350	1.151	--	--
	25x25	28 735 546	1.138	--	--
I.D.	20x20	28 425 250	1.162	0.2	1.0
	25x25	28 417 736	1.164	-1.1	2.3

Cut-off= 0.45 %

Real	20x20	29 611 650	1.123	--	--
	25x25	29 847 890	1.114	--	--
I.D.	20x20	29 764 200	1.132	0.5	0.8
	25x25	29 715 470	1.134	-0.4	1.8

5.1.4. Análisis de resultados

5.1.4.2. Restricción geológica

Comparando los bloques 20x20 por el método propuesto con restricción geológica y sin restricción geológica; es notorio el efecto de la aplicación de la restricción geológica en el asignamiento de ley a bloques tanto a nivel de la varianza de error: 0.161 sin restricción geológica y 0.147 con restricción geológica, como en porcentaje de error de tonelajes y leyes para cut-off 0.55 % y 0.45 %.

5.1.4.2. Dimensión de bloques

Para el asignamiento de ley a bloques con restricción geológica se calculó leyes para bloques 25x25 además de 20x20.

Se obtuvo para bloques 25x25 una menor varianza de error que los bloques 20x20, pero sin embargo sucede lo contrario en el porcentaje de error de tonelaje y leyes de mineral para ambos cut-off: 0.55 y 0.45, es decir con bloques 20x20 obtenemos una mejor aproximación al tonelaje real.

Tiene más importancia la mejor aproximación del tonelaje y ley porque esto significa un mejor asignamiento global de ley a los bloques 20x20. La mayor varianza obtenida para los bloques 20x20 se explica por la mayor variabilidad de leyes en bloques de menor dimensión.

5.2. DETERMINACION DE EXPONENTES OPTIMOS DE LA DISTANCIA POR ZONAS GEOLOGICAS

En lo que viene a ser una ampliación de la población de análisis: volumen minado desde el inicio de las operaciones hasta Junio de 1987 y en el que se dispone de leyes de bloques reales. Se realizó una comparación de bloques asignados con bloques reales para con el criterio de la varianza mínima determinar los exponentes óptimos de la distancia para bloques 20x20, para cada zona geológica. Los resultados son:

Zona geológica	Nº Blqs. analizados	Niveles	Var estimac	Exponente óptimo
Brecha	529	3295 a 3490	0.0660	1.0
Enriquecido	1899	3430 a 3475	0.3664	1.0
Oxido	1089	3460 a 3520	0.7869	1.0
Post-mineral	71	3475 a 3520	0.6644	0.0
Primario-trans	7564	3295 a 3460	0.1327	1.8

Obtenemos para la zona primaria y/o transicional el mismo exponente que para la población anterior y una menor desviación standar, lo que le da más solidez al presente estudio.

Ver figuras de Nº 1 a Nº 5.

CAPITULO 6. ESTIMACION DE LEY DE COBRE POR EL METODO GEOESTADISTICO

Cualquier fenómeno cuantificable puede ser caracterizado por ciertas magnitudes ó variables, que fluctúan en el espacio ó tiempo. A estas variables se da el nombre de variables regionalizadas y presenta dos características esenciales:

1.- Una gran irregularidad local: una curva de leyes presenta, por ejemplo, numerosas fluctuaciones.

2.- Una cierta estructuración a escala más grande: en casi todos los yacimientos se pueden distinguir zonas ricas y zonas pobres.

Uno de los métodos para el estudio de las variables regionalizadas postula la homogeneidad del fenómeno en el espacio y se formula en términos probabilísticos. Este concepto aplicamos para el estudio geoestadístico por zonas geológicas descritas anteriormente, que con el método del inverso de la distancia se utilizó el término "restricción geológica.

Esta parte del estudio consta básicamente de dos etapas:

1.- Cálculo estadístico de leyes: distribución de frecuencia, media y varianza de dispersión, y obtención de variogramas por zonas geológicas. Esta primera etapa del estudio geoestadístico tiene como objetivo determinar el comportamiento de la mineralización expresada en modelos matemáticos.

Para los taladros diamantinos, el cálculo estadístico y los variogramas se realizaron para la totalidad de leyes de que se dispone, de nivel 2950 a 3520. El cálculo estadístico para los bloques reales 20x20 se ha realizado con la segunda población de análisis.

2.- Asignamiento de leyes a bloques por la técnica del krigage, en función del comportamiento de la ley y parámetros que se obtengan de la primera etapa de este estudio.

El asignamiento de ley a bloques por la técnica del krigage se ha realizado al igual que el inverso de la distancia en el prisma de 400x400x75, para efectos de comparaciones con los bloques reales.

6.1. CALCULO ESTADISTICO: HISTOGRAMAS Y DETERMINACION DE ESTADIGRAFOS

Se realizó este cálculo para establecer las pautas del tratamiento posterior de la ley; después que se tenga asignados los bloques, se realizará comparaciones de distribuciones de frecuencia.

Se calculó distribuciones de frecuencia para 40 intervalos para cada una de las zonas geológicas, el resumen es el siguiente:

TALADROS DIAMANTINOS (ver Figs No 6 a No 9)

Tabla número 5.- Taladros diamantinos bloques 60x60

Zona geolog	No bloq	media	varianza	ley	min-max	comportam
Brecha (*)	249	0.379	0.0932	0.000	1.710	logarit
Brecha	225	0.420	0.0862	0.040	1.710	logarit
Enriquecido	164	1.285	0.9767	0.020	4.590	logarit
Primario	4006	0.729	0.1622	0.010	3.600	logarit

(*) = considerando ley cero

El enriquecido y la brecha muestran un comportamiento logarítmico por lo que se calculó distribuciones de frecuencia tomando el logaritmo neperiano (normalización) de las mismas leyes anteriores; para el caso de la brecha no se consideró ley cero, debido a que el logaritmo de cero es indefinido.

La zona de primario muestra una distribución bimodal (2 picos), que se debe posiblemente a la superposición de dos poblaciones: falta de precisión de asignamiento de códigos geológicos a los bloques. Exceptuando el rango del histograma

que forma el primer pico, tendremos un comportamiento que se aproxima al logarítmico. Para esta zona también se calculó distribución de frecuencia tomando logaritmo neperiano de leyes. Los nuevos histogramas muestran un comportamiento aproximadamente normal (ver Figs N^o 10 a N^o 12).

MALLA REAL - BLOQUES 20x20 (ver Figs N^o 13 a N^o 15)

Tabla número 6.- Malla real - bloques 20x20

Zona geolog	N ^o bloq	media	varianza	ley	min-máx	comportam
Brecha	648	0.476	0.1371	0.030	2.010	logarit
Enriquecido	2654	1.361	0.6181	0.043	4.782	normal
Primario	11597	0.905	0.2137	0.020	4.547	normal

6.2. VARIOGRAMAS

Se ha calculado variogramas con información de taladros diamantinos - bloques 60x60, para cuatro direcciones en la horizontal: Oeste - este (O-E), Sur - Norte (S-N), Suroeste - Noreste (SO-NE) y Noroeste - Sureste (NO-SE), haciendo variar la distancia de 60 en 60 metros.

El variograma vertical se ha calculado con incrementos de 15 en 15 metros.

En la zona de enriquecido y brecha se dispone de poca información debido a la poca extensión de estas zonas; sólo se ha obtenido variogramas en algunas direcciones.

El siguiente es el resumen de los parámetros obtenidos de los gráficos de variograma (Figs No 16 a No 20):

Tabla número 7.- Variogramas

Zona geológ		horizontal				vertical
		O-E	S-N	SO-NE	NO-SE	
Brecha	alcance	--	--	--	--	82
	efec pepita	--	--	--	--	0.0223
	meseta	--	--	--	--	0.0451
Enriquec	alcance	256	--	--	--	--
	efec pepita	0.250	--	--	--	--
	meseta	1.000	--	--	--	--
Primario	alcance	200	170	200	225	75
	efec pepita	0.043	0.057	0.0578	0.043	0.0126
	meseta	0.107	0.0634	0.0825	0.084	0.0840

El alcance está expresado en metros.

6.2.1. Análisis de variogramas

Brecha

Variograma vertical.- Hay buena correlación de leyes hasta 82 m, con una estacionariedad después de esta distancia.

Enriquecido

Variograma horizontal.- Sólo se obtuvo variograma en una dirección (O-E), con una correlación de leyes hasta 256 m; después de esta distancia el variograma disminuye notoriamente debido a la poca precisión del asignamiento geológico, ya que estas distancias corresponden a las proximidades del contacto del enriquecido con otras zonas geológicas.

Variograma vertical.- Los datos sólo permiten cálculos hasta una distancia de 45 m, no obteniendo un modelo de variograma definido.

Primario

Variograma horizontal.- Buena correlación de leyes hasta las distancias que se indican en la tabla anterior y buena estacionariedad en las cuatro direcciones. Se puede afirmar que existe un comportamiento isotrópico de leyes en las cuatro direcciones.

Variograma vertical.- Buena correlación de leyes. Después se observa fuerte diferencia entre una y otra distancia, que indica el empobrecimiento de leyes según profundiza el yacimiento.

6.2.2. Obtención de modelo tridimensional

Para la posterior aplicación del kriging es necesario la obtención de un modelo que represente el variograma en las tres direcciones. En los gráficos se observa que los variogramas siguen aproximadamente el comportamiento del modelo esférico, es decir:

$$\gamma(h) = \begin{cases} C1 * (3/2 * (h/a) - 1/2 * (h/a)^3) & \forall h \leq a \\ C1 & \forall h > a \end{cases}$$

Brecha

Supondremos el variograma vertical como tridimensional.

Enriquecido

Para esta zona supondremos el variograma Oeste - este como tridimensional con un alcance de 45 m en la vertical, ya que este es el espesor máximo en esta zona. Entonces supondremos como anisotropía geométrica, con un factor de anisotropía de:

$$256/45 = 5.69$$

Primario

Obtenemos un variograma horizontal teórico en base al promedio de los variogramas en las cuatro direcciones, donde se tiene un comportamiento casi isotrópico. El promedio es:

Alcance (a) = 199 m

Efecto pepita (C0) = 0.0502

Meseta (C1) = 0.0842

En la dirección vertical tenemos:

Alcance = 75 m

Efecto pepita = 0.0126

Meseta = 0.0840

Entonces estamos en el caso de una anisotropía geométrica: igual meseta, pero diferente alcance, con un factor de anisotropía de:

$$199/75 = 2.65$$

Ver figura No 21 relación de variograma horizontal y vertical.

6.3. APLICACION DE LA TECNICA DEL KRIGEAGE

6.3.1. Diferencia entre el método inverso de la potencia enésima de la distancia y geoestadístico (krigeage)

Se ha demostrado, tanto en la teoría como en la aplicación práctica, que el método geoestadístico es el que mejor estima las reservas.

En el primer método se asigna al panel un área de influencia arbitraria, mientras que en el geoestadístico tal área está determinada por el alcance del variograma.

En ambos casos la forma de los paneles o bloques depende de la geometría del depósito, siendo por lo general paralelepípedos. La diferencia más acentuada entre ambos métodos es en la técnica de estimación. Si bien ambos emplean estimadores lineales de forma:

$$Z = \sum_{i=1}^n \lambda_i z_i \quad (I)$$

donde:

Z^* = ley asignada

Z_i = ley de taladro diamantino

= ponderadores correspondiente a una ley de taladro diamantino

En el primer método el valor de los ponderadores es fijado arbitrariamente como el inverso de la potencia enésima de la distancia (cercano a dos) entre el bloque por estimar y la ubicación de la ley i del taladro. Mientras que en el método de krigeage cada valor de ponderador i se calcula de un sistema de ecuaciones denominado sistema de Matheron:

$$\lambda_1 \gamma(v_1, v_1) + \lambda_2 \gamma(v_1, v_2) + \dots + \lambda_n \gamma(v_1, v_n) + \mu = \gamma(v_1, V)$$

$$\lambda_1 \gamma(v_2, v_1) + \lambda_2 \gamma(v_2, v_2) + \dots + \lambda_n \gamma(v_2, v_n) + \mu = \gamma(v_2, V)$$

⋮

⋮

⋮

⋮

⋮

(II)

$$\lambda_1 \gamma(v_n, v_1) + \lambda_2 \gamma(v_n, v_2) + \dots + \lambda_n \gamma(v_n, v_n) + \mu = \gamma(v_n, V)$$

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = 1$$

donde:

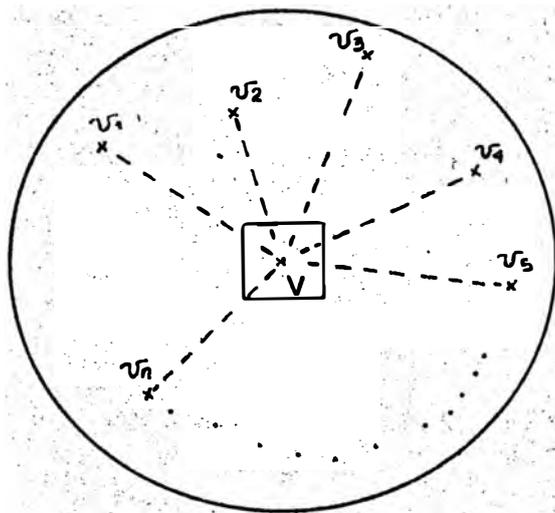
$$i, j = 1, 2, \dots, n$$

$\gamma(v_i, v_j)$ = es el valor promedio del variograma entre la muestra v_i y la muestra v_j

$\gamma(v_i, V)$ = es el valor promedio del variograma cuando v_i recorre el bloque V .

u = parametro de lagrange

Lo que se obtiene es un sistema de ecuaciones con $n+1$ ecuaciones y $n+1$ incognitas: los n ponderadores λ_i y el parametro de Lagrange u , que se resuelven para encontrar el valor de cada ponderador λ_i , estos son luego reemplazados en la ecuación (I) para encontrar el valor estimado Z^* de la ley.



V = bloque a ser asignado ley

Con la técnica del krigage se relaciona las leyes que intervienen en el asignamiento de ley a un bloque con lo que se elimina la restricción angular que se aplica en el caso del método del inverso de la distancia.

6.3.2. Krigage clásico

Resolviendo el sistema de ecuaciones (II) de la sección anterior se calcula el valor de los ponderadores de la ley de los taladros diamantinos; para resolver dicho sistema de ecuaciones se hicieron intervenir un determinado número de leyes, calculándose su varianza de estimación teórica, para bloques $20 \times 20 \times 15$ y $40 \times 40 \times 15$.

El kriging aplicado es del tipo puntual, en el que el centro de la base del bloque es considerado como un punto (ver sección 9.2.1, M. David).

La ley del bloque se determina reemplazando el valor de los ponderadores en la ecuación (I).

6.3.3. Kriging logaritmico

Resolviendo el sistema de ecuaciones y empleando los mismos criterios de la sección anterior se calcula los ponderadores de la ley. La ley asignada al bloque se determina por la siguiente fórmula:

$$z^* = e^{\sum_{i=1}^n \lambda_i * (\ln(z_i)) + \frac{1}{2} \sigma_k^2}$$

donde:

σ_k^2 = varianza de kriging

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^n \lambda_i * \gamma(v_i, v) - \gamma(v, v) - u \quad (III)$$

6.4. COMPARACION DE RESULTADOS

A continuación mostramos los resultados de esta parte del estudio geostatístico. Brevemente definiremos algunos conceptos:

Varianza de estimación :

$$1.- \text{ Teórica.} - \sigma_E^2 = 2 * \gamma(v, v) - \gamma(v, v) - \gamma(v, v)$$

2.- Experimental.- Es la diferencia elevado al cuadrado entre la ley verdadera y la ley asignada:

$$\sigma_E^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_i - Z_i^*)^2}{n}$$

Varianza de dispersión.- indica la variabilidad de los valores, un valor relativamente grande indica gran dispersión alrededor de la media. Esta expresada por:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_i - m)^2}{n}$$

m = media

6.4.1. Varianza de estimación teórica

Primero se calculó varianzas de estimación teórica para diferentes tamaños de bloques y número de muestras más cercanas al bloque que intervienen en el cálculo para asignar ley. Este cálculo se realizó en un volumen de 384,000 metros (nivel 3385) cúbicos, que para bloques de 20x20, significa el promedio de varianzas teóricas de 64 bloques.

La zona de primario fue la única zona geológica donde se realizó este cálculo, dado que es la zona que tiene más importancia económica en el yacimiento.

Tabla número 8.- Varianza de estimación teórica

Dimension de bloques	Número de muestras	Varianza estimación
20x20	30	0.0254
	35	0.0255
	40	0.0233
	50	0.0190
25x25	30	0.0273
	35	0.0250
	40	0.0228
	50	0.0186
40x40	30	0.0217
	35	0.0197
	40	0.0174
	50	0.0134

6.4.2. Media, varianza de estimación experimental, de dispersión y coeficiente de correlación

Se calculó leyes para bloques 20x20 y 40x40 en el prisma 400x400x75, con el krigage clásico y logarítmico, ya que las leyes de taladros diamantinos presentan este comportamiento, para las tres zonas geológicas que existen en dicho volumen. Para los bloques 20x20 sólo se calculó leyes haciendo intervenir las 30 primeras muestras más cercanas al bloque a asignarse ley, esto se realizó por el tiempo prohibitivo de cálculo que significa calcular leyes de bloques haciendo intervenir 35, 40 ó 50 muestras: 1'05", 1'30" y 2'30" respectivamente. Haciendo intervenir 30 muestras el tiempo de cálculo de ley por bloque es 45".

Para bloques 40x40 se calculó leyes haciendo intervenir 30 y 50 muestras, en base a que los indicadores para bloques 20x20: varianza de estimación experimental, estimador de la media y coeficiente de correlación (ver tablas No 9 y 10) así:

Brecha	krigeage clásico
Enriquecido	krigeage logarítmico
Primario	krigeage logarítmico

Comparando los bloques 40x40 entre el número de muestras que intervienen en el cálculo, vemos que la diferencia entre los indicadores es mínima, se puede afirmar que se obtienen los mismos resultados; que no concuerda con la varianza de estimación teórica donde la diferencia si es notoria.

Comparando los bloques 20x20 y 40x40, tenemos las siguientes diferencias:

BRECHA

Varianza de estimación experimental casi idéntica, mejor coeficiente de correlación para bloques 40x40, pero mejor estimador de la media para bloques 20x20.

Tabla número 9.- Cuadro comparativo de varianza de estimación experimental, varianza de dispersión, coeficiente de correlación en prisma 400x400x75

Zona geo	Método	Nº bloq	Ley media	V.E. exper	Var disp	Coef co
Brecha	KC n=30 20x20	304	0.377	0.0677	0.0446	0.8369
Enriquec	KC n=30 20x20	277	1.530	0.5215	0.3161	0.9282
Primario	KC n=30 20x20	1374	1.122	0.0873	0.0495	0.9654
Brecha	KL n=30 20x20	304	0.287	0.0851	0.0391	0.7912
Enriquec	KL n=30 20x20	277	1.664	0.3832	0.5019	0.9359
Primario	KL n=30 20x20	1331	1.090	0.0773	0.0418	0.9687
Enriquec	KL*n=30 20x20	277	1.325	--	0.3100	--
Primario	KL*n=30 20x20	1331	1.069	0.0705	0.0401	0.9687
Brecha	KC n=30 40x40	76	0.377	0.0733	0.0452	0.8558
Enriquec	KL n=30 40x40	69	1.599	0.2792	0.4493	0.9533
Primario	KL n=30 40x40	336	1.087	0.0546	0.0406	0.9770
Brecha	KC n=50 40x40	76	0.370	0.0733	0.0423	0.8558
Enriquec	KL n=50 40x40	69	1.598	0.2929	0.4587	0.9510
Primario	KL n=50 40x40	346	1.083	0.0555	0.0434	0.9762

KC = krigeage clásico KL = krigeage logarítmico n = número de muestras
 KL* = krigeage logarítmico sin adicionar varianza de krigeage

Tabla número 10.- Determinación de estimador de la media, para 95 % de probabilidad

Descripción del método	Ley media estimada			Ley media real 20x20			Ley media real 40x40		
	Brecha	Enriquec	Primario	Brecha	Enriq	Prima	Brecha	Enriq	Prima
KC n=30 20x20	0.376±0.024	1.530±0.066	1.122±0.012	0.400	1.581	1.059			
KL n=30 20x20	0.287±0.022	1.664±0.083	1.074±0.011	0.400	1.581	1.059			
KL*n=30 20x20		1.325±0.066	1.069±0.011	0.400	1.581	1.059			
KL n=30 40x40	0.377±0.048	1.599±0.159	1.087±0.022				0.453	1.585	1.036
KL n=50 40x40	0.370±0.047	1.598±0.161	1.083±0.023				0.453	1.585	1.036

KL* = krigeage logarítmico sin varianza de krigeage

ENRIQUECIDO

La varianza de estimación experimental y coeficiente de correlación son mejores para los bloques 40x40, pero sucede lo contrario con el estimador de la media.

PRIMARIO

La varianza de estimación experimental y coeficiente de correlación son mejores para los bloques 40x40, pero el estimador de la media favorece a los bloques 20x20.

En resumen, los bloques 20x20 es un mejor estimador de la media.

Los bloques 40x40 tienen mejor coeficiente de correlación y varianza de estimación experimental, esto se debe a que la ley de bloques reales muestran una menor variabilidad que los bloques 20x20.

El asignamiento de ley a bloques 40x40 y el posterior cálculo de los indicadores presentan otra desventaja, esto es el error por asignamiento de código geológico (a mayor dimensión de bloques mayor error) y se refleja comparando la ley media real 20x20 y 40x40, principalmente en el caso de la brecha y primario.

Posteriormente se calculó leyes para bloques 20x20 aplicando el kriging logarítmico, pero sin aumentarle la varianza de kriging (ver ecuación (III), sección 6.3.3), para las zonas de enriquecido y primario. Los indicadores para el primario mejoraron, no así para el enriquecido.

6.4.3. Porcentaje de error de tonelaje y ley

En la tabla número 11 se presentan los porcentajes de error de tonelajes y leyes para bloques 20x20 y 40x40, para cut-off de 0.40 a 0.60 en el mismo volumen donde se calcularon los indicadores (tabla N^o 9 y N^o 10). Esto se realizó con la intención de corroborar ó descartar lo que indican los

Tabla número 11.- Porcentaje de error de tonelaje y ley entre mallas asignadas y reales

Nivel 3385

cut-off	KC n=30 20x20		KL n=30 20x20		KL=P y E n=30 20x20		KC=B; KL=P(sin var) n=30		KL=P y E KC=B n=30 40x40		KL=P y E KC=B n=50 40x40	
	Tons	ley	Tons	ley	Tons	ley	Tons	ley	Tons	ley	Tons	ley
0.40	4.1	-1.3	1.2	-1.8	4.1	-3.2	4.1	-5.1	-0.2	-0.4	-0.2	-0.6
0.45	5.7	-2.2	1.8	-2.2	5.7	-4.1	5.7	-6.0	-1.3	0.3	-1.3	0.1
0.50	3.3	-1.1	1.5	-2.2	3.9	-3.3	3.3	-4.9	-0.2	-0.3	-0.2	-0.5
0.55	3.7	-1.3	1.5	-2.1	3.7	-3.3	3.4	-5.1	4.9	-2.7	4.9	-2.9
0.60	5.5	-2.0	2.2	-2.5	3.9	-3.4	3.2	-5.1	7.6	-3.9	7.6	-4.1

Nivel 3400

0.40	1.4	8.2	-2.3	6.4	-0.3	4.9	-0.3	2.9	-3.6	9.5	-4.7	8.4
0.45	2.0	7.8	-2.9	6.8	0.3	4.5	0.3	2.6	0.9	6.7	-1.4	6.3
0.50	1.2	8.4	-4.9	8.1	-0.6	5.1	-1.2	3.4	-2.6	8.8	-4.9	8.5
0.55	0.6	8.8	-3.9	7.6	-1.8	5.8	-2.1	3.9	0.9	7.2	-1.5	6.7
0.60	5.8	6.6	0.3	5.8	2.6	3.9	2.6	2.0	3.5	6.0	1.0	5.5

Nivel 3415

0.40	2.6	9.6	-1.2	7.7	1.4	5.9	1.4	4.0	-3.5	9.3	-4.6	9.8
0.45	3.2	9.3	0.0	7.0	2.0	5.5	1.7	3.7	-1.4	7.9	-2.5	8.6
0.50	3.5	9.2	-1.5	8.0	1.5	6.0	1.5	4.0	4.5	4.8	0.9	6.7
0.55	5.8	8.1	-2.1	8.5	2.4	5.4	2.4	3.5	0.9	6.7	-1.5	8.1
0.60	7.0	7.6	1.0	7.0	3.9	4.9	3.5	3.1	3.5	5.6	1.0	7.0

Nivel 3430

cut-off! KC n=30 20x20! KL n=30 20x20! KL=P y E KC=B! KL=P(sin var)! KL=P y E KC=B! KL=P y E KC=B

	! n=30 20x20 !		! n=30 20x20 !		! KL=E KC=B n=30 !		! n=30 40x40 !		! n=50 40x40			
	Tons	ley	Tons	ley	Tons	ley	Tons	ley	Tons	ley		
0.40	-5.9	9.1	-6.8	3.8	-6.2	5.5	-6.2	3.8	-8.5	9.2	-8.5	6.3
0.45	-5.0	8.3	-4.7	2.4	-5.2	4.9	-5.2	3.2	-6.5	7.8	-7.6	5.7
0.50	-3.1	7.2	-4.0	2.0	-3.7	3.9	-3.7	2.1	-5.5	6.5	-6.6	5.1
0.55	-1.2	6.1	-2.3	1.1	-2.0	3.1	-2.0	1.3	-6.6	7.3	-7.7	5.7
0.60	-2.1	6.6	-1.8	0.8	-3.0	3.5	-3.0	1.7	-7.9	8.0	-9.0	6.5

Nivel 3445

0.40	0.5	-6.7	-4.1	0.2	0.5	-4.1	0.5	-4.4	-5.5	-0.3	-5.5	-1.2
0.45	-0.8	-5.8	-4.4	0.5	-1.4	-2.8	-1.4	-3.1	-4.5	-1.1	-4.5	-1.8
0.50	-0.9	-5.8	-3.7	-0.1	-1.7	-2.6	-1.7	-2.9	-4.7	-0.9	-4.7	-1.7
0.55	0.0	-6.4	-2.9	-0.7	-1.1	-3.0	-1.1	-3.3	-3.6	-1.7	-3.6	-2.4
0.60	-1.4	-5.6	-3.8	-0.1	-2.0	-2.5	-2.0	-2.8	-4.8	-0.9	-4.8	-1.8

Del nivel 3385 al 3445

0.40	0.4	2.8	-2.7	2.8	-0.2	1.3	-0.2	-0.2	-4.3	4.5	-4.7	3.8
0.45	0.9	2.4	-2.1	2.4	0.2	1.0	0.1	-0.4	-2.6	3.6	-3.5	3.1
0.50	0.8	2.6	-2.6	2.6	-0.2	1.1	-0.4	-0.2	-1.8	3.0	-3.2	2.8
0.55	1.7	2.0	-2.0	2.3	0.2	1.0	0.1	-0.4	-0.9	2.6	-2.1	2.3
0.60	2.8	1.5	-0.5	1.6	0.9	0.7	0.8	-0.7	0.0	2.1	-1.2	1.8

Las comparaciones se realizan para idénticos tamaños de bloques

indicadores mostrados anteriormente.

Para los bloques 20x20 se realizaron cuatro tipos de cálculo haciendo intervenir 30 muestras, en que varía el tipo de kriging por zona geológica. Esto es:

Primera columna las tres zonas geológicas, leyes calculadas con kriging clásico.

Segunda columna las tres zonas geológicas, leyes calculadas con kriging logarítmico.

Tercera columna enriquecido y primario, leyes calculadas con kriging logarítmico; brecha, calculada con kriging clásico.

Cuarta columna enriquecido calculado con kriging logarítmico, primario con kriging logarítmico pero sin adicionarle la varianza de kriging; brecha calculada con kriging clásico.

Para los bloques 40x40, se realizaron dos cálculos:

Quinta columna, idéntico a la tercera columna de bloques 20x20.

Sexta columna, similar a la anterior, pero haciendo intervenir 50 muestras.

De la tabla No 11, para los bloques 20x20, los porcentajes de la segunda y tercera columna no tienen mucha diferencia; esto se explica por el rango del cut-off (0.40 a 0.60) para el que se muestra estos porcentajes y la diferencia entre uno y otro cálculo sólo es por la brecha: kriging logarítmico y kriging clásico para la segunda y tercera columna respectivamente (también la cuarta columna).

La diferencia entre la tercera y cuarta columna (menor porcentaje de error en ley) es por el primario calculado sin adicionarle la varianza de kriging, donde es evidente los mejores resultados de la cuarta columna.

La diferencia entre la quinta y sexta columna tampoco es notoria, en algunos casos el porcentaje del tonelaje se repite. De esto podemos decir que la ley es menor cuando intervienen más muestras en el asignamiento de ley a bloques.

6.4.4. Curvas de tonelaje y ley media versus ley de corte

En las figuras N^o 22 a N^o 31 se presenta graficamente la comparación de tonelaje y ley media por nivel para leyes de corte de 0.0 a 1.4 %, cada 0.05 %, obtenidos con la tercera y cuarta columna versus bloques reales 20x20.

En las curvas de tonelaje se observa que los tonelajes estimados se confunden de 0 a 1.0 %; para leyes de corte mayores de 1.0 % mejor se estima con la cuarta columna.

En las curvas de ley media más se aproxima a la curva real, la cuarta columna, a excepción del nivel 3445 donde las curvas de leyes medias estimadas se confunden, debido a que en este nivel el volumen de enriquecido es más del 75 % y no hay diferencia en el cálculo de ley para esta zona geológica entre la tercera y cuarta columna.

En conclusión aplicando el método geoestadístico se obtienen mejores resultados por zona geológica aplicando:

Brecha krigage clásico

Enriquecido krigage logarítmico

Primario krigage logarítmico sin adicionarle la varianza de krigage.

Dimensión de bloques: 20x20, haciendo intervenir las 30 muestras más cercanas.

CAPITULO 7. COMPARACION DE RESULTADOS ENTRE EL METODO GEOESTADISTICO, INVERSO DE LA POTENCIA ENESIMA DE LA DISTANCIA Y POLIGONAL CON DATOS REALES

En este capítulo resumiremos comparativamente los resultados que se obtienen con estos tres métodos: geoestadístico, inverso de la potencia enésima de la distancia y poligonal.

7.1. MEDIA, VARIANZA DE ESTIMACION, DE DISPERSION Y COEFICIENTE DE CORRELACION

Comparando los indicadores por zona geológica entre los tres métodos de estimación (ver tabla No 12 y 13 y figs No 32 a 40), tenemos lo siguiente:

BRECHA

Varianza de estimación y coeficiente de correlación es mejor para el método geoestadístico; con respecto al estimador de la media, también es el que mejor estima: 0.376 versus 0.400 de ley real. El inverso de la distancia tiene una media menor (0.368) y una dispersión similar al método geoestadístico. El método poligonal tiene una ley media igual al método geoestadístico, pero una mayor variabilidad de leyes alrededor de la media; lo que hace que el inverso de la distancia sea un mejor estimador de la media que el método poligonal.

ENRIQUECIDO

Varianza de estimación, coeficiente de correlación y estimador de la media mejor para el método geoestadístico, se aproxima bien a ley media real (1.664 versus 1.581). El inverso de la distancia tiene ley media (1.392) y dispersión menor que el método geoestadístico. El método poligonal tiene ley media (1.612) más aproximada a la real, pero con una gran variabilidad de leyes alrededor de la media. De esto podemos

Tabla número 12.- Cuadro comparativo de varianzas de estimación teórica y experimental, varianza de dispersión, coeficiente de correlación en prisma 400x400x75

Metódo	Zona geol	Ley media	V.E.exper	Var disp	Coef co
	Brecha	0.376	0.0677	0.0450	0.8369
Geoesta- dístico	Enriquecid	1.664	0.3832	0.5019	0.9359
	Primario	1.069	0.0705	0.0401	0.9687
	Total	1.046	0.1270	0.2362	0.9508
	Brecha	0.368	0.0713	0.0378	0.8268
Inverso de la distan- cia	Enriquecid	1.392	0.5214	0.3790	0.9088
	Primario	1.125	0.0851	0.0648	0.9674
	Total	1.054	0.1497	0.1914	0.9418
	Brecha	0.376	--	0.1243	--
Poligonal	Enriquecid	1.612	--	0.9974	--
	Primario	1.151	--	0.1444	--
	Total	1.110	--	0.3818	--

Tabla número 13.- Determinación de estimador de la media, para 95 % de probabilidad

Descripción: del método	Ley media estimada			Ley media real 20X20		
	Brecha	Enriquecido	Primario	Brecha	Enriquecido	Primario
Geoestadístico	0.376±0.024	1.664±0.083	1.069±0.011	0.400	1.581	1.059
	total	1.046±0.021			1.043	
Inverso de distancia	0.368±0.022	1.392±0.064	1.125±0.013	0.400	1.581	1.059
	total	1.054±0.019			1.043	
Poligonal	0.376±0.151	1.612±0.417	1.151±0.072	0.400	1.581	1.059
	total	1.110±0.099			1.043	

afirmar que el método poligonal estima mejor la media que el método inverso de la distancia.

PRIMARIO

Mejor varianza de estimación para el método geoestadístico, coeficiente de correlación casi iguales entre método geoestadístico e inverso de la distancia. Para los tres métodos se tiene una ley media mayor que la real, siendo el que mejor estima el método geoestadístico, siguiéndole el inverso de la distancia; la dispersión alrededor de la media para el método geoestadístico e inverso de la distancia es similar; el poligonal tiene una mayor variabilidad de leyes alrededor de la media.

Con estos resultados podemos afirmar que en el prisma tendremos leyes medias mayores que la ley media real aplicando diferentes leyes de corte, en el siguiente orden ascendente:

Geoestadístico

Inverso de la distancia

Poligonal

Con el tonelaje de mineral sucederá lo contrario, es decir obtendremos más tonelaje con el método geoestadístico. Lo mismo debe ocurrir al calcular tonelajes y leyes para la reserva de la mina; siempre estaremos sobre-estimando la ley y sub-estimando el tonelaje en mayor o menor grado en el orden señalado anteriormente. Por ejemplo para una de las alternativas de minado con el inverso de la distancia obtuvimos 35'000,000 tcs. de mineral más con respecto al método poligonal; con el método geoestadístico obtendremos aún más tonelaje de mineral para dicha alternativa.

7.2. PORCENTAJE DE ERROR DE TONELAJE Y LEY

En la tabla No 14 se muestran los porcentaje de error que resultan de comparar los tonelajes y leyes calculados con diferentes cut-off (de 0.40 a 0.60 %) nivel por nivel obtenidos con los tres métodos de estimación versus bloques

Tabla número 14.- Porcentaje de error de tonelaje y ley entre mallas asignadas y reales

Nivel 3385

cut-off: Geoestadistic Inverso de Dis: Poligonos

	Tons	ley	Tons	ley	Tons	ley
0.40	4.1	-5.1	3.2	1.5	-14.6	9.8
0.45	5.7	-6.0	2.4	2.0	-12.8	8.4
0.50	3.3	-4.9	-0.6	3.6	-13.5	9.0
0.55	3.4	-5.1	-2.2	4.5	-11.9	8.0
0.60	3.2	-5.1	-1.0	4.0	-10.1	7.2

Nivel 3400

0.40	-0.3	2.9	1.4	11.5	-8.2	7.4
0.45	0.3	2.6	1.1	11.7	-6.9	6.5
0.50	-1.2	3.4	-0.9	13.1	-6.8	6.6
0.55	-2.1	3.9	0.0	12.7	-4.3	5.2
0.60	2.6	2.0	5.8	10.1	-5.4	6.0

Nivel 3415

0.40	1.4	4.0	1.4	8.4	-8.5	6.3
0.45	1.7	3.9	1.7	8.3	-6.9	5.2
0.50	1.5	4.0	1.2	8.8	-8.9	6.6
0.55	2.4	3.5	0.6	9.1	-6.1	5.0
0.60	3.5	3.1	4.2	7.5	-2.1	3.1

Nivel 3430

 cut-off: Geoestadística Inverso de Dis: Poligonos

	Tons	ley	Tons	ley	Tons	ley
0.40	-6.2	3.8	-7.0	4.8	-11.2	15.3
0.45	-5.2	3.2	-6.4	4.3	-9.3	13.7
0.50	-3.7	2.1	-7.1	4.9	-7.3	12.3
0.55	-2.0	1.3	-7.0	4.9	-6.2	11.8
0.60	-3.0	1.7	-6.5	4.6	-4.8	10.9

Nivel 3445

0.40	0.5	-4.4	-3.8	-11.8	-17.0	14.3
0.45	-1.4	-3.1	-5.0	-11.0	-16.0	13.4
0.50	-1.7	-2.9	-5.3	-10.9	-17.0	14.4
0.55	-1.1	-3.3	-4.0	-11.7	-14.8	12.5
0.60	-2.0	-2.8	-5.5	-11.0	-14.1	11.8

De nivel 3385 a 3445

0.40	-0.2	-0.2	-1.1	1.3	-11.9	10.4
0.45	0.1	-0.4	-1.3	1.4	-10.4	9.3
0.50	-0.4	-0.2	-2.6	2.2	-10.7	9.5
0.55	0.1	-0.4	-2.6	2.2	-8.7	8.3
0.60	0.8	-0.7	-0.8	1.3	-7.4	7.6

reales 20x20.

El menor porcentaje de error para el método geoestadístico que el inverso de la distancia y el poligonal en todos los niveles es notorio, siendo aún más evidente en el nivel 3445 donde predomina la zona de enriquecido. Le sigue en aproximación al método geoestadístico, el inverso de la distancia.

7.3. CURVAS DE TONELAJE, LEY MEDIA Y CONTENIDO METALICO VERSUS LEY DE CORTE

Los gráficos del N^o 41 al 53 son elocuentes al comparar las aproximaciones que se consigue con los tres métodos de estimación, nivel por nivel y total: prisma 400x400x75.

TONELAJE

A nivel global con el método geoestadístico se tiene una curva que se acerca más a la real.

El método geoestadístico y el inverso de la distancia tienen la misma tendencia, pero casi siempre el geoestadístico más próximo a la curva real; desde 0 a 0.55 % de ley de corte en los niveles 3385 a 3430, hay una buena aproximación a la curva real con estos dos métodos, luego sobre-estiman el tonelaje hasta 1 %, para después sub-estimar; en el nivel 3445 con el método geoestadístico se sobre-estima ligeramente hasta 0.40 %, para luego sub-estimar; con el inverso de la distancia se está sub-estimando constantemente el tonelaje.

Con el método poligonal de 0 a 0.70 % en los niveles 3385 a 3430, hay una fuerte sub-estimación, después una buena aproximación a la curva real; en el nivel 3445 fuerte sub-estimación hasta 1.10 %, después buena aproximación a la curva real.

LEY MEDIA

A nivel general curva del método geoestadístico más próxima a la real.

Con el método geoestadístico de nivel 3400 a 3430 ligera sobre-estimación de 0.0 a 0.70 % (en nivel se sub-estima constantemente), después sub-estimación. En el nivel 3445 hay una ligera sub-estimación de 0.0 a 0.95 %, después sobre-estimación.

El inverso de la distancia en los niveles 3385 a 3430, sobre-estima la ley de 0.0 a 0.85 %, luego sub-estima. En nivel 3445 fuerte sub-estimación.

El método poligonal en todos los niveles sobre-estima la ley, siendo más acentuado en el nivel 3445.

CONTENIDO METALICO

Se gráfico valores del total: prisma 400x400x75; mejor se aproxima a la curva real el método geoestadístico.

El método geoestadístico sobre-estima ligeramente hasta 1.0 %, después sub-estima.

El método inverso de la distancia sobre-estima en mayor grado que el método geoestadístico hasta 1.15 %, luego sub-estima.

El método poligonal sub-estima hasta 0.60 %, después sobre-estima.

En resumen, estos resultados concuerdan a nivel general con los indicadores de la sección 7.1, siendo evidente las ventajas del método geoestadístico, que es más notorio aún en la zona de enriquecido (nivel 3445).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.- Las ventajas del método geoestadístico en comparación con el método inverso de la potencia enésima de la distancia y poligonal son evidentes.

2.- Aplicación inmediata del método geoestadístico en el cálculo de reservas para planeamiento a largo plazo, en sustitución del inverso de la potencia enésima de la distancia.

3.- Continuación del estudio geoestadístico para ley de molibdeno para planeamiento a largo plazo, ley de cobre y molibdeno para planeamiento a corto plazo.

BIBLIOGRAFIA

- David, Michel - Geostatistical ore reserve estimation, Amsterdam 1977, Elsevier Scientific Publishing Company

Bernuy Verand, Oscar y Canchaya, Samuel - Geoestadística aplicada a yacimientos porfiríticos, 1986, Southern Perú Copper Corporation é Instituto de ingenieros de minas.

Barnes, Marvin - Computer-Assisted Mineral Appraisal and Feasibility, New York 1980, Society of Mining Engineers.

Canchaya, Samuel - El potencial de los métodos geoestadísticos en la Industria minera, Huaraz 1984, XVII Convención de Ingenieros de minas.

CUADRO DE TONELAJES Y LEYES MEDIAS DE CUT-OFF 0.40 A 0.60 %, PARA LOS TRES METODOS DE ESTIMACION: GEOESTADISTICO, INVERSO DE LA DISTANCIA Y POLIGONAL

NIVEL 3385

CUT-OFF	MALLA REAL 20x20		GEOESTADISTICO		INV. DISTANCIA		POLIGONAL	
0.40	5'773,186	0.994	6'009,120	0.943	5'958,409	1.009	4'930,361	1.091
0.45	5'655,426	1.006	5'975,686	0.946	5'788,909	1.026	4'930,361	1.091
0.50	5'554,192	1.016	5'740,166	0.966	5'519,065	1.053	4'805,585	1.107
0.55	5'453,377	1.025	5'639,313	0.973	5'333,462	1.071	4'805,585	1.107
0.60	5'251,052	1.042	5'419,419	0.989	5'198,748	1.084	4'719,193	1.117

NIVEL 3400

0.40	5'937,879	0.963	5'920,867	0.991	6'022,544	1.074	5'452,209	1.034
0.45	5'853,764	0.971	5'870,017	0.996	5'920,844	1.085	5'452,209	1.034
0.50	5'802,364	0.975	5'735,307	1.008	5'751,980	1.103	5'405,842	1.039
0.55	5'633,372	0.989	5'515,974	1.028	5'633,923	1.115	5'390,751	1.040
0.60	5'295,384	1.015	5'431,520	1.035	5'600,362	1.118	5'007,455	1.076

NIVEL 3415

0.40	5'924,134	1.008	6'008,513	1.048	6'008,486	1.093	5'420,169	1.071
0.45	5'822,561	1.018	5'923,923	1.056	5'923,736	1.103	5'420,169	1.071
0.50	5'754,761	1.024	5'839,469	1.065	5'822,163	1.114	5'242,464	1.092
0.55	5'584,668	1.040	5'721,116	1.076	5'619,485	1.135	5'242,464	1.092
0.60	5'329,318	1.062	5'517,716	1.096	5'551,854	1.142	5'218,515	1.095

NIVEL 3430

CUT-OFF	MALLA REAL 20x20		GEOESTADISTICO		INV. DISTANCIA		POLIGONAL	
0.40	6' 274,038	1.092	5' 884,182	1.133	5' 833,253	1.144	5' 566,277	1.259
0.45	6' 138,438	1.107	5' 816,382	1.142	5' 748,503	1.155	5' 566,277	1.259
0.50	6' 002,838	1.121	5' 782,525	1.145	5' 579,045	1.176	5' 566,277	1.259
0.55	5' 816,345	1.140	5' 697,775	1.155	5' 409,630	1.196	5' 456,920	1.274
0.60	5' 731,553	1.149	5' 562,175	1.169	5' 358,780	1.202	5' 456,920	1.274

NIVEL 3445

0.40	6' 227,906	1.480	6' 260,826	1.415	5' 989,669	1.306	5' 171,534	1.691
0.45	6' 160,106	1.491	6' 074,885	1.445	5' 854,577	1.327	5' 171,534	1.691
0.50	6' 041,456	1.511	5' 939,285	1.467	5' 718,977	1.347	5' 014,607	1.729
0.55	5' 887,677	1.537	5' 820,635	1.486	5' 651,177	1.357	5' 014,607	1.729
0.60	5' 836,827	1.546	5' 719,189	1.503	5' 515,577	1.376	5' 014,607	1.729

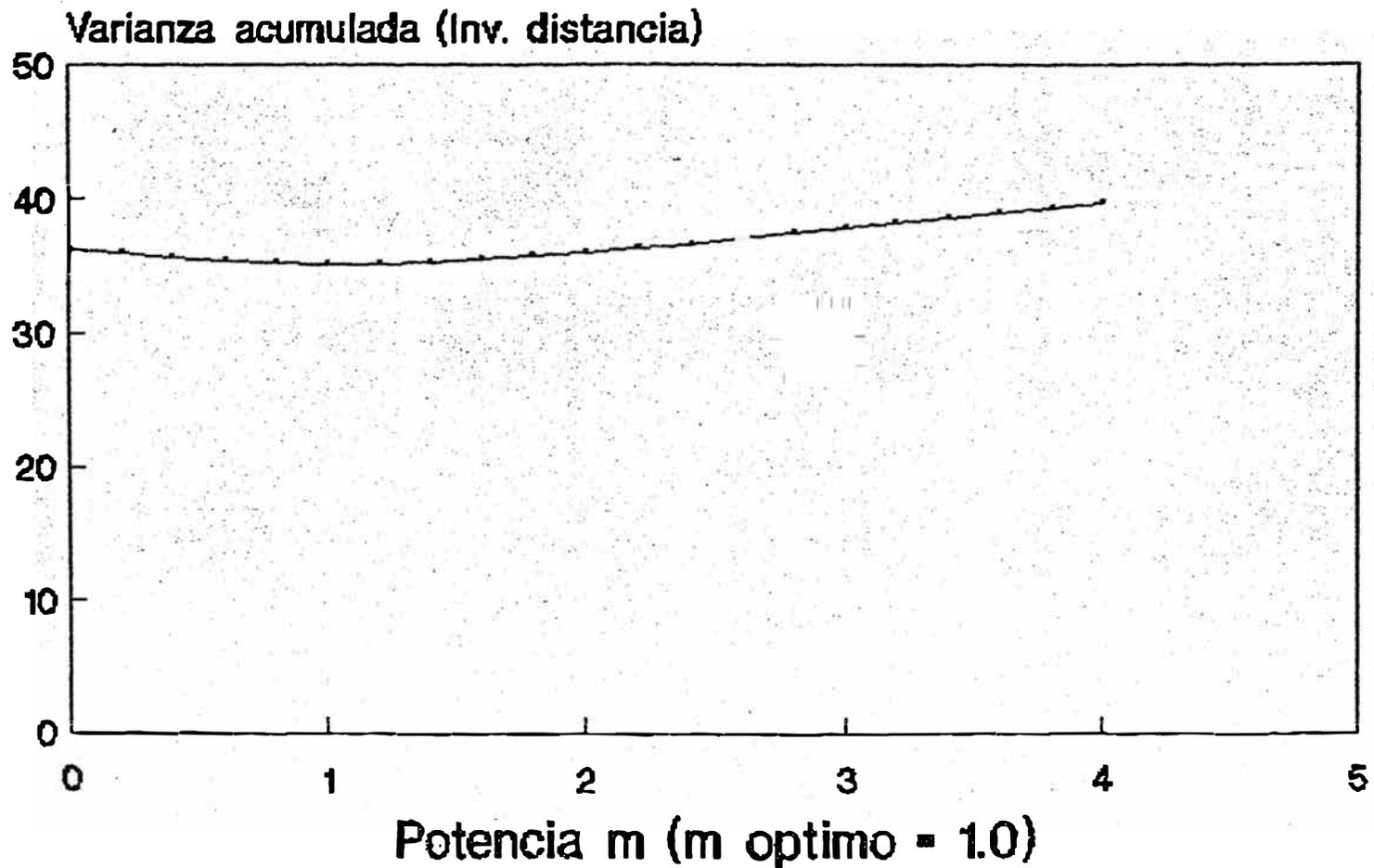
DE NIVEL 3385 A 3445

0.40	30' 137,143	1.111	30' 083,508	1.109	29' 812,361	1.125	26' 540,550	1.227
0.45	29' 630,295	1.123	29' 660,893	1.119	29' 236,569	1.139	26' 540,550	1.227
0.50	29' 155,611	1.134	29' 036,752	1.132	28' 391,230	1.159	26' 034,775	1.242
0.55	28' 375,439	1.151	28' 394,813	1.146	27' 647,677	1.176	25' 910,327	1.246
0.60	27' 444,134	1.170	27' 650,019	1.162	27' 225,321	1.185	25' 416,690	1.259

VARIANZA DE LEY Cu. DE Nv. 3295 A 3490

AREA: 539800,85400,540250,85700

RADIO ESFERICO DE INFLUENCIA = 80 m



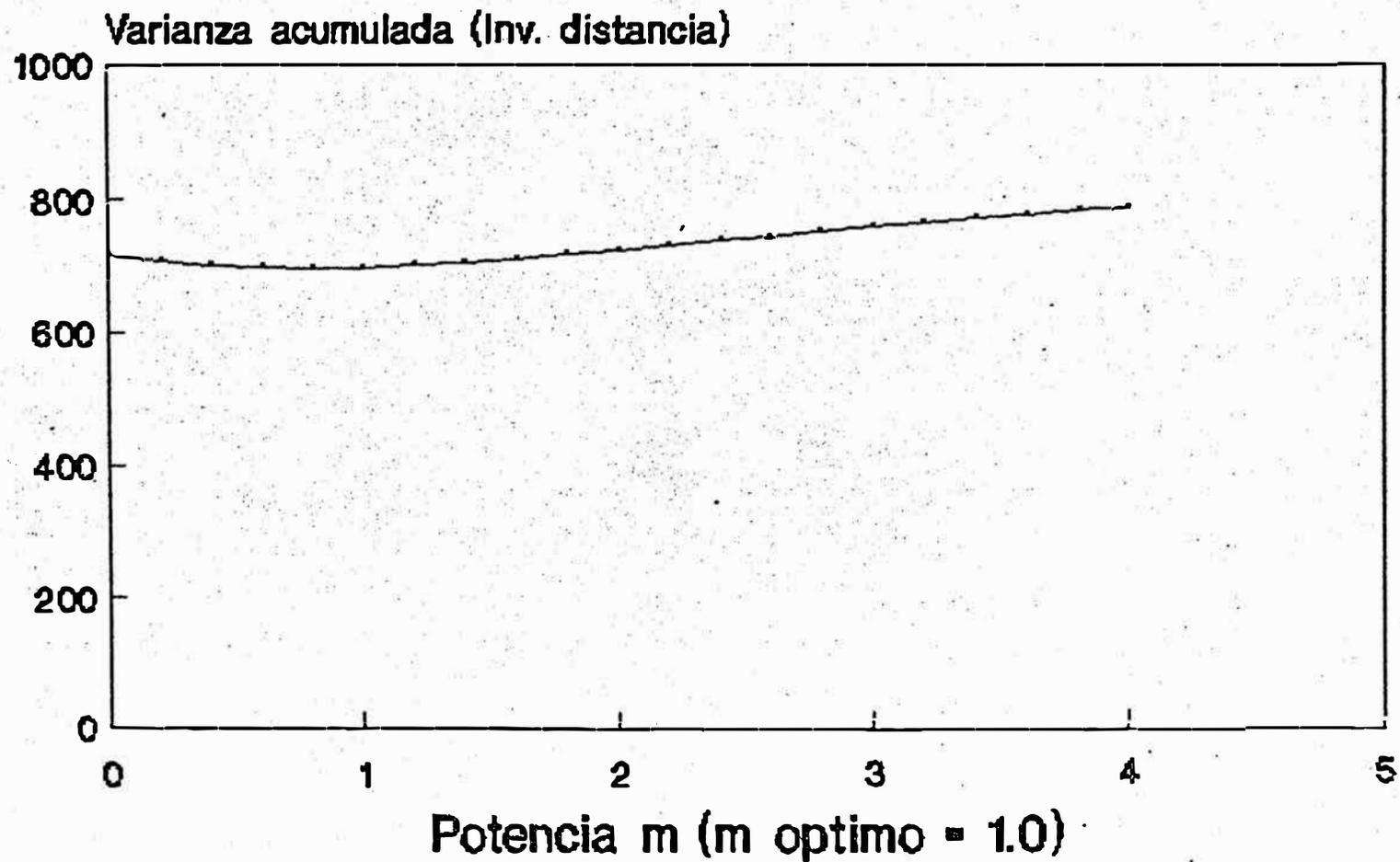
BLOQUES : 529 - 20x20 - ZONA DE BRECHA
VARIANZA ACUMULADA MINIMA = 35.182
DESVIACION STANDAR = 0.2578

Fig. N° 1

VARIANZA DE LEY Cu. DE Nv. 3430 A 3475

AREA: 539800,85200,540800,86200

RADIO ESFERICO DE INFLUENCIA = 80 m



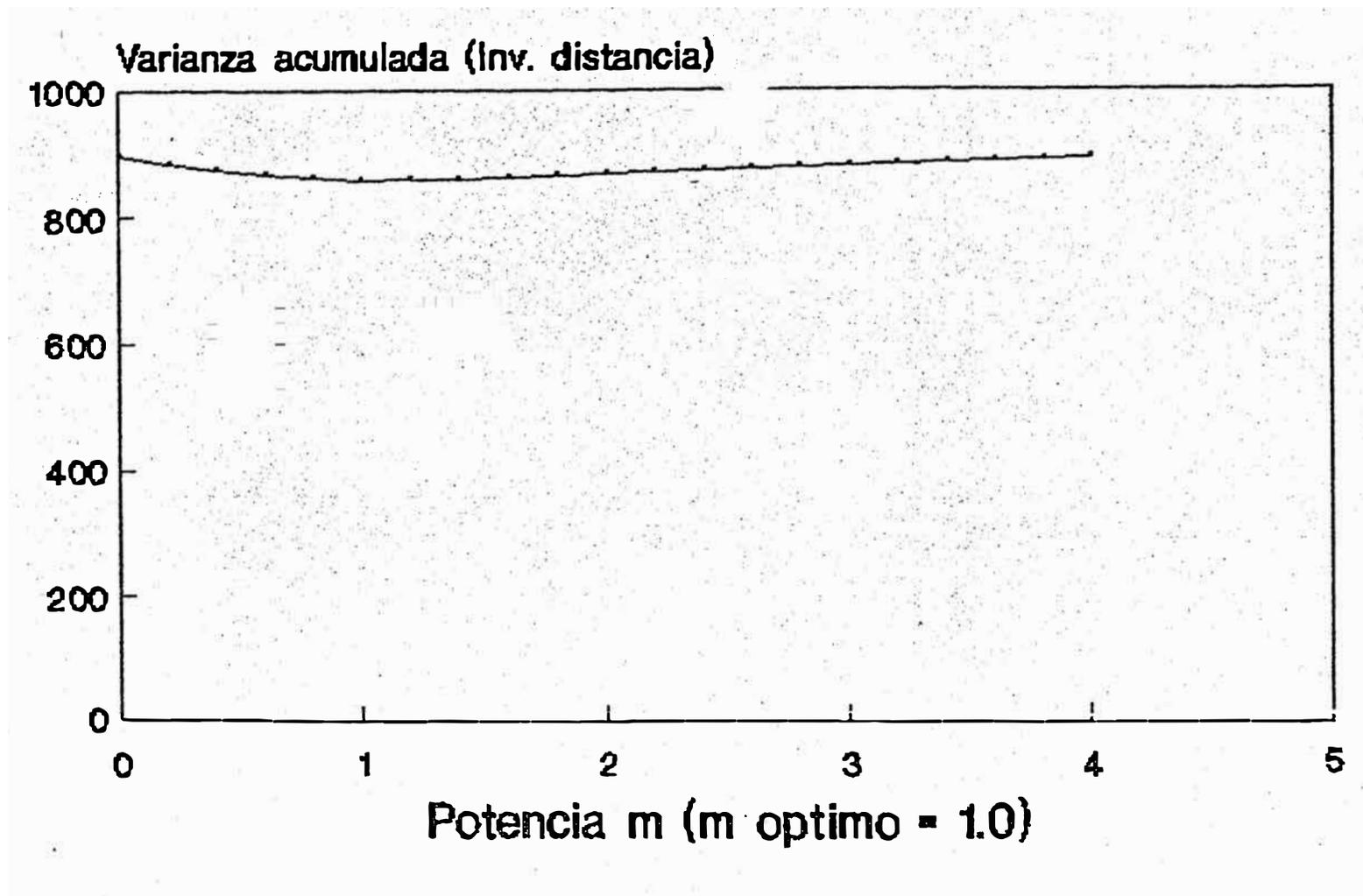
BLOQUES : 1898 - 20x20 - ENRIQUECIDO
VARIANZA ACUMULADA MINIMA = 696.76
DESVIACION STANDAR = 0.6053

Fig. N° 2

VARIANZA DE LEY Cu. DE Nv. 3460 A 3520

AREA: 539850,85300,540600,86100

RADIO ESFERICO DE INFLUENCIA = 80 m



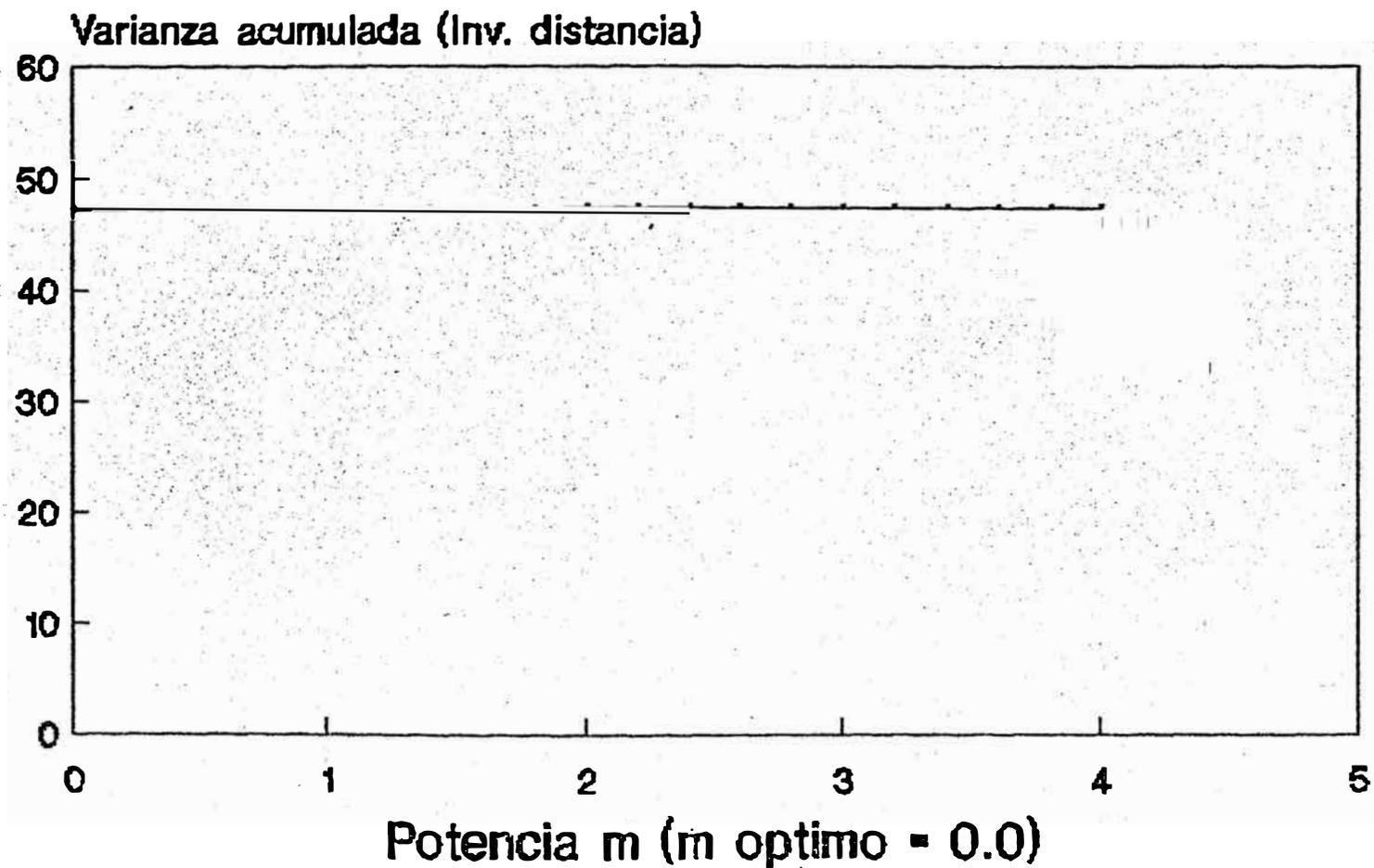
BLOQUES : 1088 - 20x20 - OXIDOS
VARIANZA ACUMULADA MINIMA = 856.8840
DESVIACION STANDAR = 0.8871

Fig. N° 3

VARIANZA DE LEY Cu. DE Nv. 3475 A 3520

AREA: 539800,85300,540700,85850

RADIO ESFERICO DE INFLUENCIA - 80 m



BLOQUES : 71 - 20x20 - POST-MINERAL

VARIANZA ACUMULADA MINIMA - 47.165

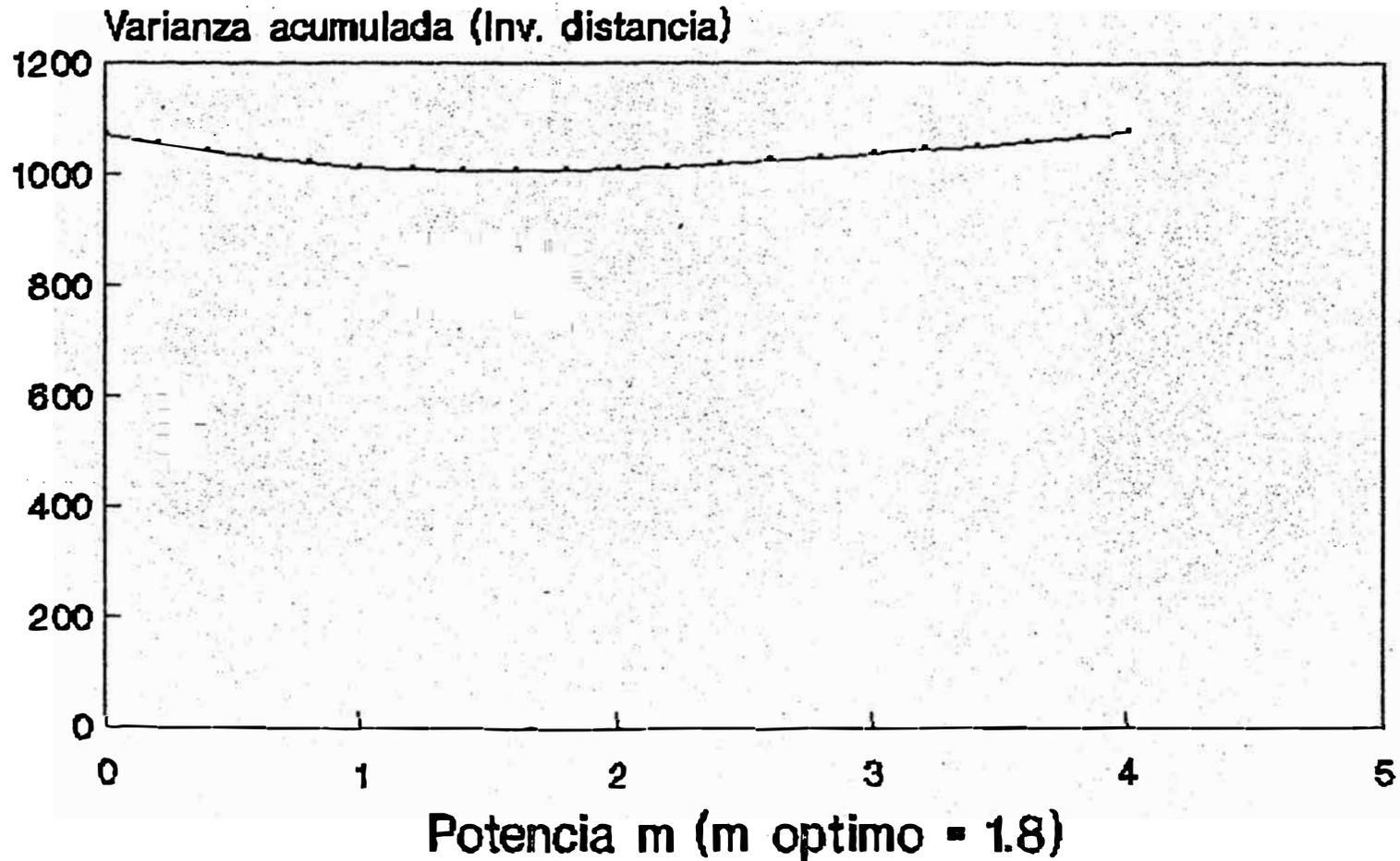
DESVIACION STANDAR - 0.8151

Fig. N° 4

VARIANZA DE LEY Cu. DE Nv. 3295 A 3460

AREA: 540000,85200,540800,86000

RADIO ESFERICO DE INFLUENCIA = 80 m

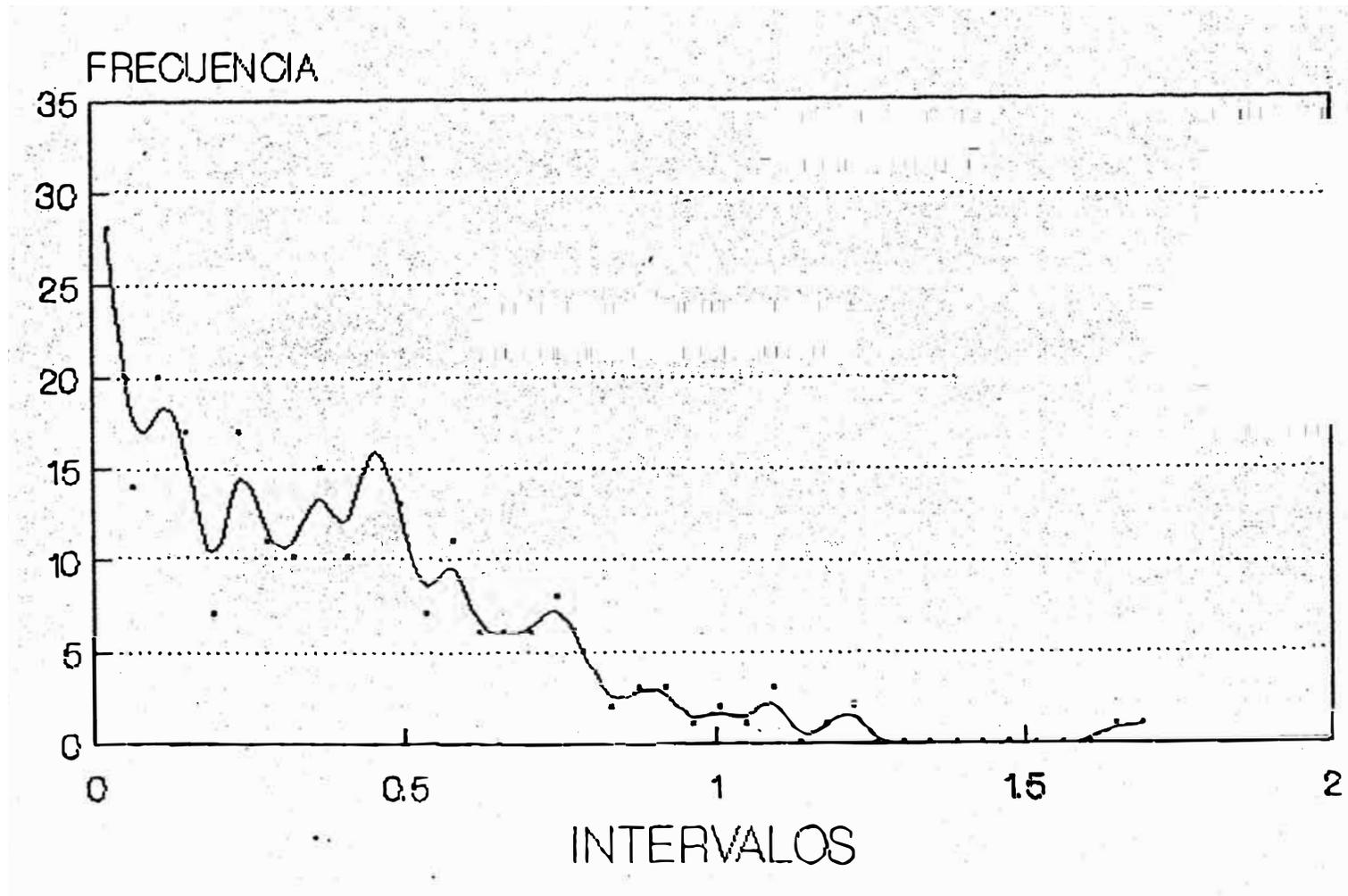


BLOQUES : 7564, 20x20 - ZONA PRIMARIA
VARIANZA ACUMULADA MINIMA = 1003.8524
DESVIACION STANDAR = 0.3643

Fig. N° 5

HISTOGRAMA DE FREC. TALADROS DIAMANTINOS

LEYES DE BRECHA DE NIVEL 2950 A 3520
RANGO DE CLASE=0.04275

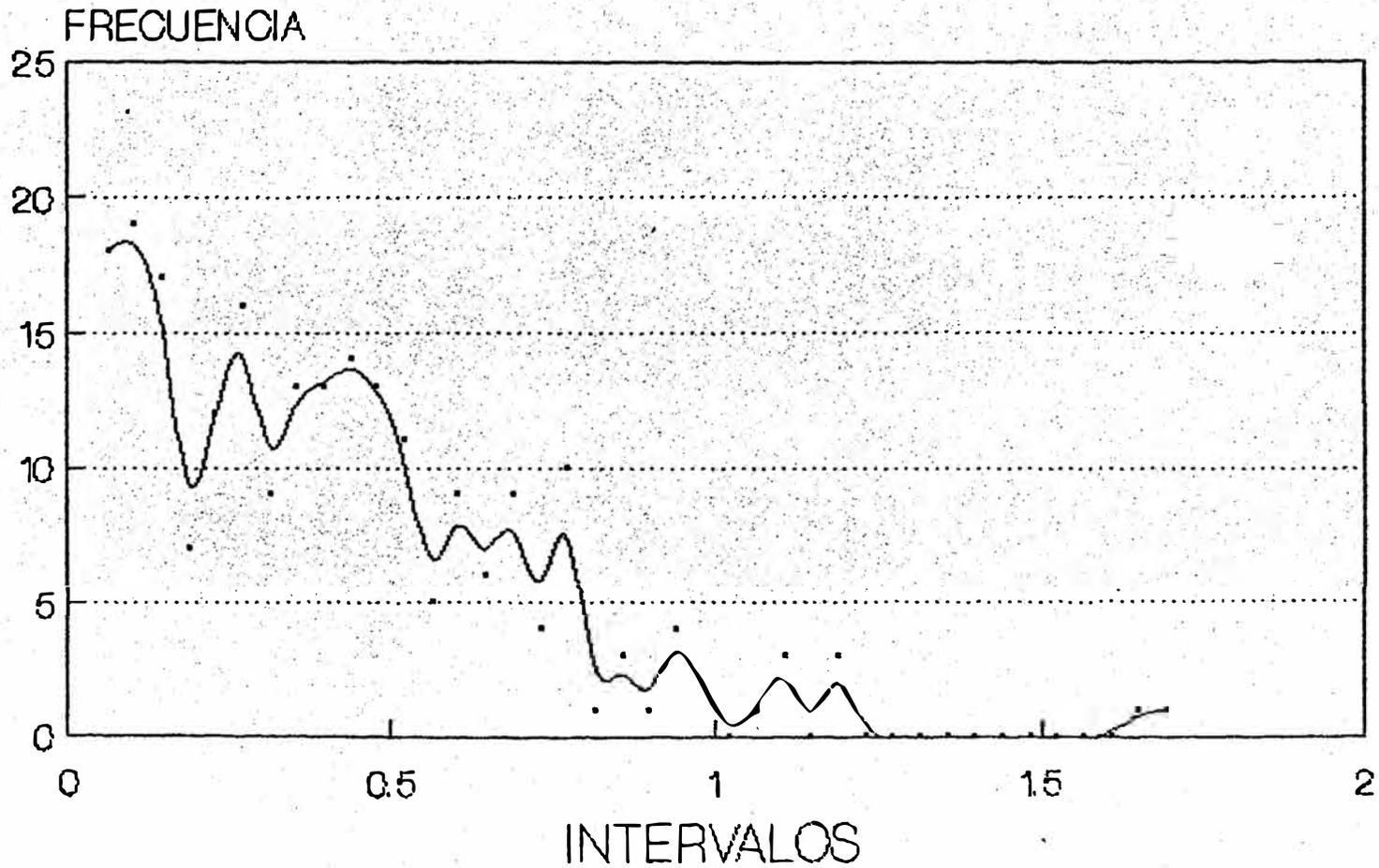


BLOQUES: 249 - CONSIDERANDO LEY CERO
MEDIA= 0.379 VARIANZA= 0.0932
DESVIACION STANDARD= .3068

Fig. N° 6

HISTOGRAMA DE FREC. TALADROS DIAMANTINOS

LEYES DE BRECHA DE NIVEL 2950 A 3520
RANGO DE CLASE-0.04175

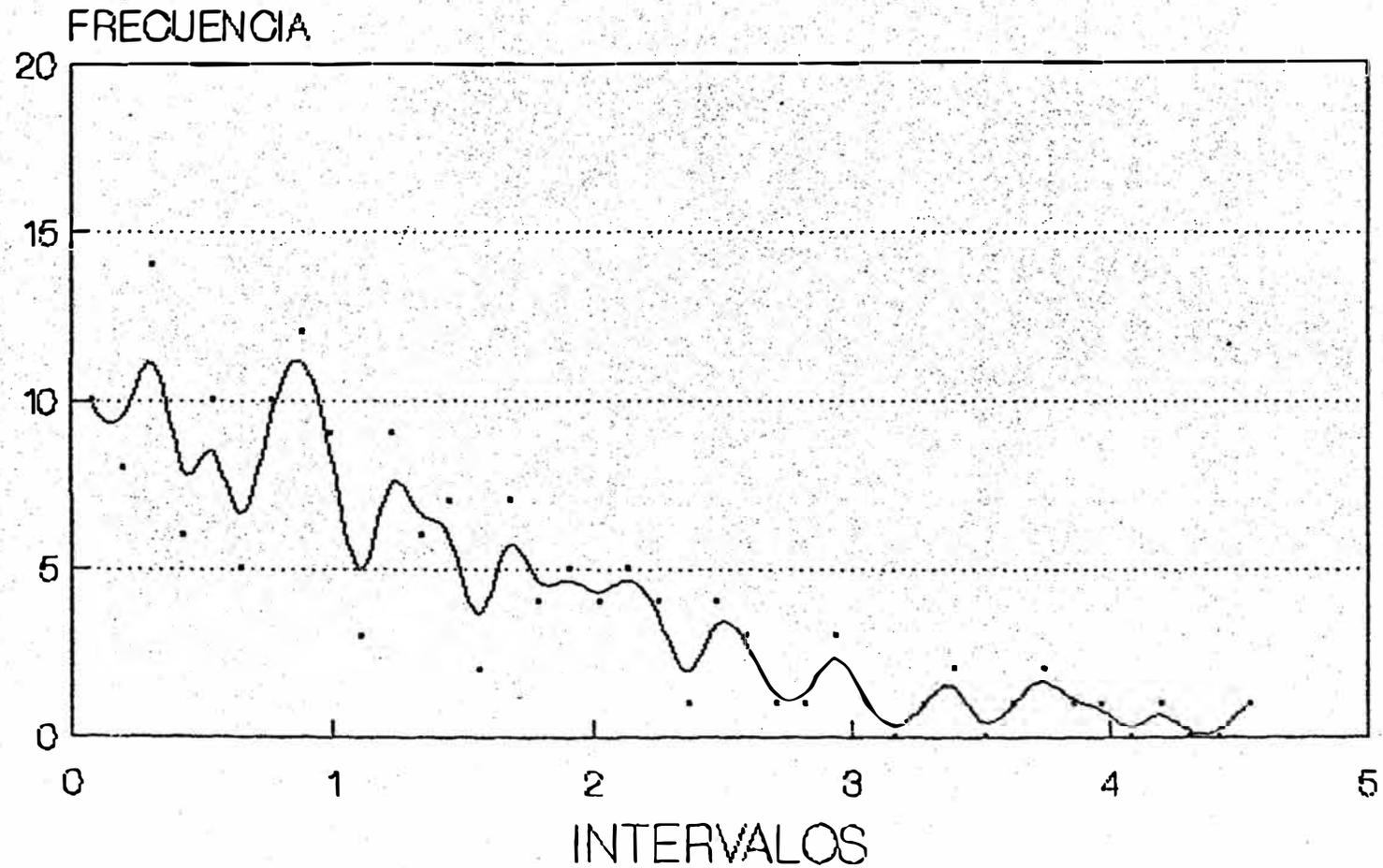


BLOQUES: 225 - SIN CONSIDERAR LEY CERO
MEDIA= 0.420 VARIANZA= 0.0862
DESVIACION STANDAR= .2938

Fig. N° 7

HISTOGRAMA DE FREC. TALADROS DIAMANTINOS

LEYES DE ENRIQUEC DE NIVEL 3385 A 3520
RANGO DE CLASE=0.11425

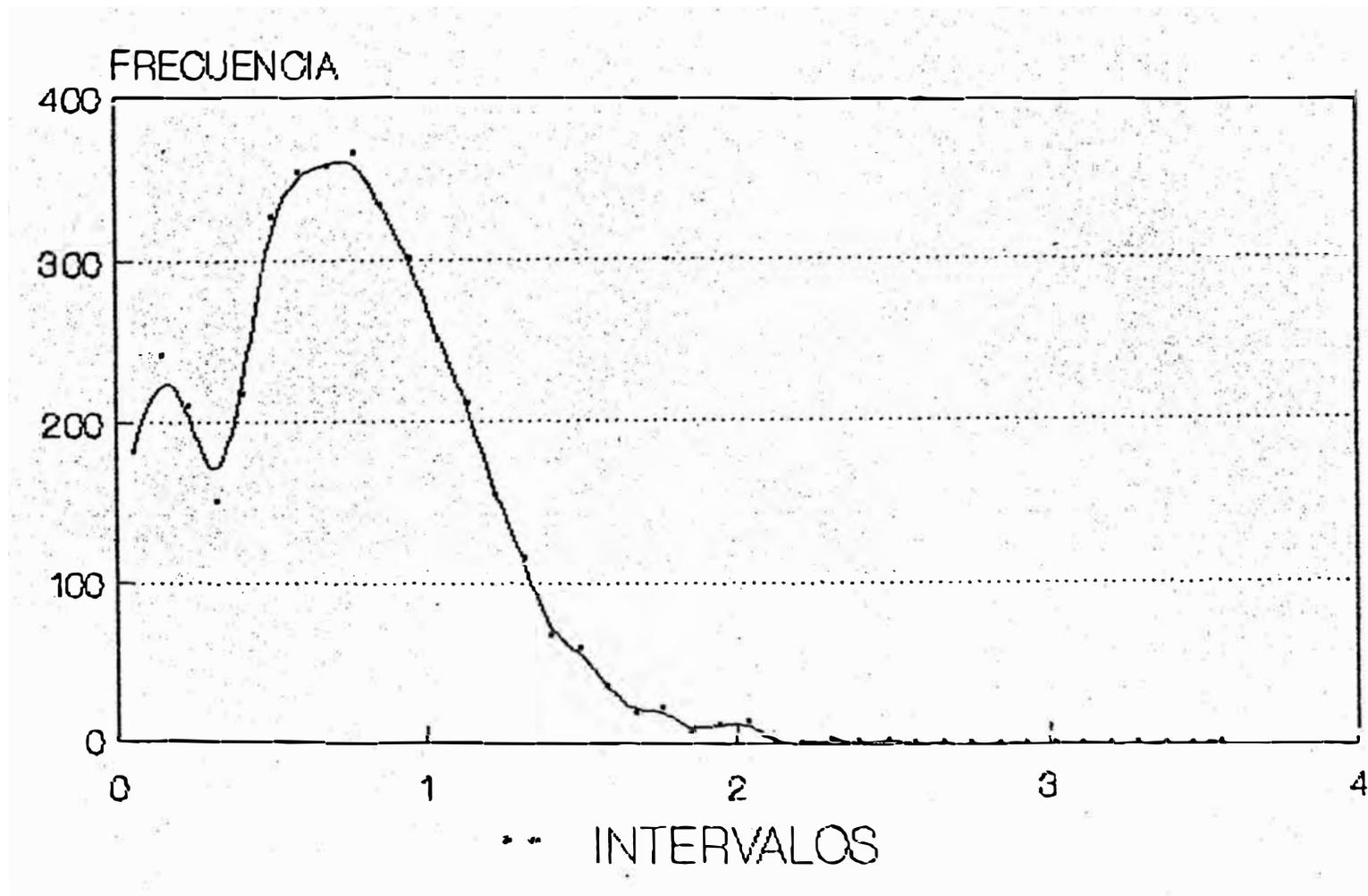


BLOQUES: 164
MEDIA= 1.285 VARIANZA= 0.9707
DESVIACION STANDARD= .9889

Fig. N° 8

HISTOGRAMA DE FREC. TALADROS DIAMANTINOS

LEYES DE PRIMARIO DE NIVEL 2950 A 3520
RANGO DE CLASE=0.08975



BLOQUES: 4008
MEDIA= 0.729 VARIANZA= .1622
DESVIACION STANDARD= .4027

Fig. N° 9

HISTOGRAMA DE FREC. TALADROS DIAMANTINOS

LOG LEYES DE BRECHA DE NIVEL 2950 A 3520
RANGO DE CLASE=0.093875

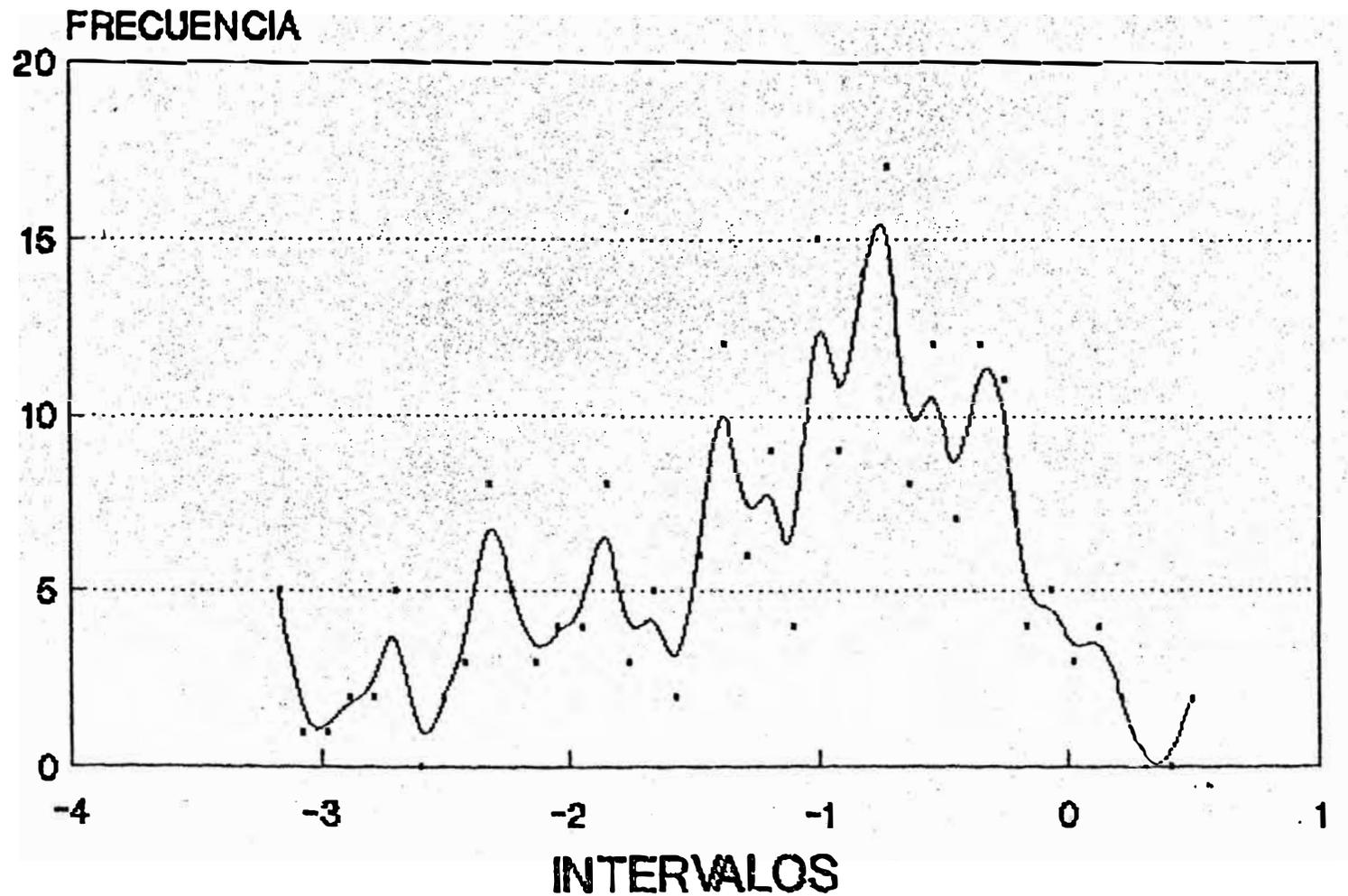


Fig. N° 10

BLOQUES: 225 SIN CONSIDERAR LEY CERO

HISTOGRAMA DE FREC. TALADROS DIAMANTINOS
LOG LEYES DE ENRIQ. DE NIVEL 3385 A 3520
RANGO DE CLASE-0.1359

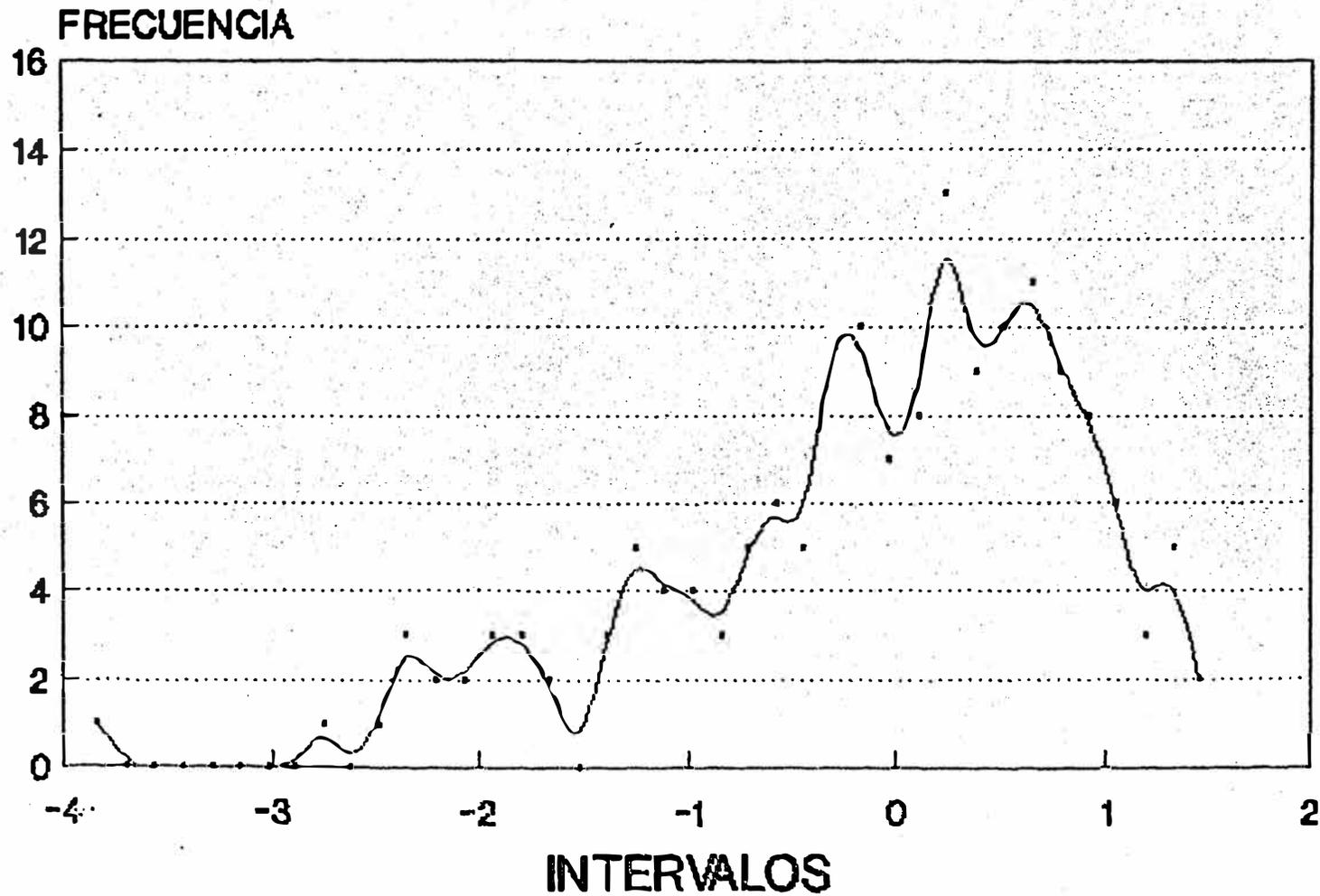
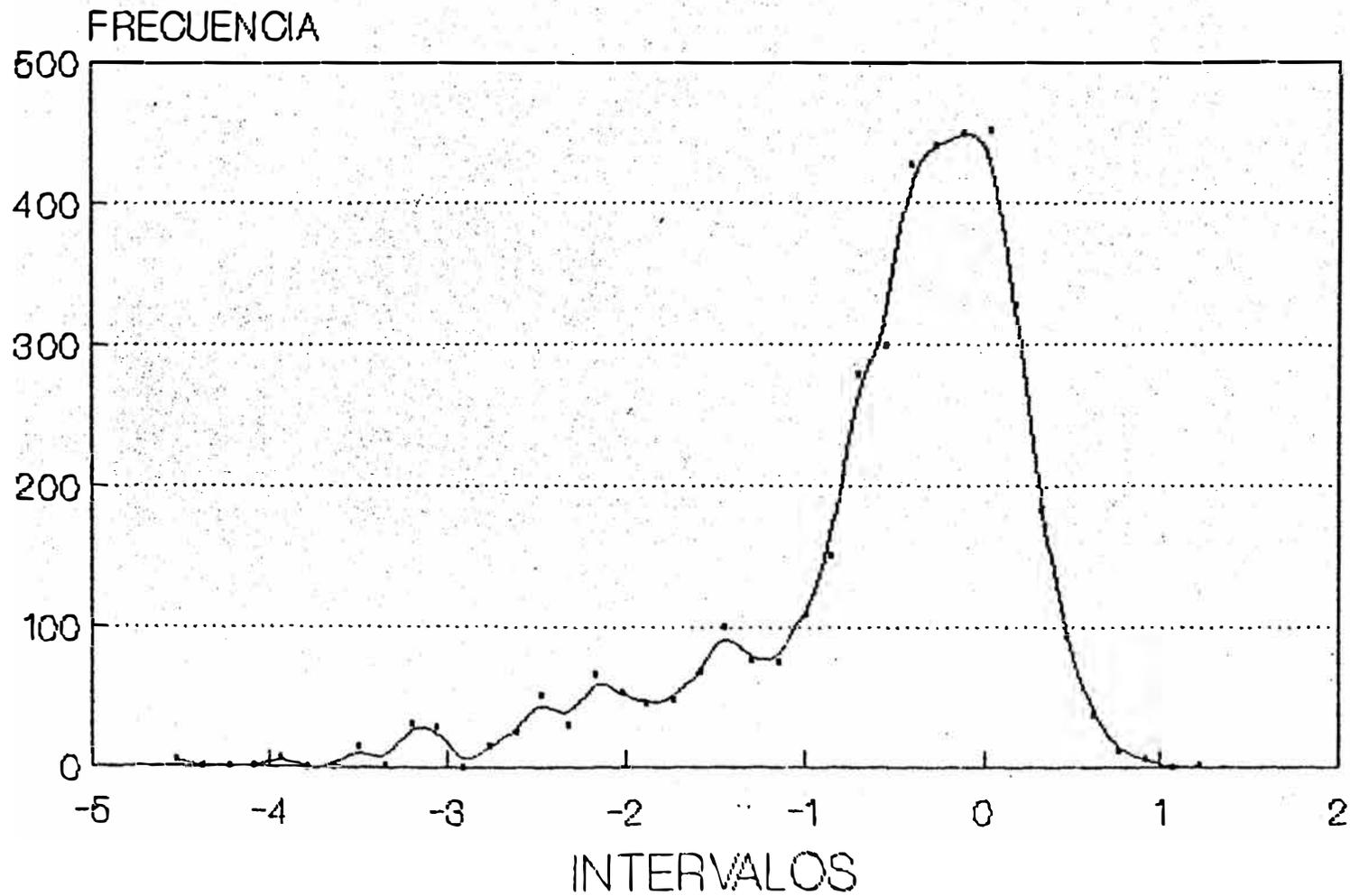


Fig. N° II

HISTOGRAMA DE FREQ. TALADROS DIAMANTINOS

LOG. LEY DE PRIMARIO DE NV. 2950 A 3520

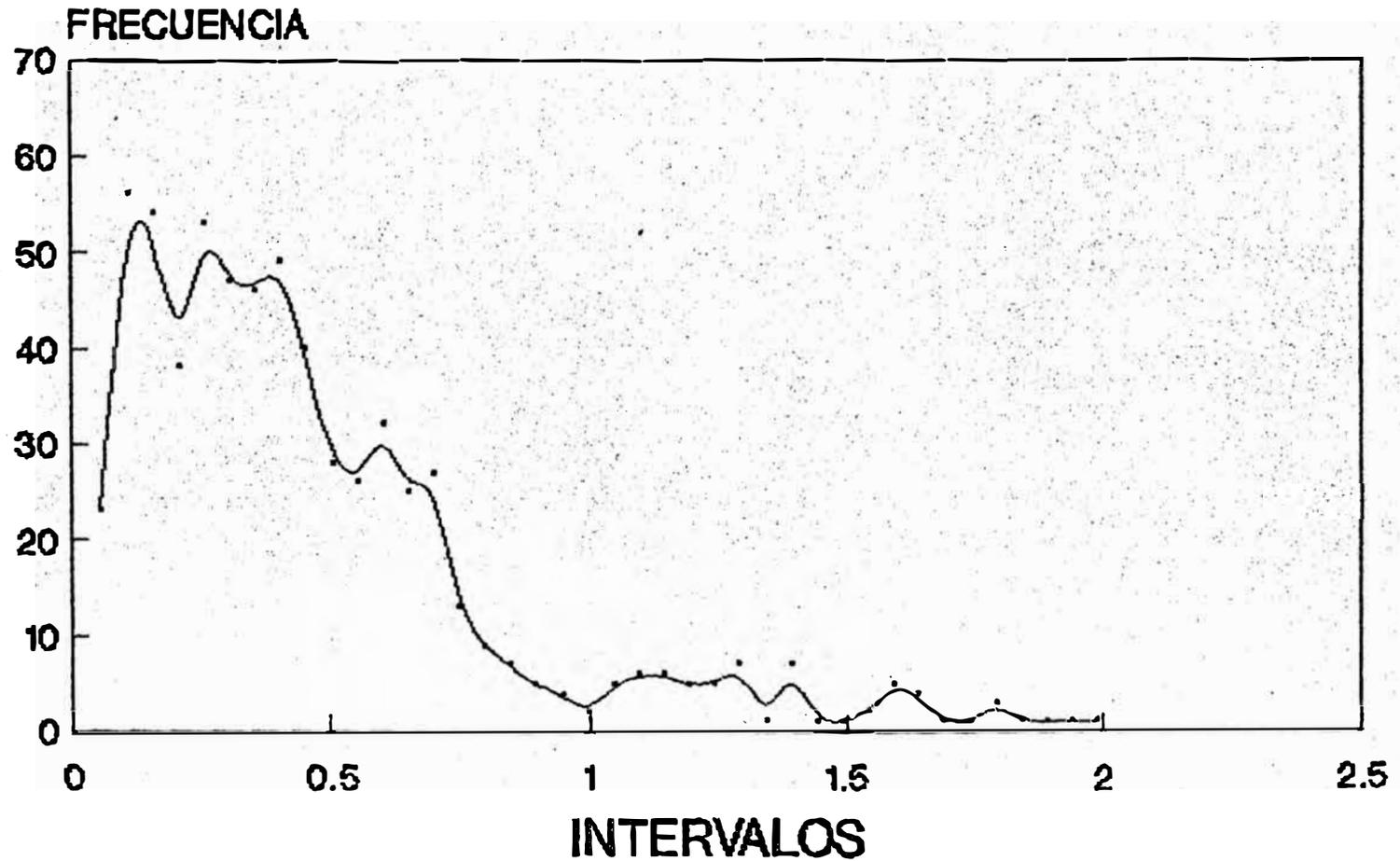
RANGO DE CLASE-0.14715



BLOQUES: 4000

Fig. N° 12

HISTOGRAMA DE FREC. BLOQUES 20X20 REAL
LEYES DE BRECHA DE NIVEL 3295 A 3520
RANGO DE CLASE-0.0495

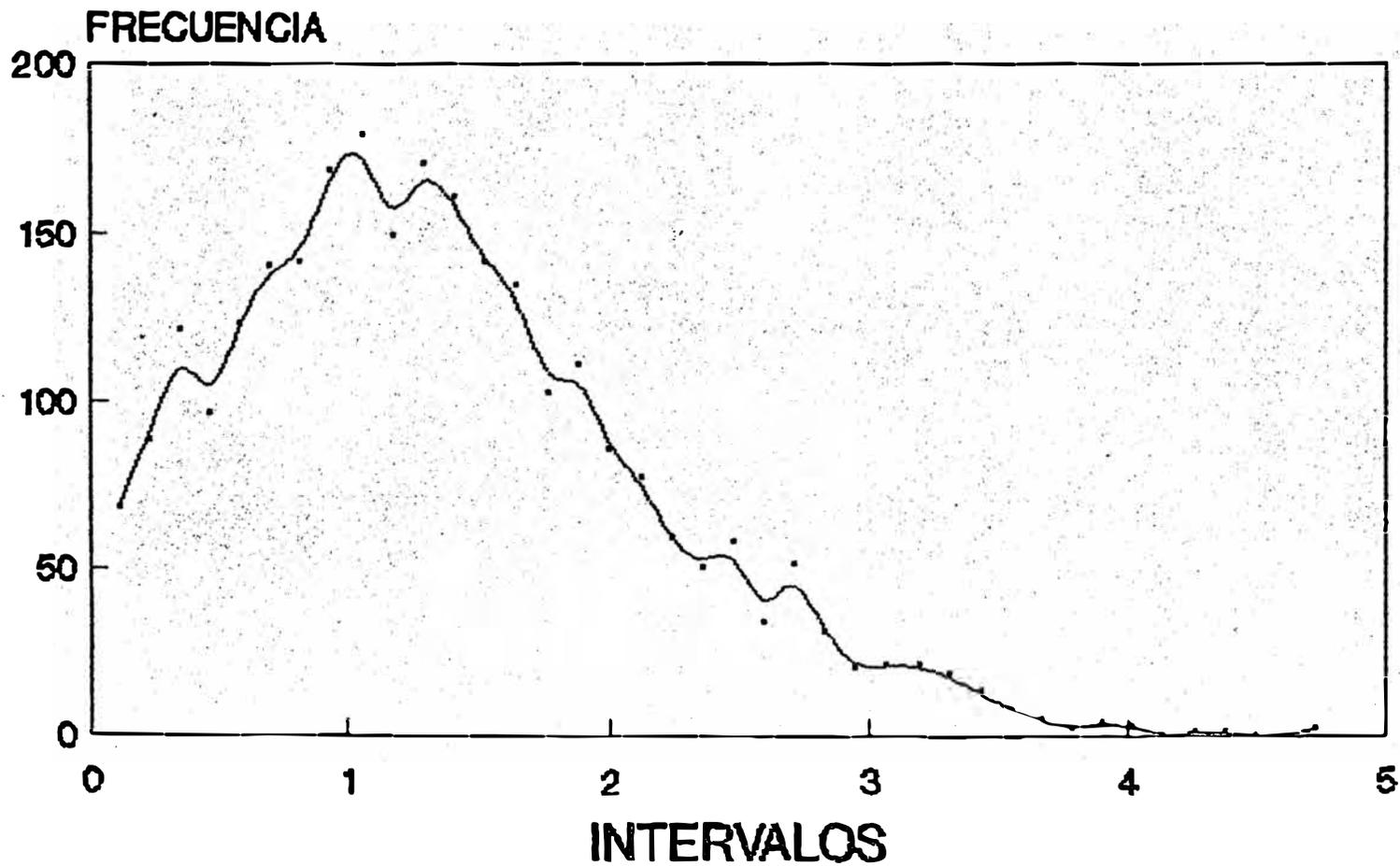


BLOQUES: 648
MEDIA- 0.476 VARIANZA- 0.1371
DESVIACION STANDAR- .3703

Fig. N° 13

HISTOGRAMA DE FREC. BLOQUES 20X20 REAL

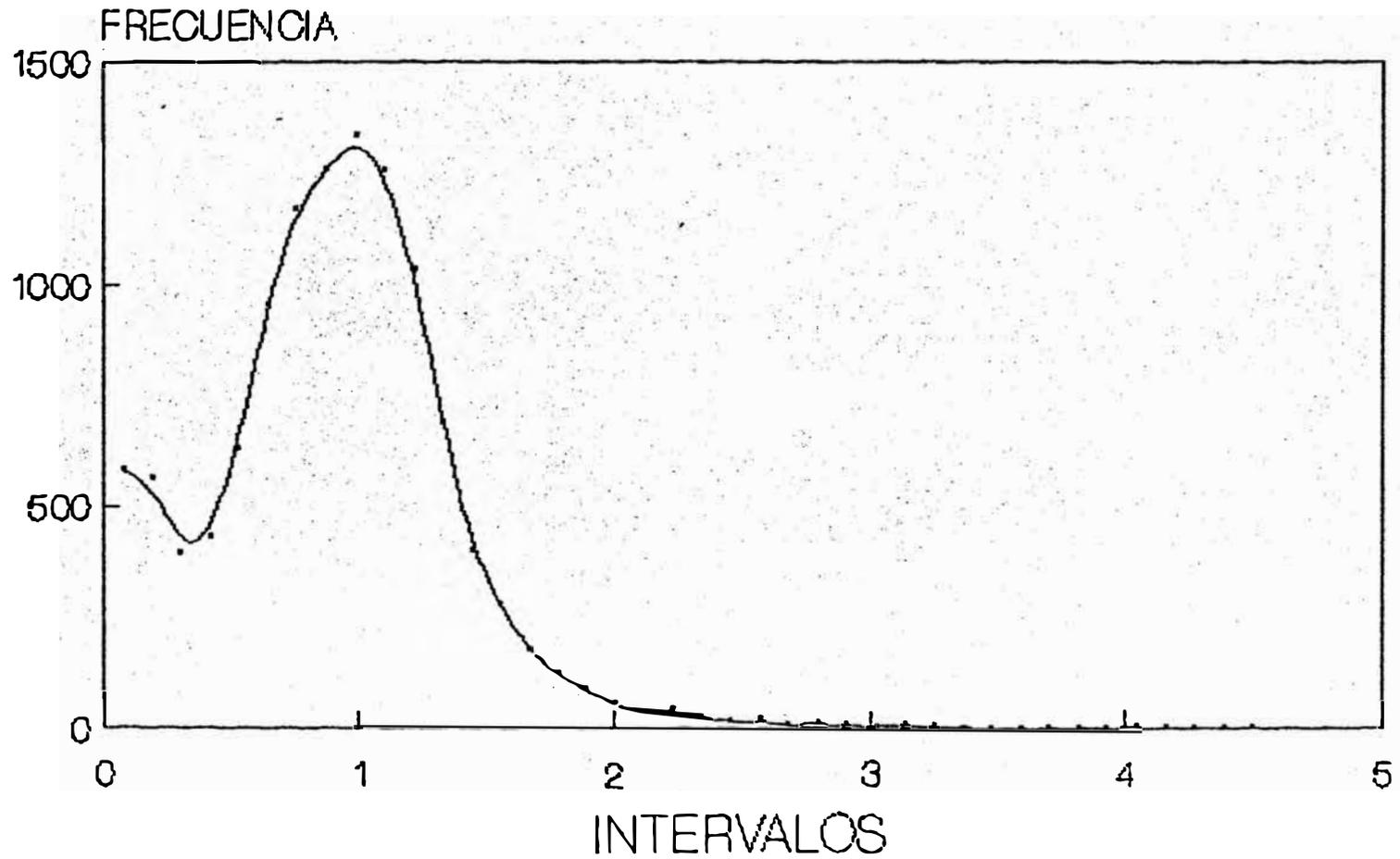
LEYES DE ENRIQUEC. DE NIVEL 3295 A 3520
RANGO DE CLASE-0.118475



BLOQUES: 2654
MEDIA- 1.361 VARIANZA- 0.6181
DESVIACION STANDAR- .7862

Fig. N° 14

HISTOGRAMA DE FREC. BLOQUES 20X20 REAL
LEYES DE PRIMARIO DE NIVEL 3295 A 3520
RANGO DE CLASE=0.113175

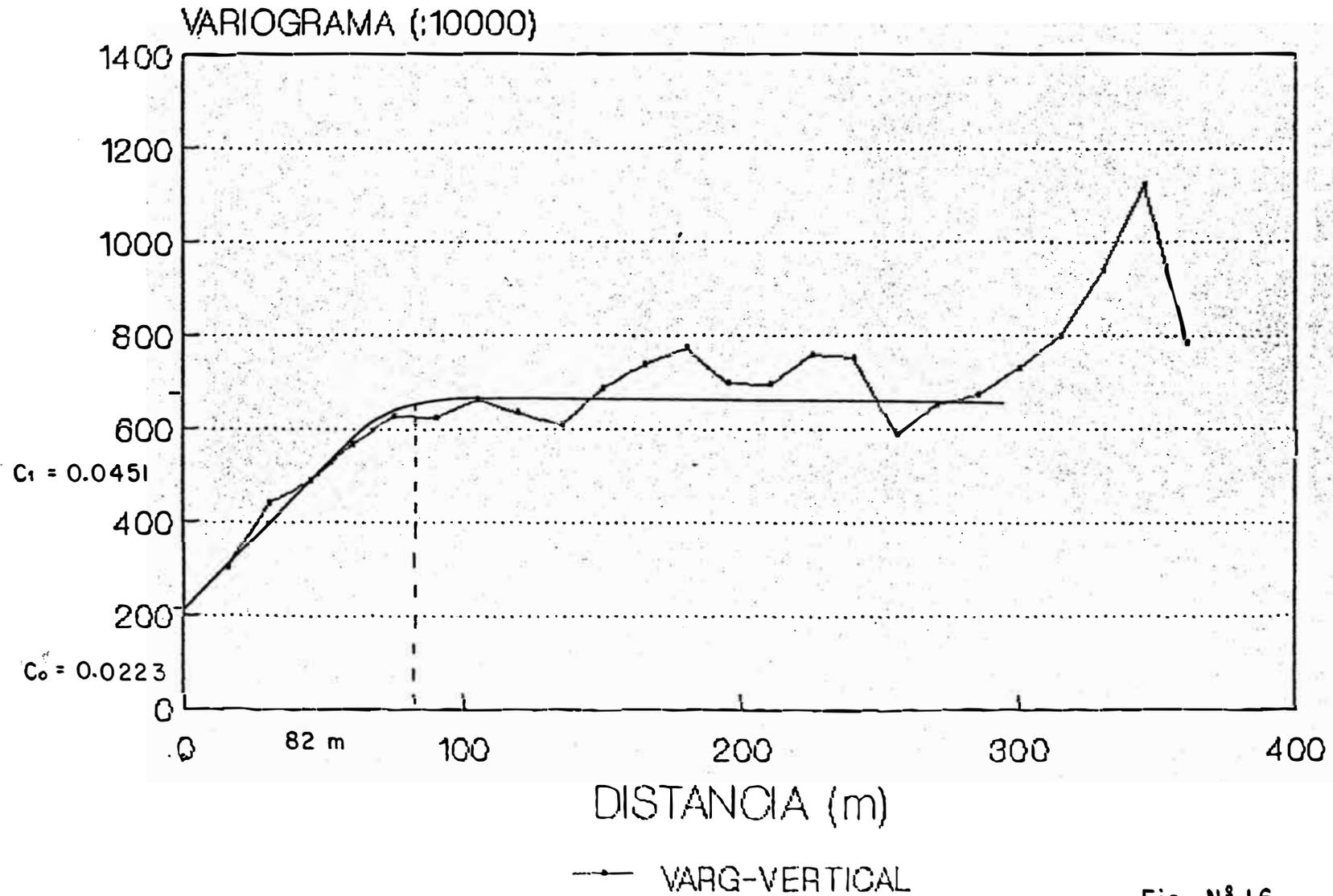


BLOQUES: 11597
MEDIA= 0.905 VARIANZA= 0.2137
DESVIACION STANDARD= .4626

Fig. N° 15

VARIOGRAMA - DHS 60x60 - BRECHA

A:539600,85100,540800,86150 -3055 A 3460



VARIOGRAMA VERTICAL

Fig. N° 16

VARIOGRAMAS - DHS. 60x60 - ENRIQUECIDO

A: 539600, 85100, 540800, 86150

DE NIVEL 3430 A 3505

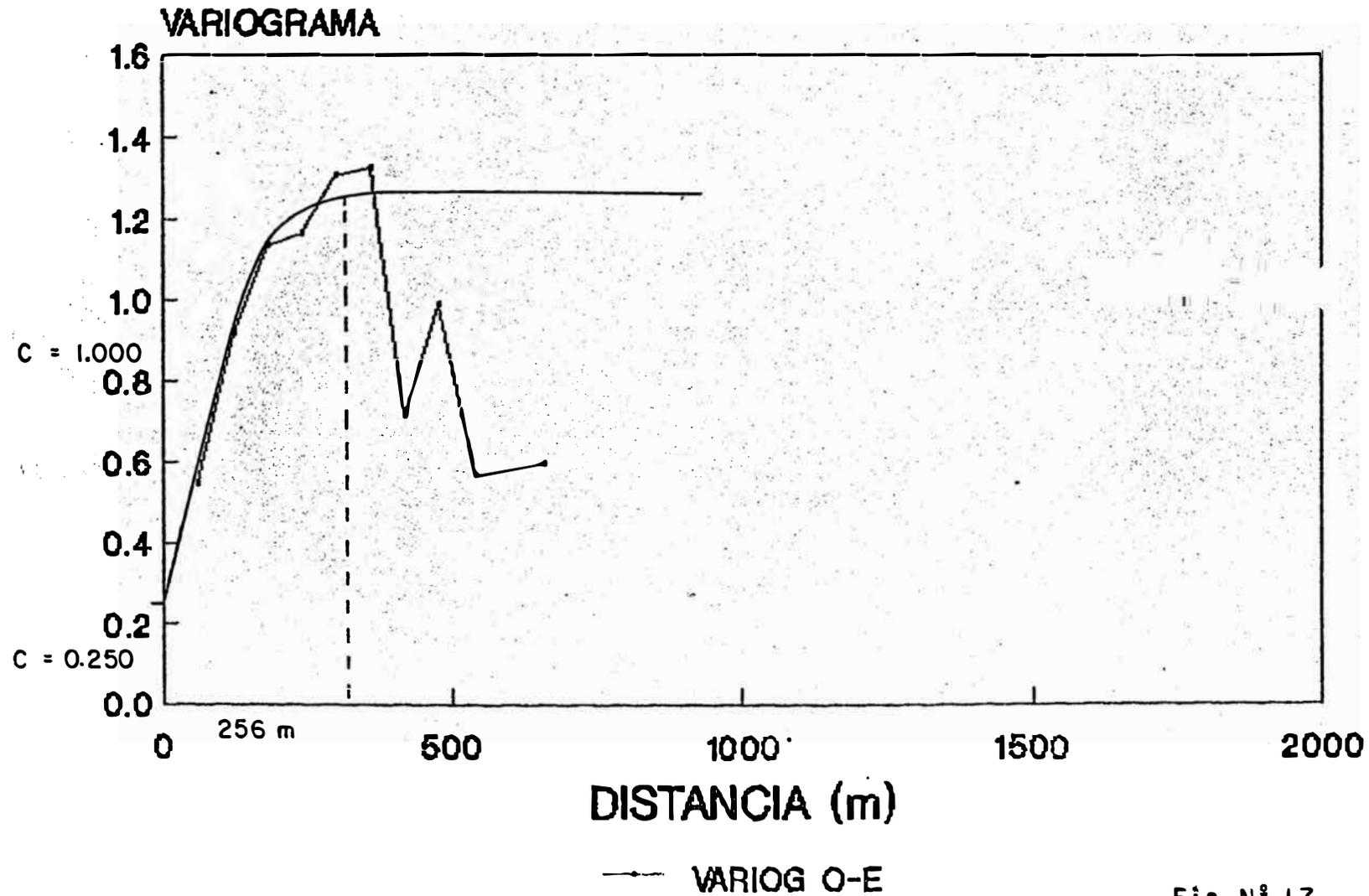
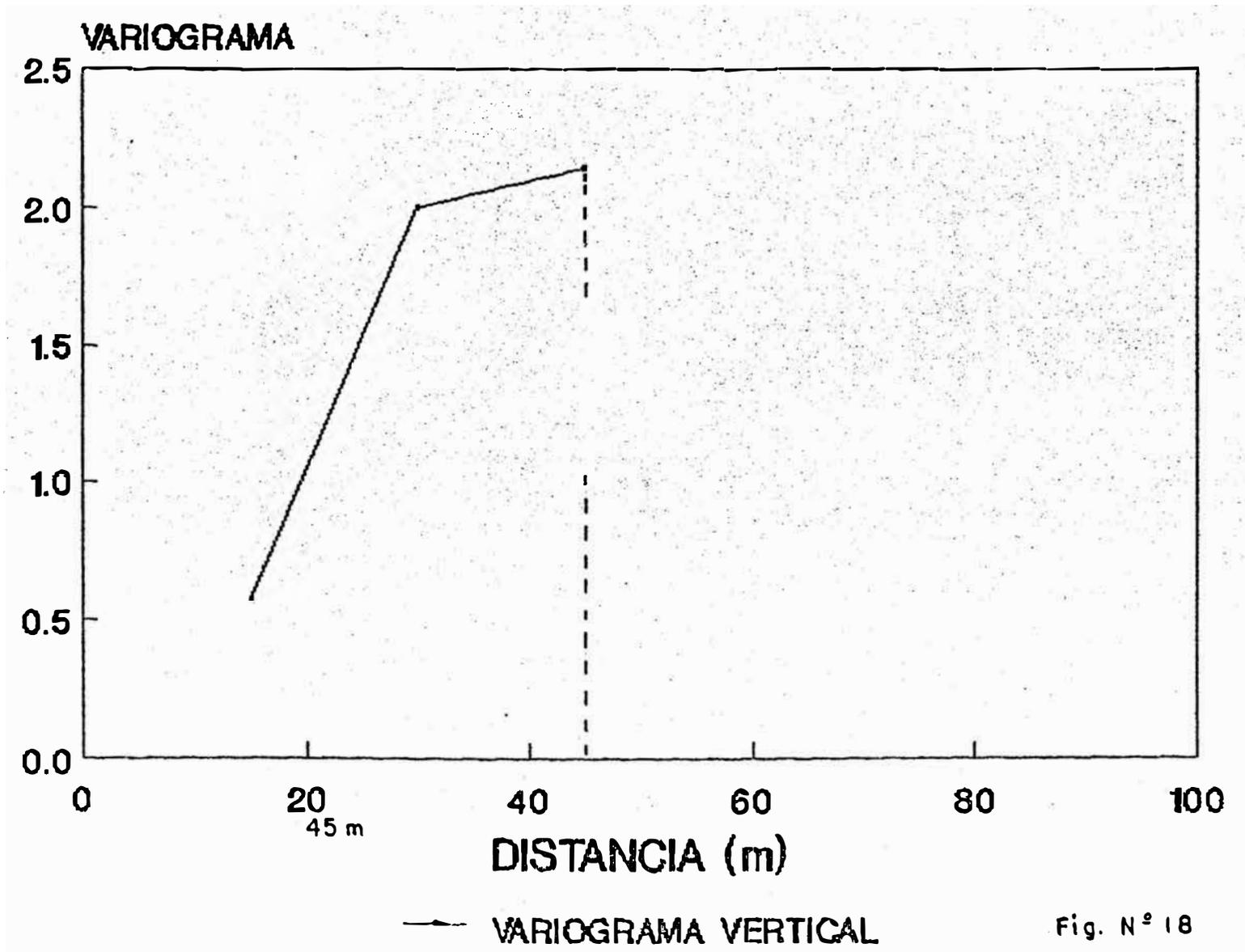


Fig. N° 17

VARIOGRAMA O-E, S-N, SO-NE, NO-SE

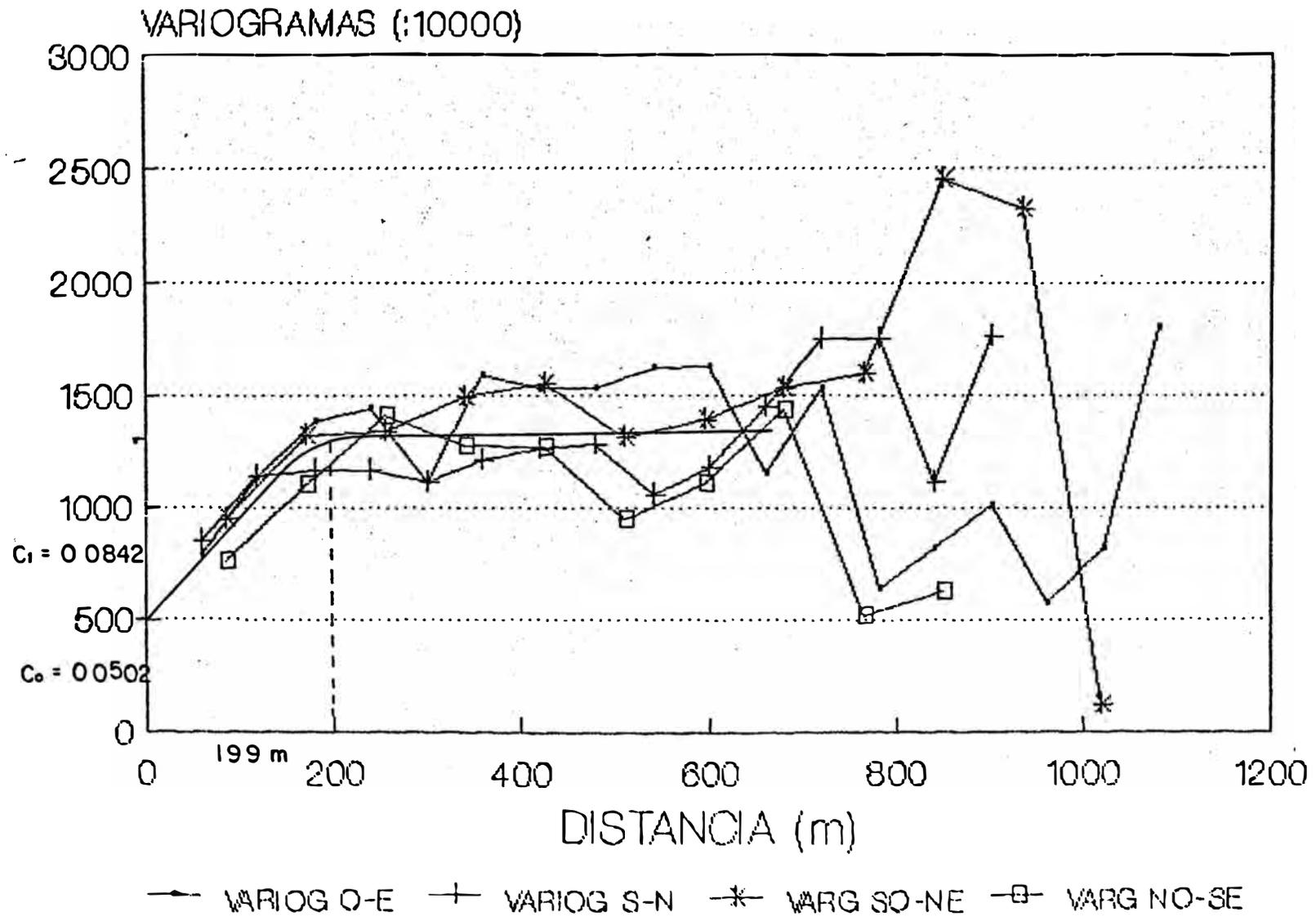
VARIOG. VERTICAL DHS.60x60-ENRIQUETADO

A:539600,85100,540800,86150 DE 3430-3505



VARIOGRAMAS - DHS. 60x60 - PRIMARIO

A:539600,85100,540800,86150-3055 A 3430

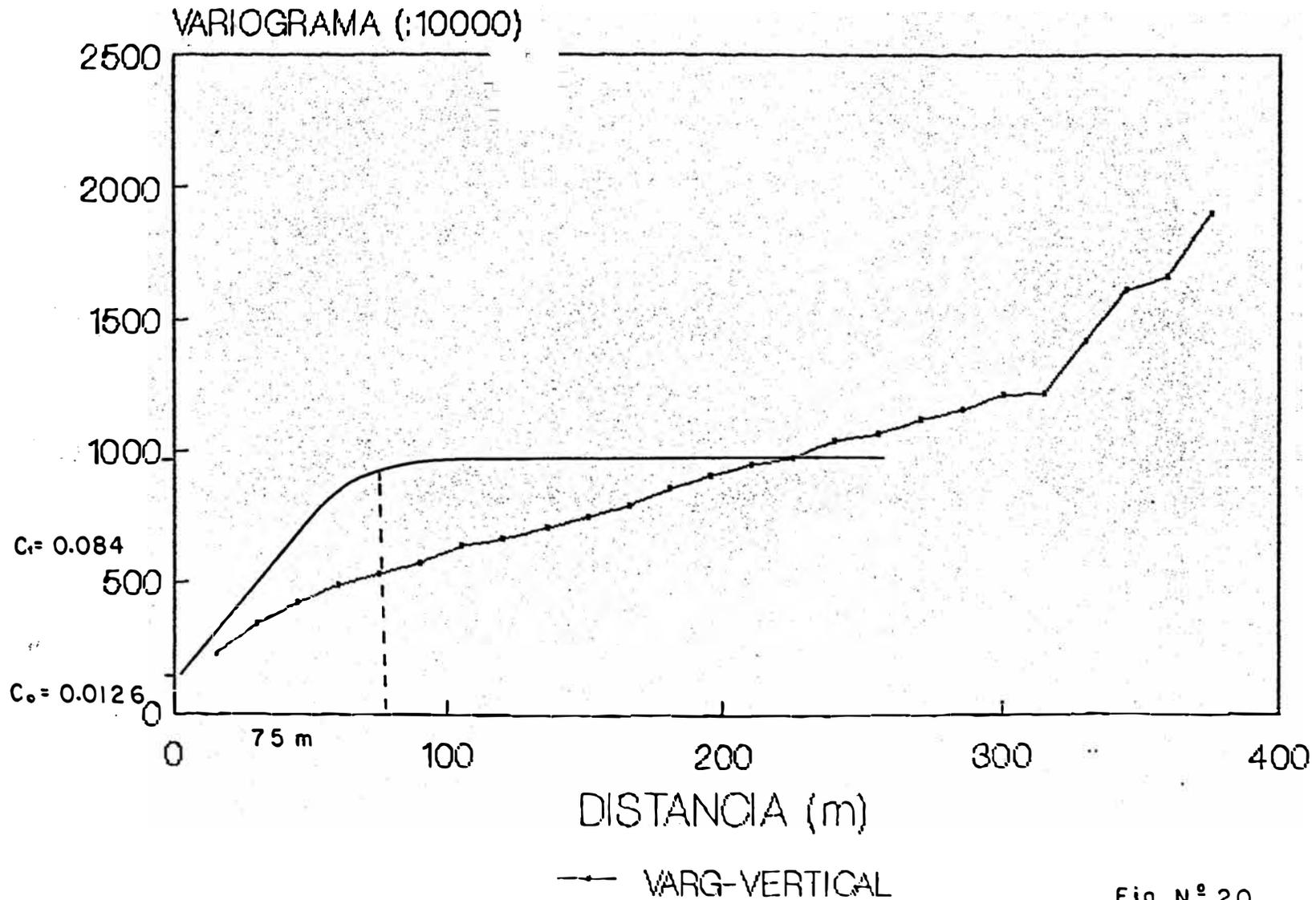


VARIOGRAMA O-E, S-N, SO-NE Y NO-SE

Fig. N° 19

VARIOGRAMA - DHS 60x60 - PRIMARIO

A:539600,85100,540800,86150 -3055 A 3430



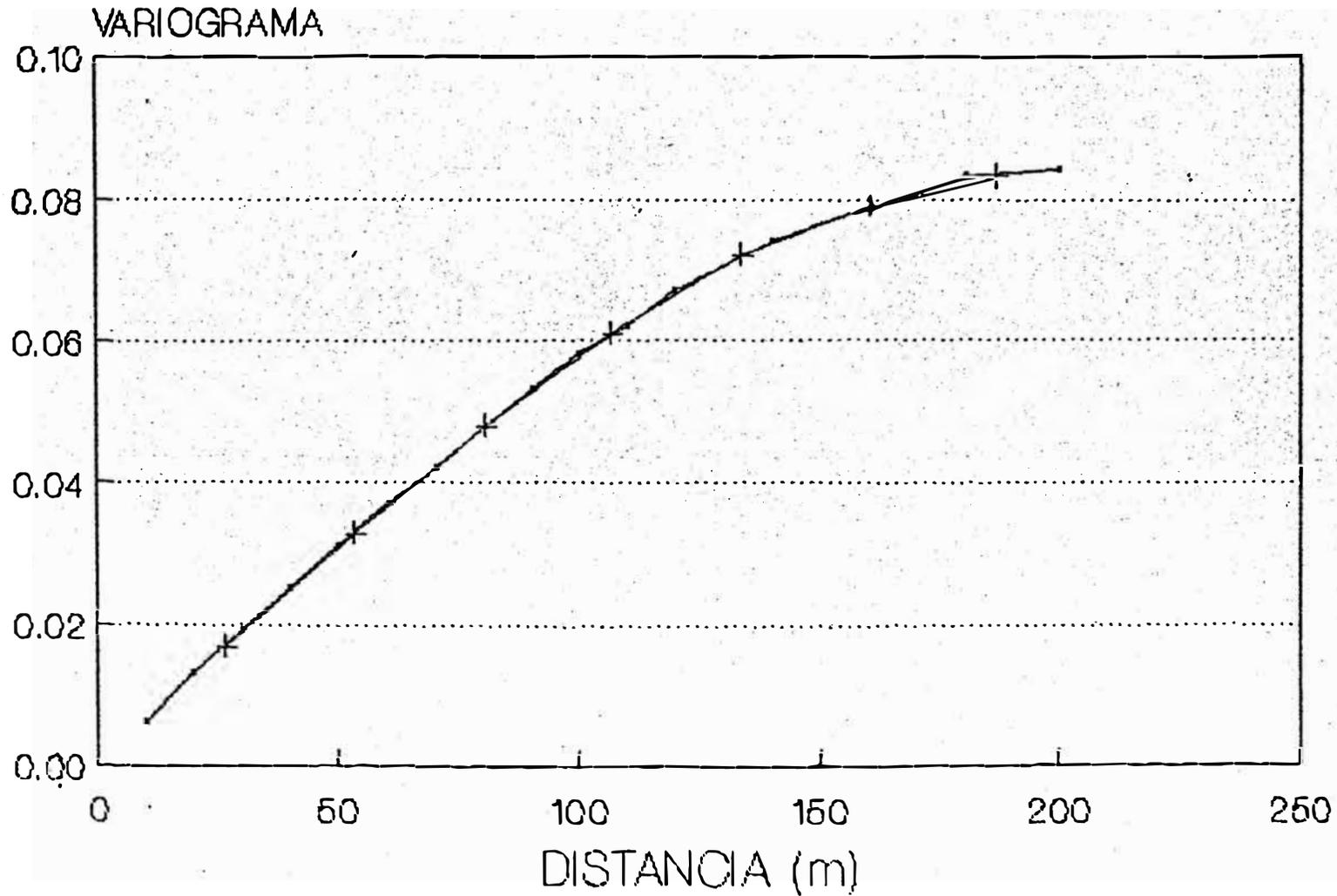
VARIOGRAMA VERTICAL

Fig. N° 20

VARIOGRAMA TRIDIMENSIONAL - PRIMARIO

VARIOG. HORIZ Y VARIOGRAMA VERTICAL

FACTOR DE ANISOTROPIA = $199/75 = 2.67$



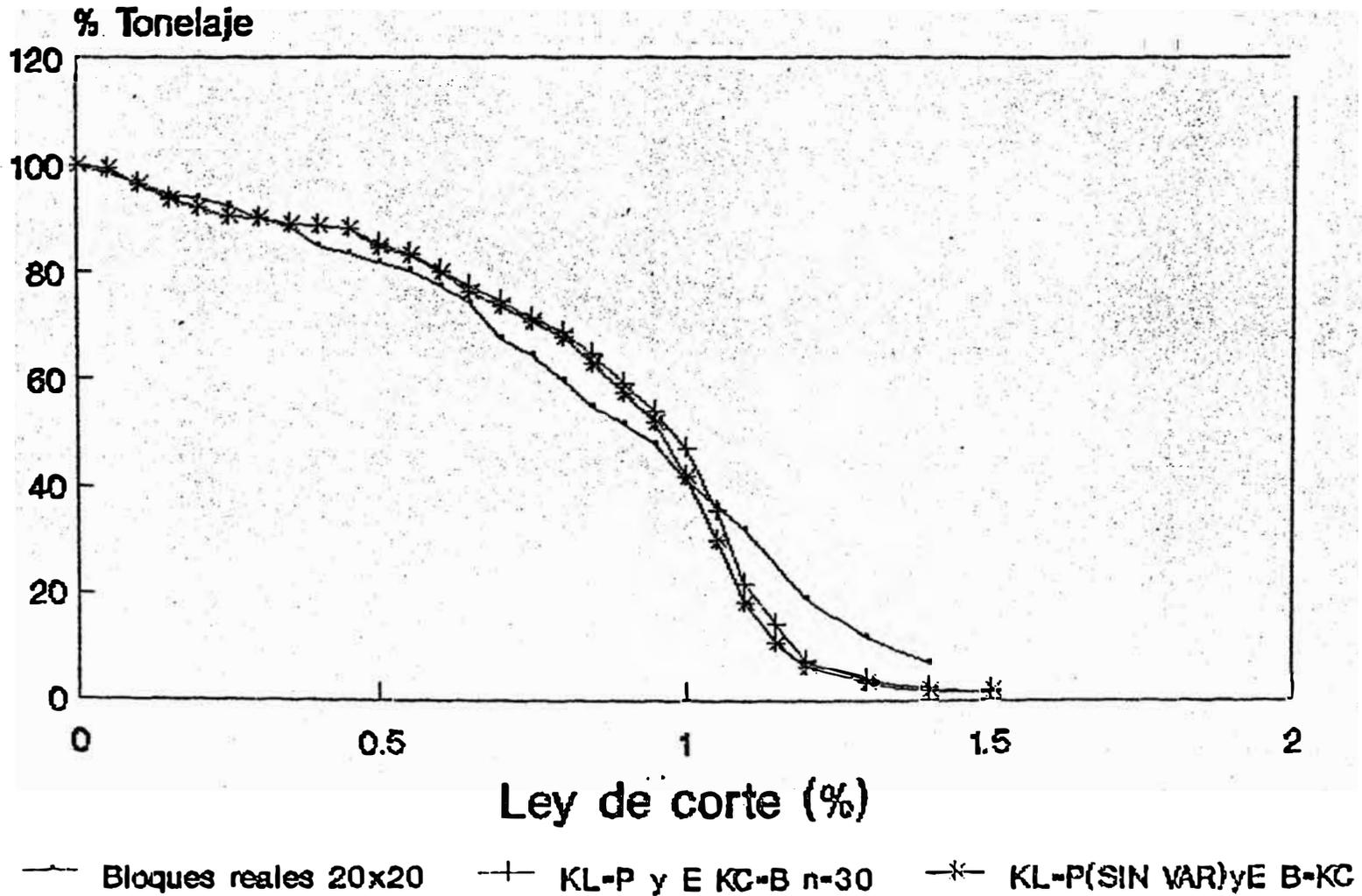
—•— VARIOG HORIZONTAL +— VARIOG VERTICAL

Fig. N° 21

COMPARACION TONELAJE vs. LEY DE CORTE

NIVEL 3385

AREA: 540000,85400,540400,85800



KL-P v E KC-B n=30 20x20

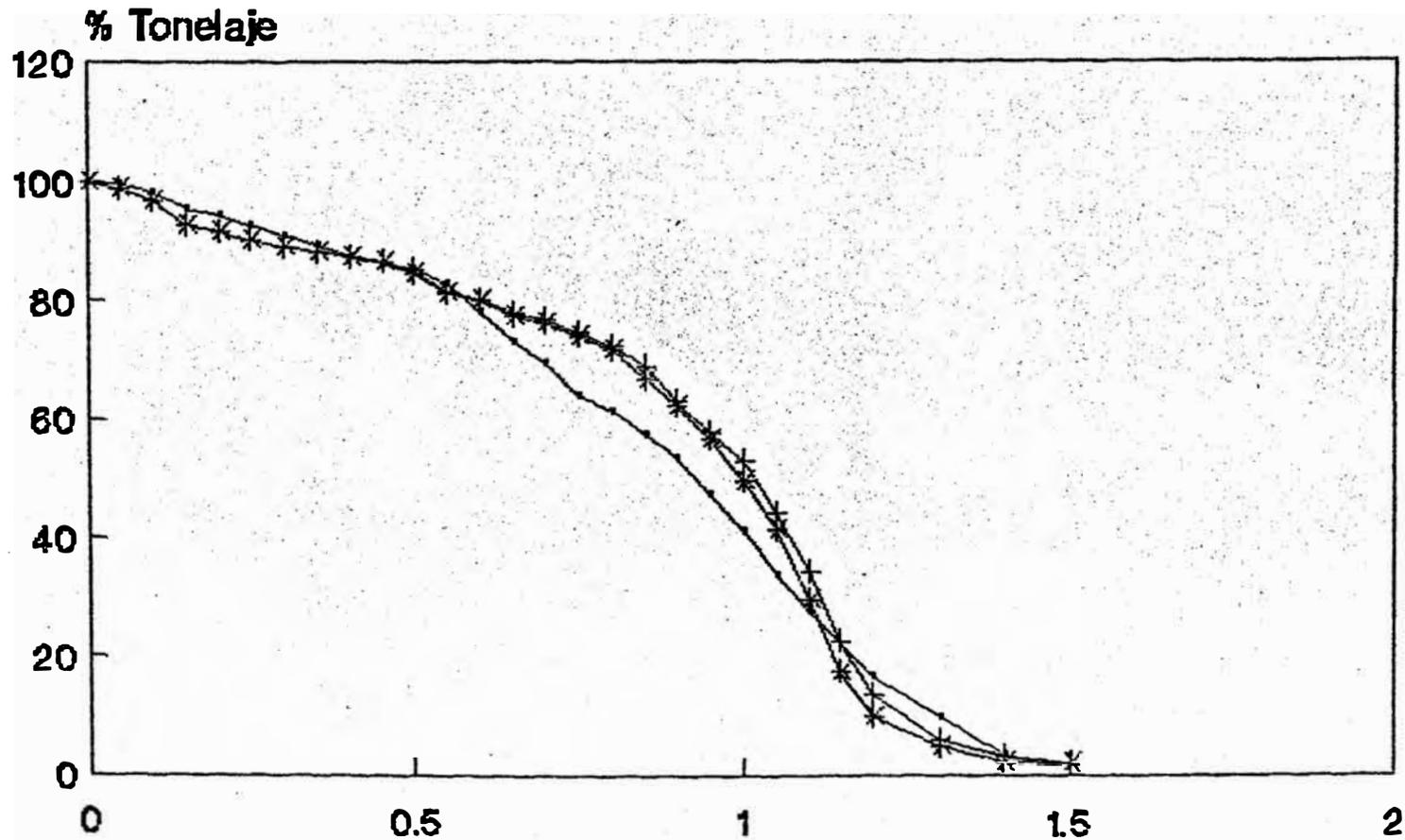
KL-P(SIN VAR) KL-E KC-B n=30 20x20

Fig. N° 22

COMPARACION TONELAJE vs. LEY DE CORTE

NIVEL 3400

AREA: 540000,85400,540400,85800



— Bloques reales 20x20

+ KL-P y E KC-B n=30

* KL-P(SIN VAR)yE B-KC

KL-P y E KC-B n=30 20x20

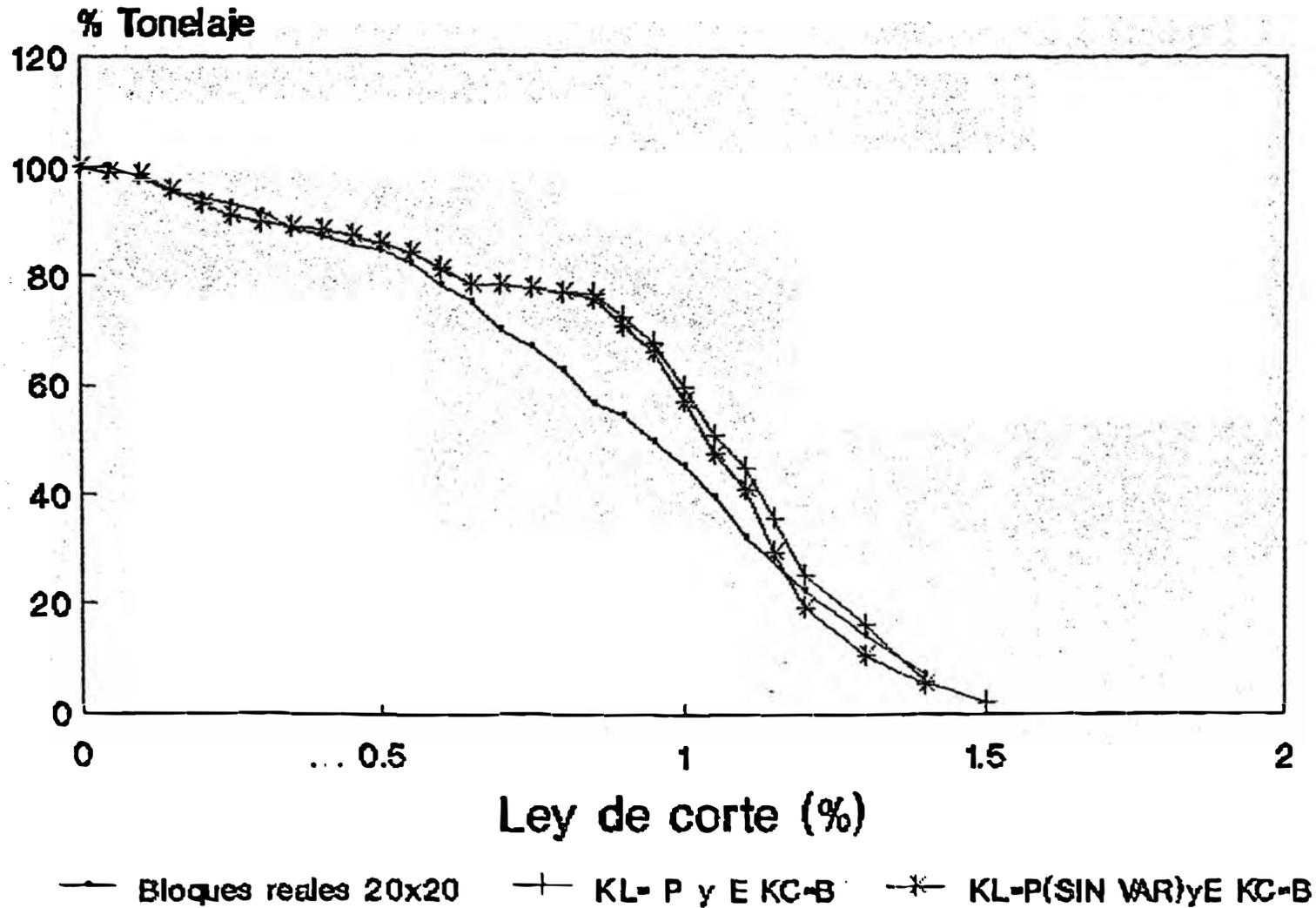
KL-P(SIN VAR) E-KL KC-B n=30 20x20

Fig. N° 23

COMPARACION TONELAJE vs. LEY DE CORTE

NIVEL 3415

AREA: 54000,85400,540400,85800



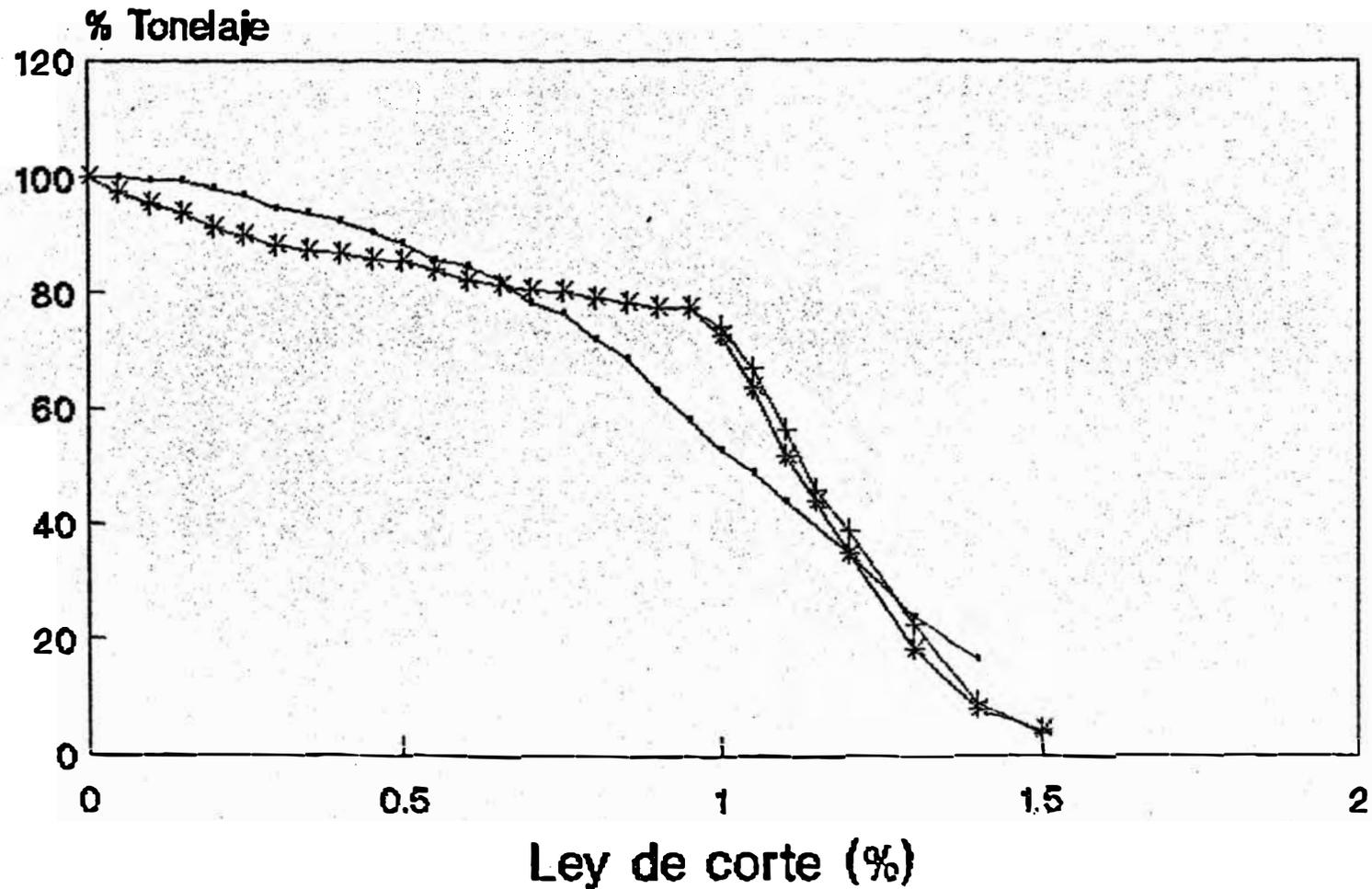
KL-P y E KC-B n=30 20x20
KL-P(SIN VAR) KL-E KC-B n=30 20x20

Fig. N° 24

COMPARACION TONELAJE vs. LEY DE CORTE

NIVEL 3430

AREA: 640000,85400,640400,85800



—•— Bloques reales 20x20

+ KL-P y E KC-B

* KL-P(SIN VAR)yE KC-B

KL-P y E KC-B n=30 20x20

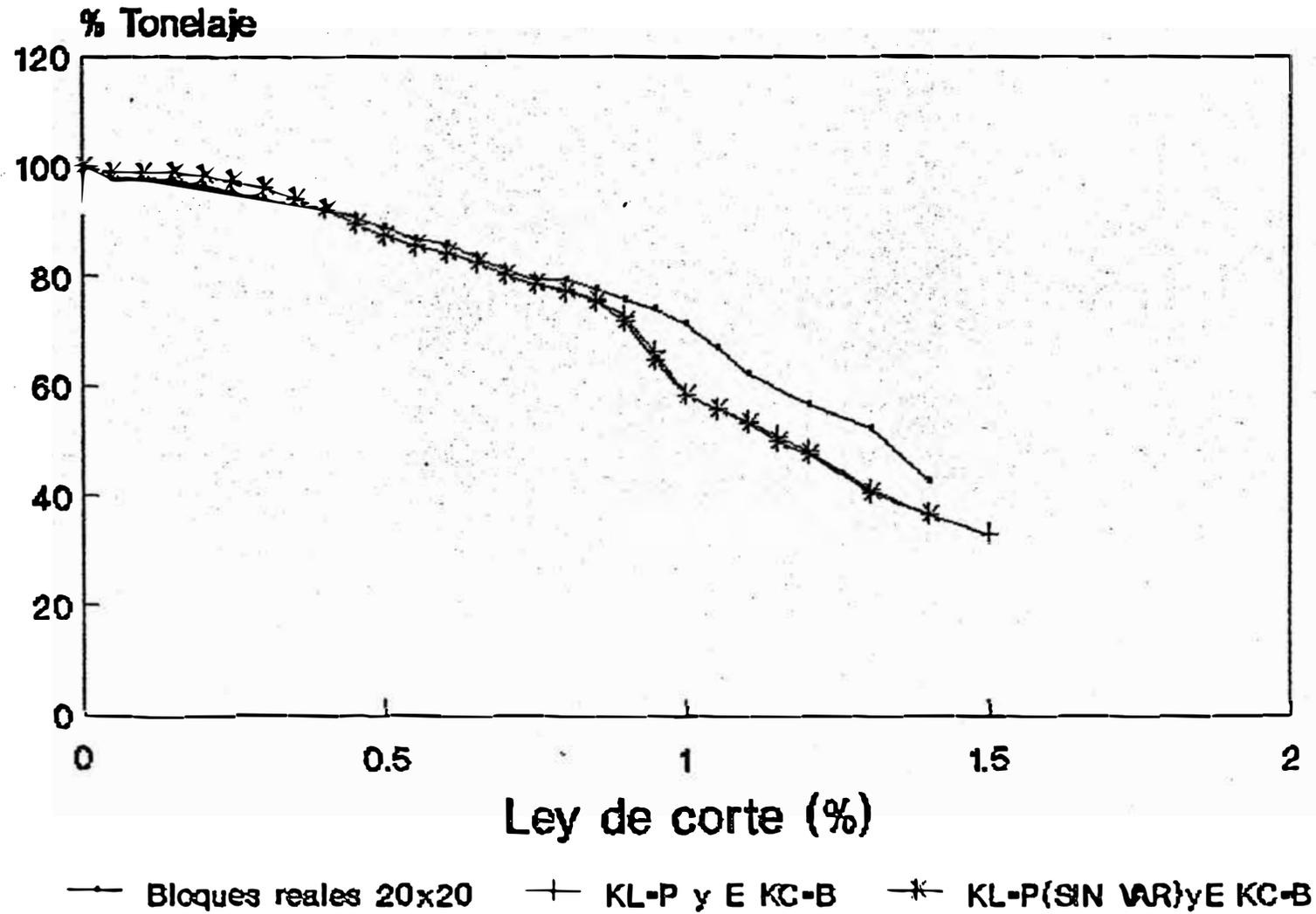
KL-P(SIN VAR) KL-E KC-B n=30 20x20

Fig. N° 25

COMPARACION TONELAJE vs. LEY DE CORTE

NIVEL 3445

AREA: 640000,85400,540400,85800



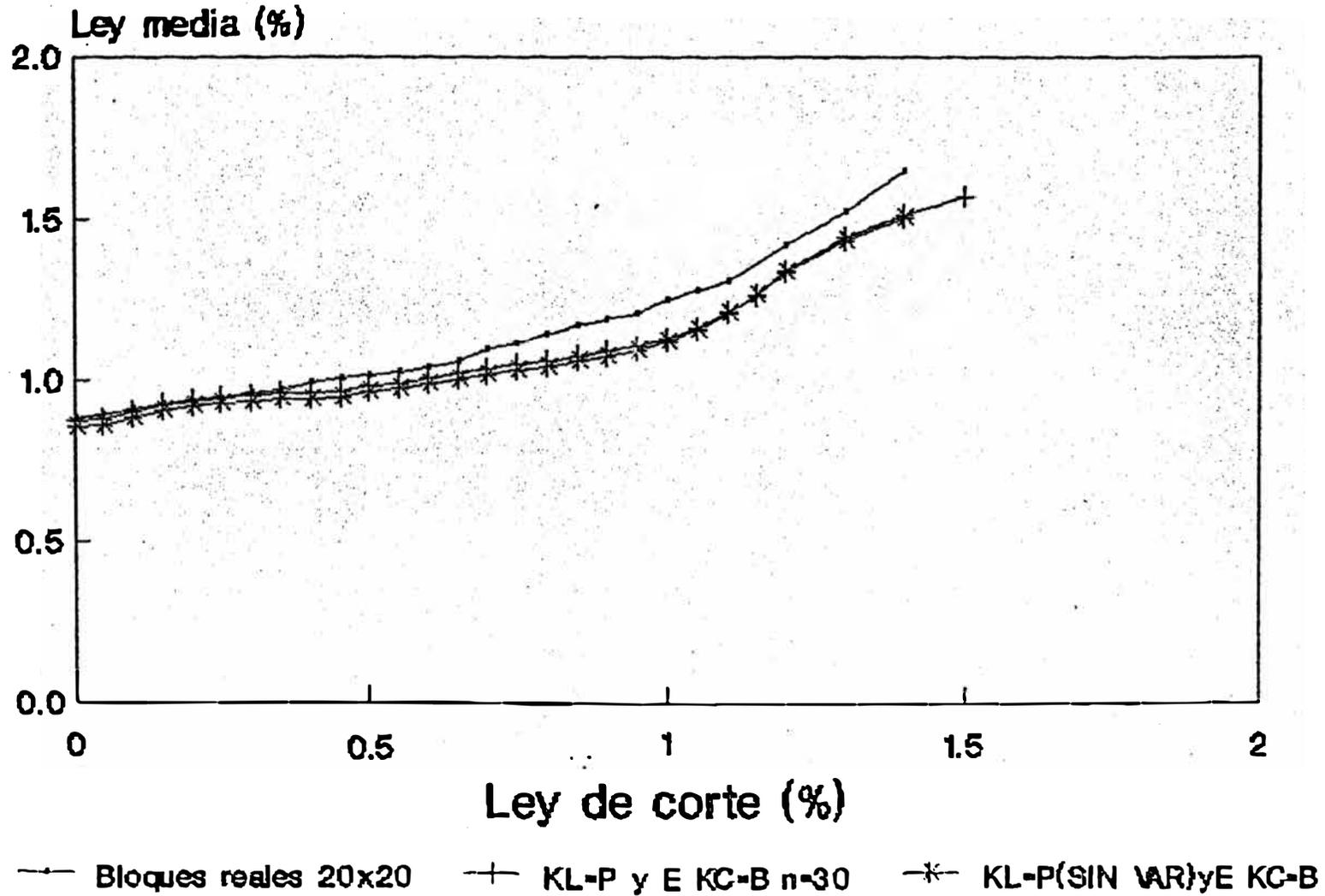
KL-P y E KC-B n-30 20x20
KL-P(SIN VAR) KL-E KC-B n-30 20x20

Fig. N° 26

COMPARACION LEY MEDIA vs. LEY DE CORTE

NIVEL 3385

AREA: 540000,85400,540400,85800



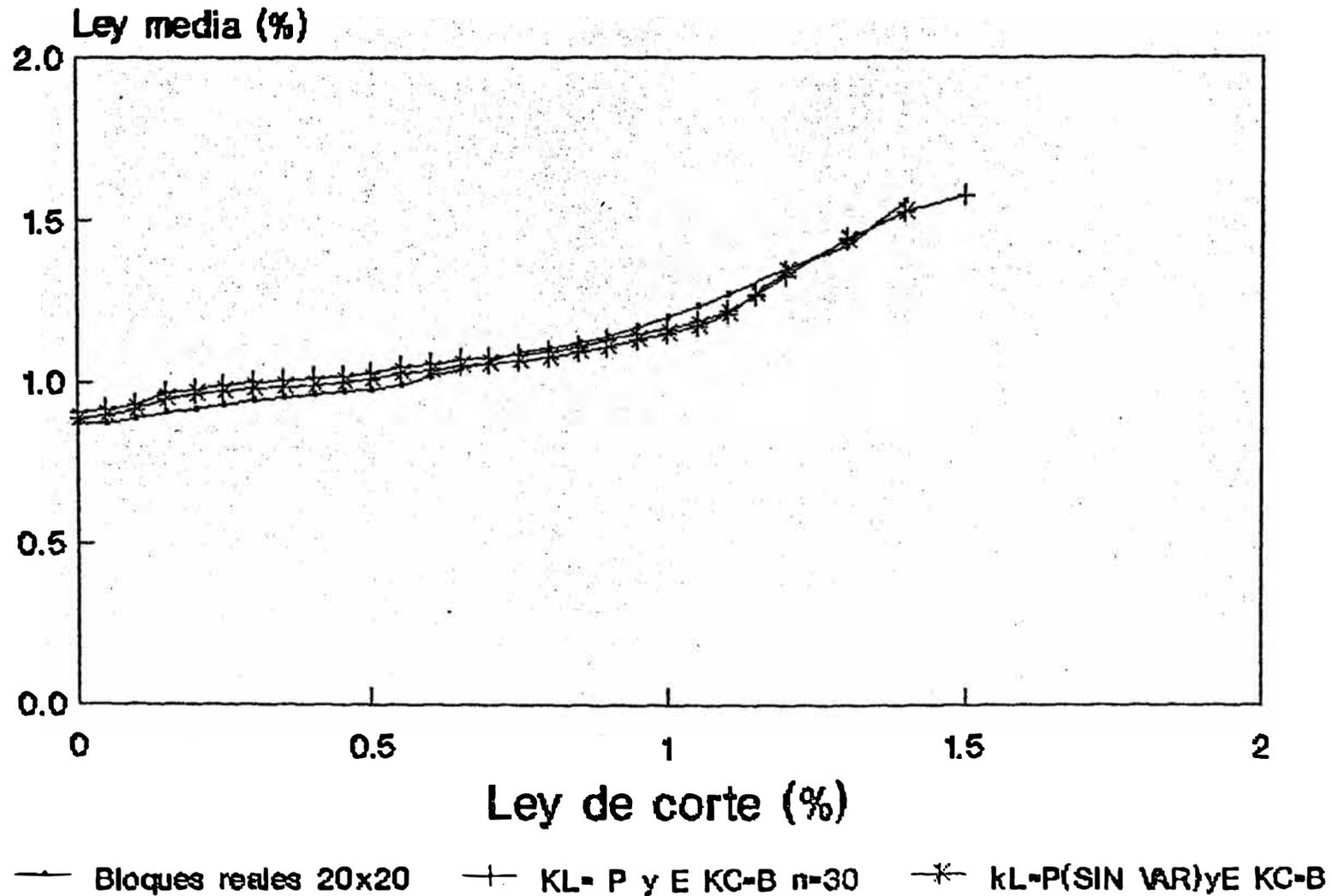
KL-P y E KC-B n-30 20x20
KL-P(SIN VAR) KL-E KC-B n-30 20x20

Fig. N° 27

COMPARACION LEY MEDIA vs. LEY DE CORTE

NIVEL 3400

AREA: 540000,85400,540400,85800



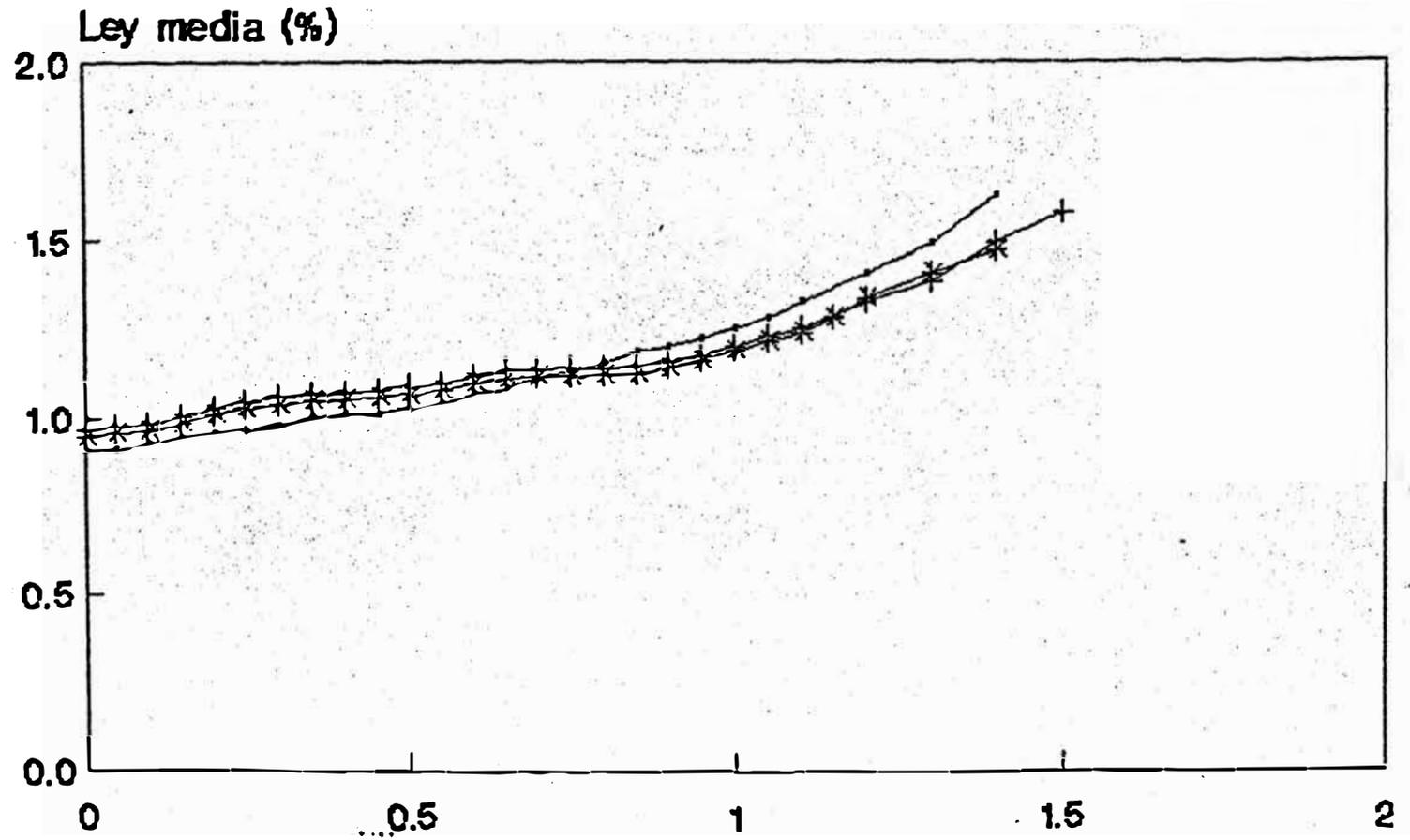
KL-P y E KC-B n=30 20x20
KL-P(SIN VAR) KL-E KC-B n=30 20x20

Fig. N° 28

COMPARACION LEY MEDIA vs. LEY DE CORTE

NIVEL 3415

AREA: 540000,85400,540400,85800



—•— Bloques reales 20x20

—+— KL-P y E KC-B

—*— KL-P(SIN VAR)yE KC-B

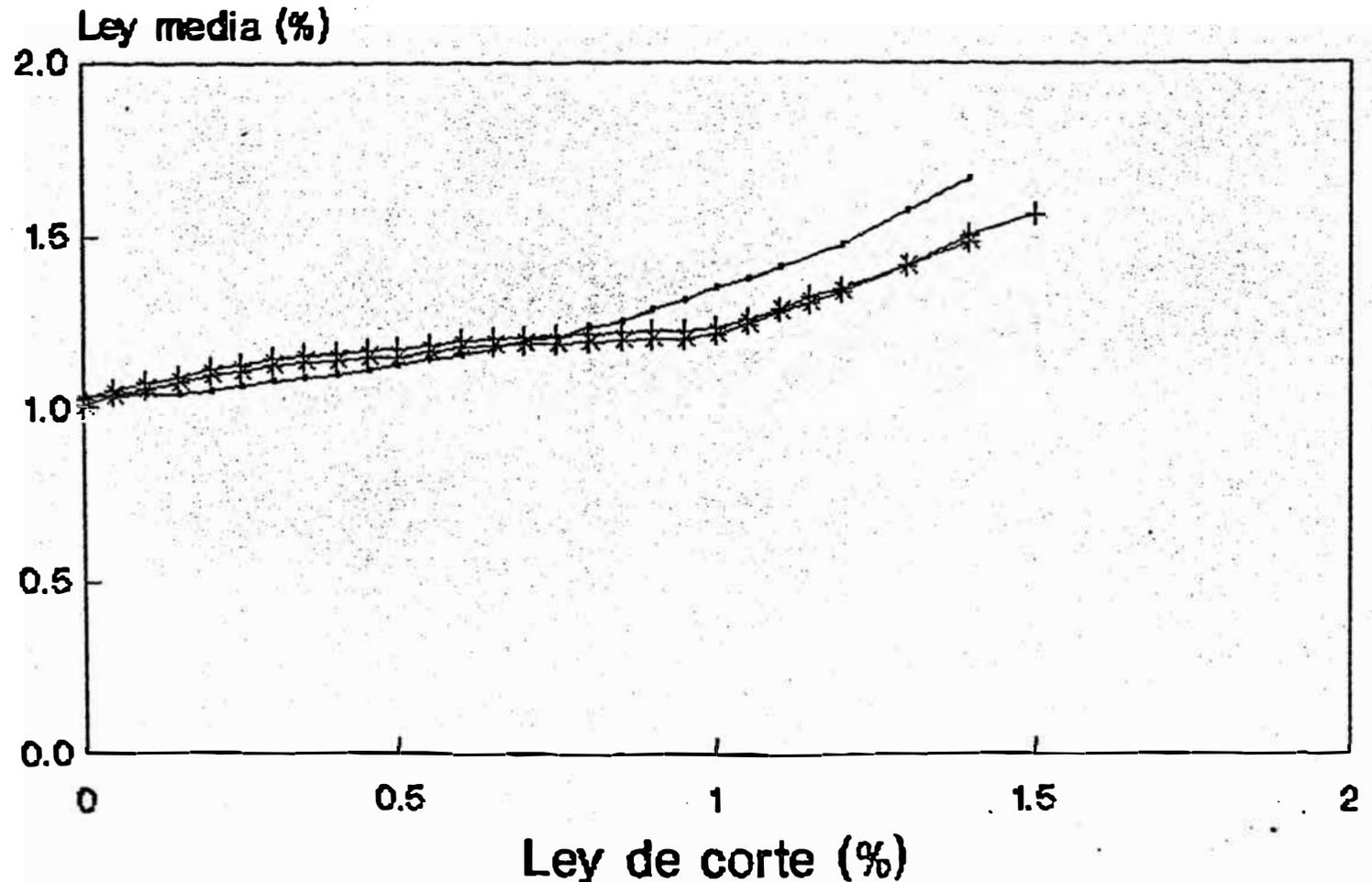
KL-P y E KC-B n=30 20X20
KL-P(SIN VAR) KL-E KC-B n=30 20x20

Fig. N° 29

COMPARACION LEY MEDIA vs. LEY DE CORTE

NIVEL 3430

AREA: 640000,85400,540400,85800



— Bloques reales 20x20 + KL-P y E KC-B * KL-P(SIN VAR) y E KC-B

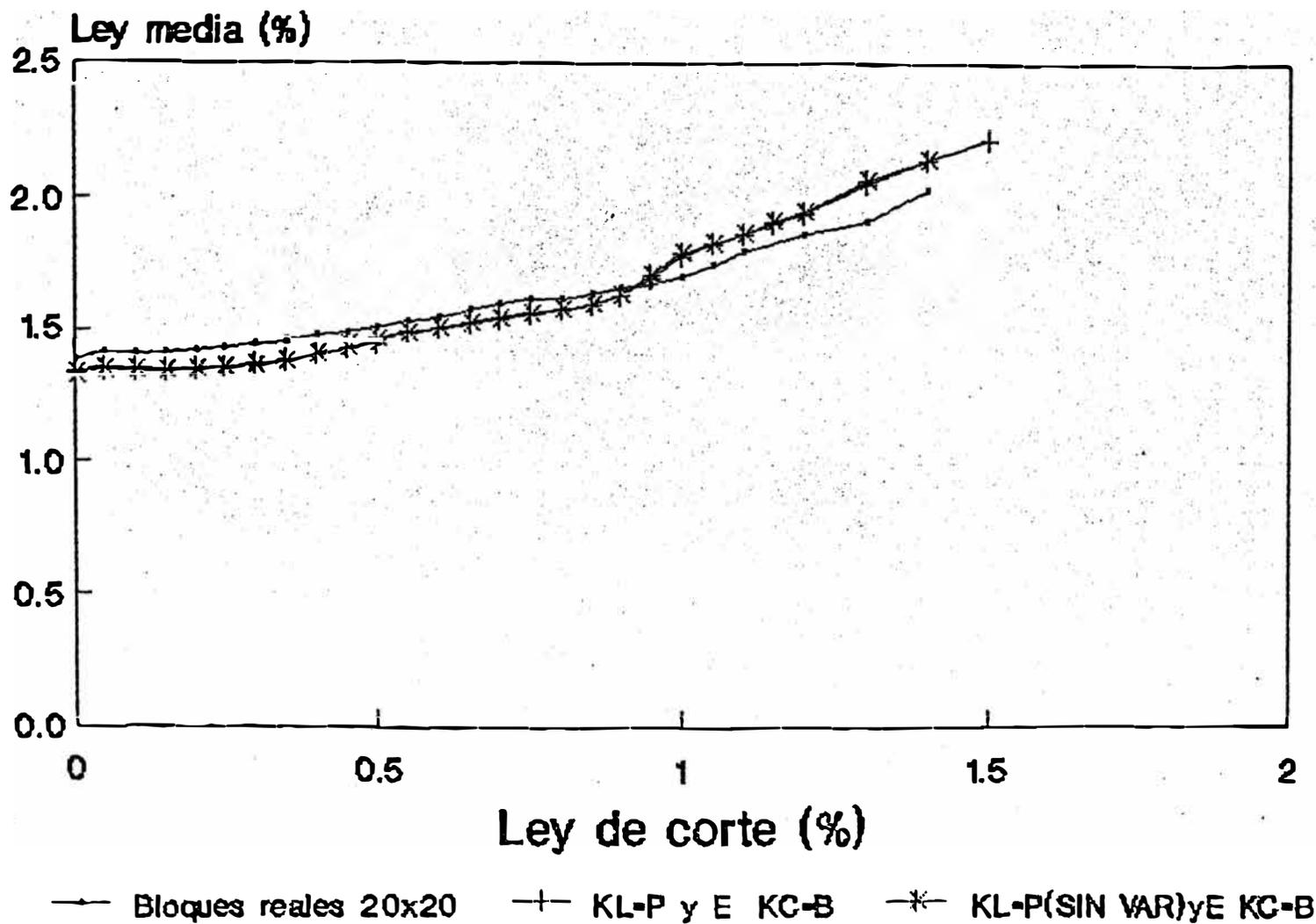
KL-P y E KC-B n=30 20x20
KL-P(SIN VAR) KL-E KC-B n=30 20x20

Fig. N° 30

COMPARACION LEY MEDIA vs. LEY DE CORTE

NIVEL 3445

AREA: 540000,85400,540400,85800



KL-P y E KC-B n=30 20x20

KL-P(SIN VAR) KL-E KC-B n=30 20x20

Fig. N° 31

COMPARACION LEY REAL VS LEY ASIG. 20X20

LEYES DE BRECHA DE 3385 A 3445-PRISMA

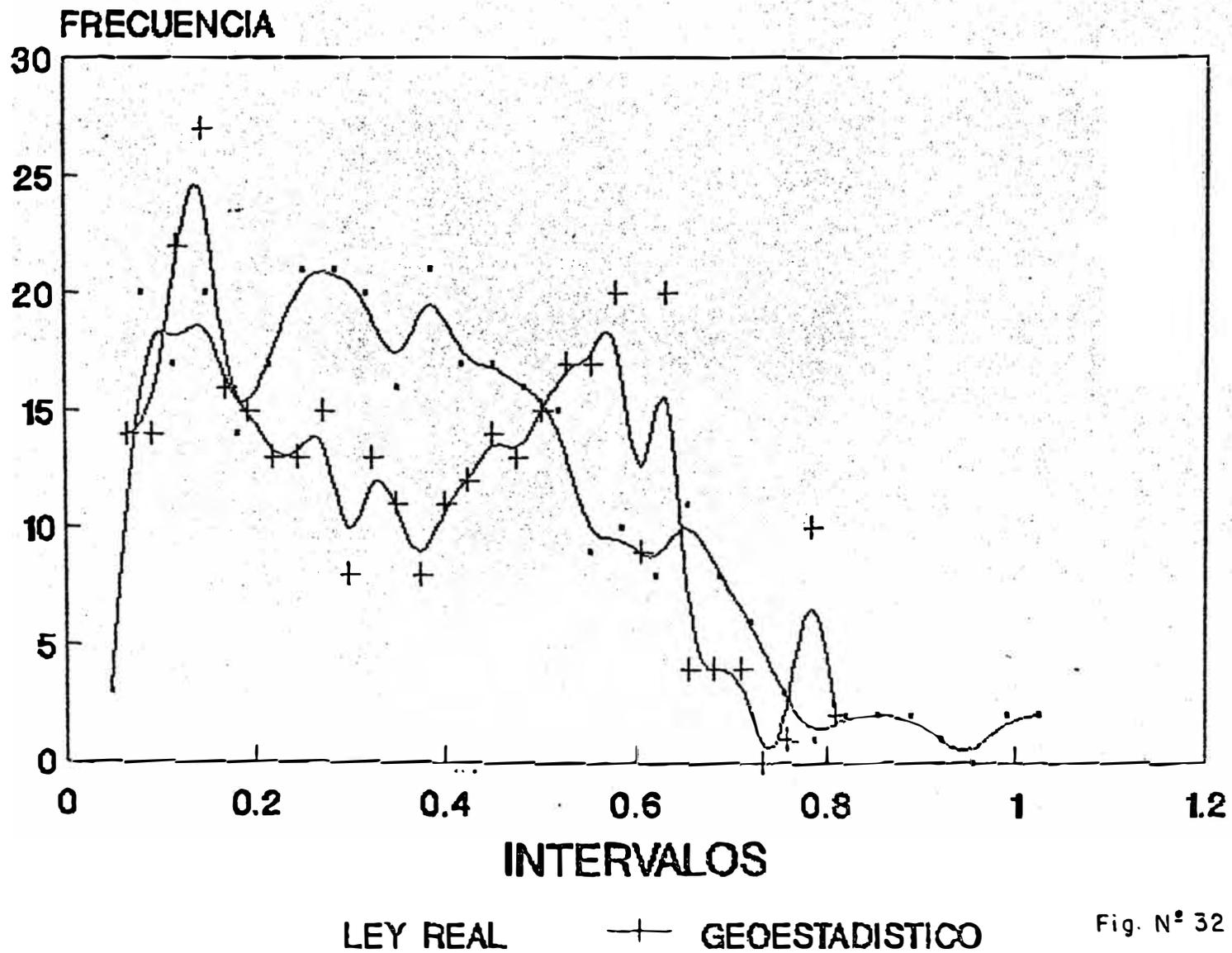


Fig. N° 32

COMPARACION LEY REAL VS LEY ASIG. 20X20

LEYES DE ENRIQUEC DE 3385 A 3445-PRISMA

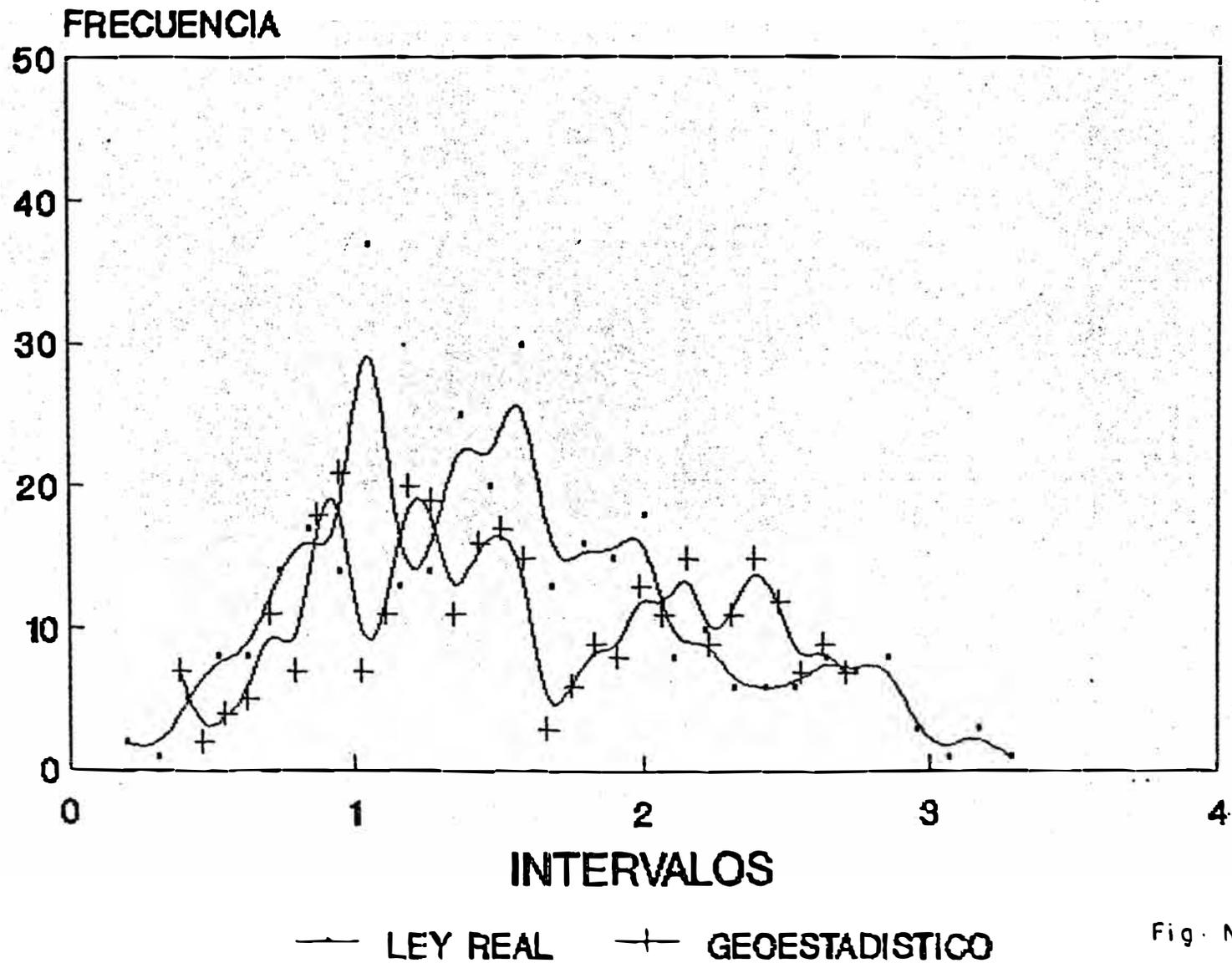


Fig. N° 33

COMPARACION LEY REAL VS LEY ASIG. 20X20

LEYES DE PRIMARIO DE 3385 A 3445-PRISMA

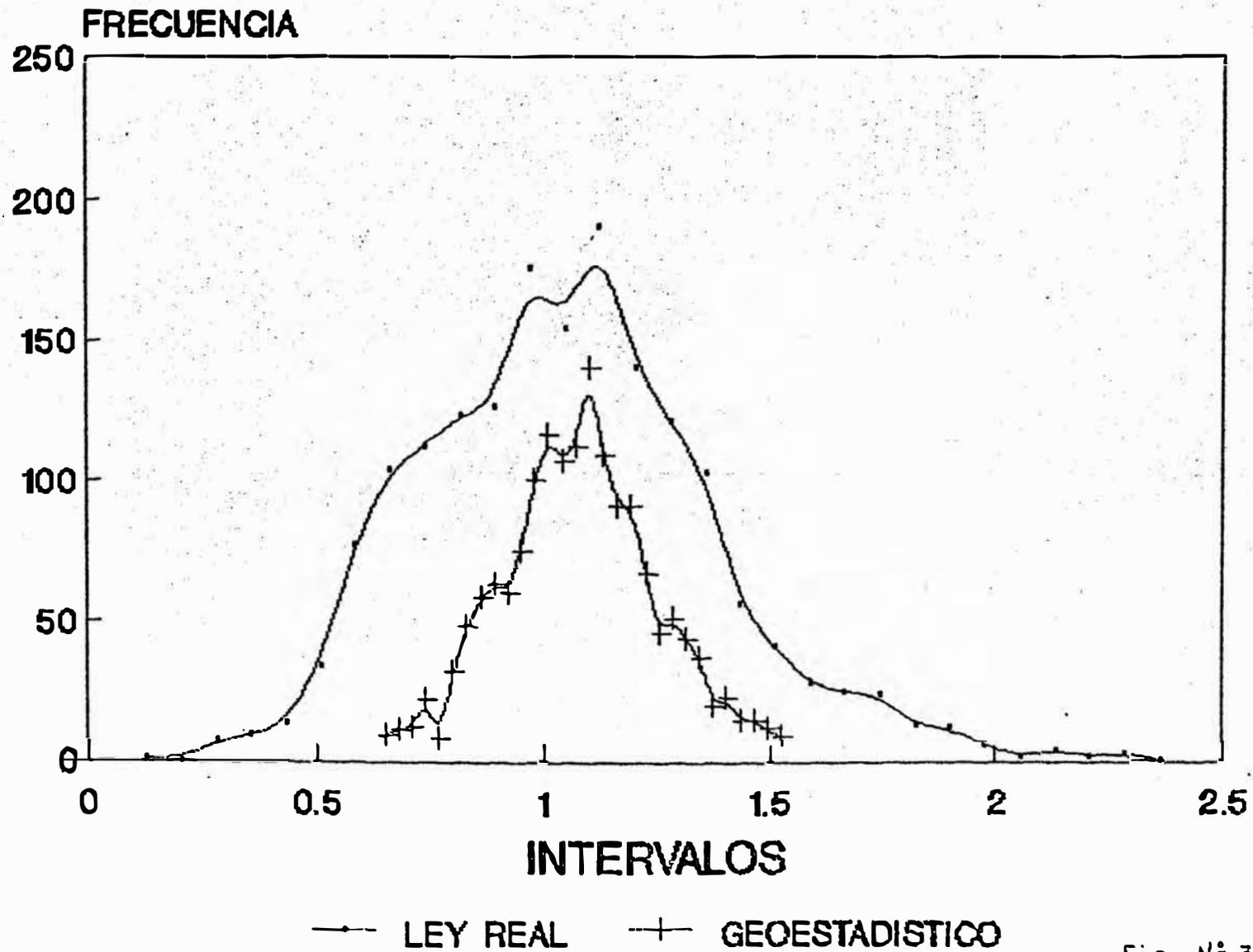


Fig. N° 34

COMPARACION LEY REAL VS LEY ASIG. 20X20

LEYES DE BRECHA DE 3385 A 3445-PRISMA

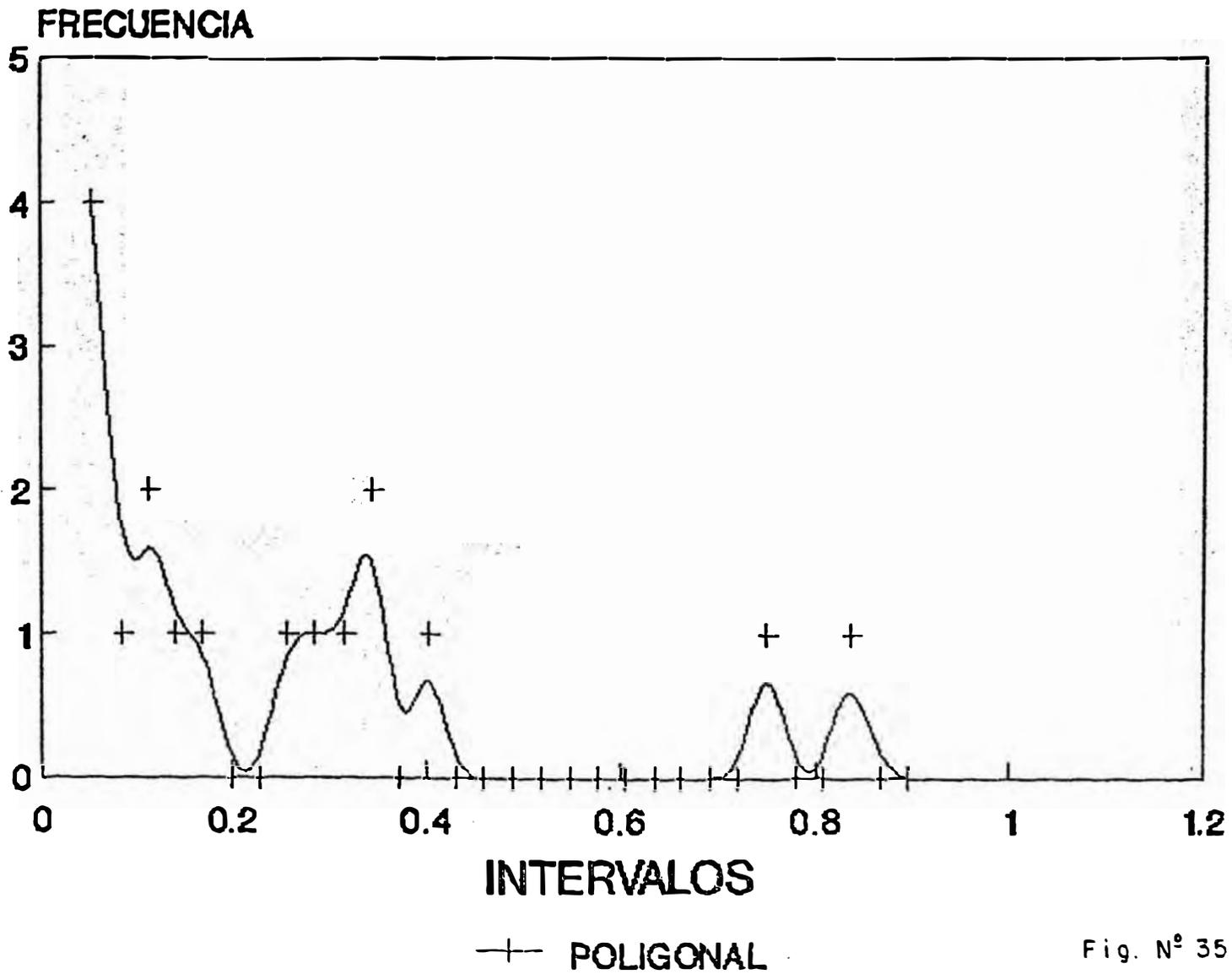
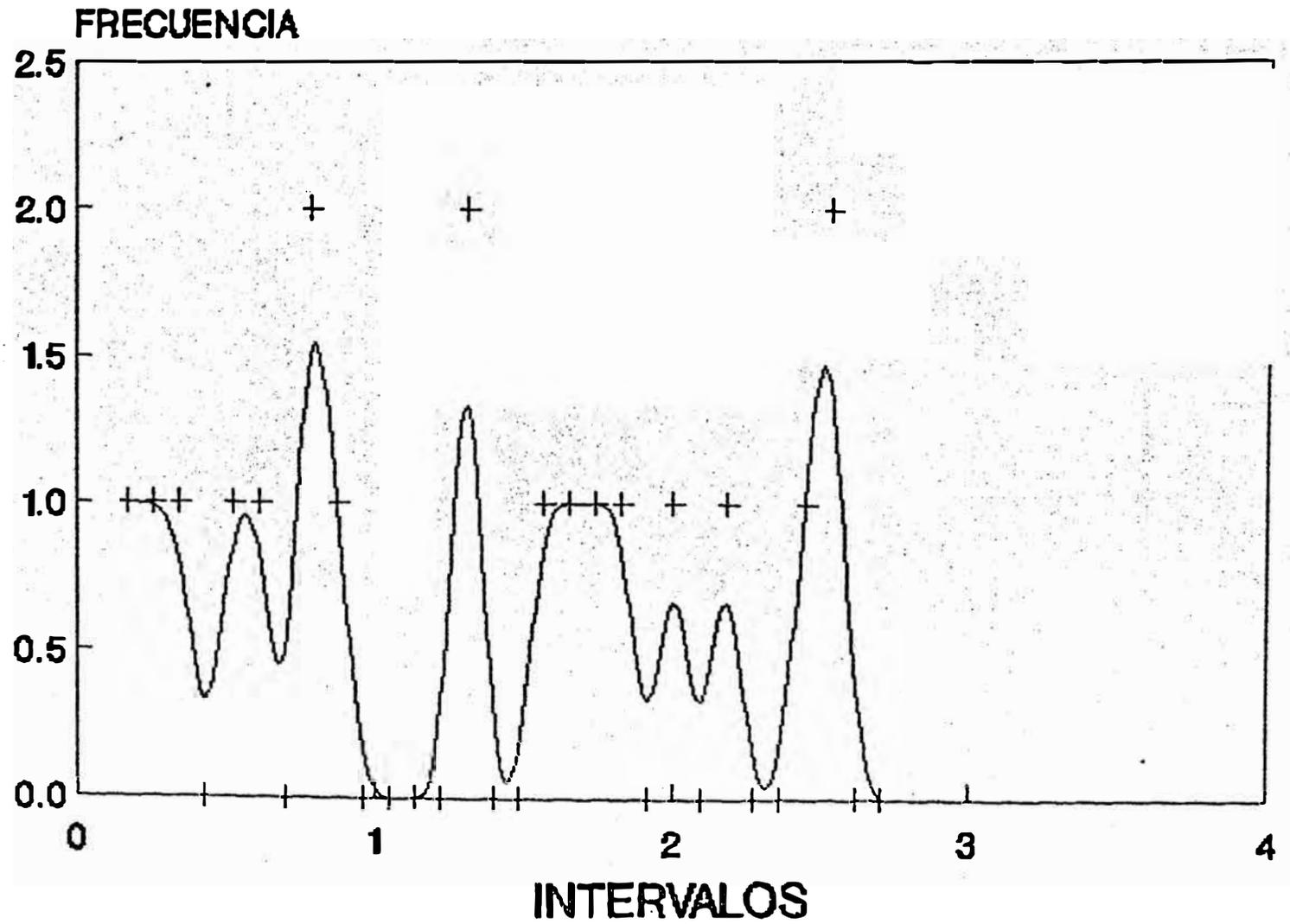


Fig. N° 35

COMPARACION LEY REAL VS LEY ASIG. 20X20

LEYES DE ENRIQUEC DE 3385 A 3445-PRISMA



—+— POLIGONAL

Fig. N° 36

COMPARACION LEY REAL VS LEY ASIG. 20X20

LEYES DE PRIMARIO DE 3385 A 3445-PRISMA

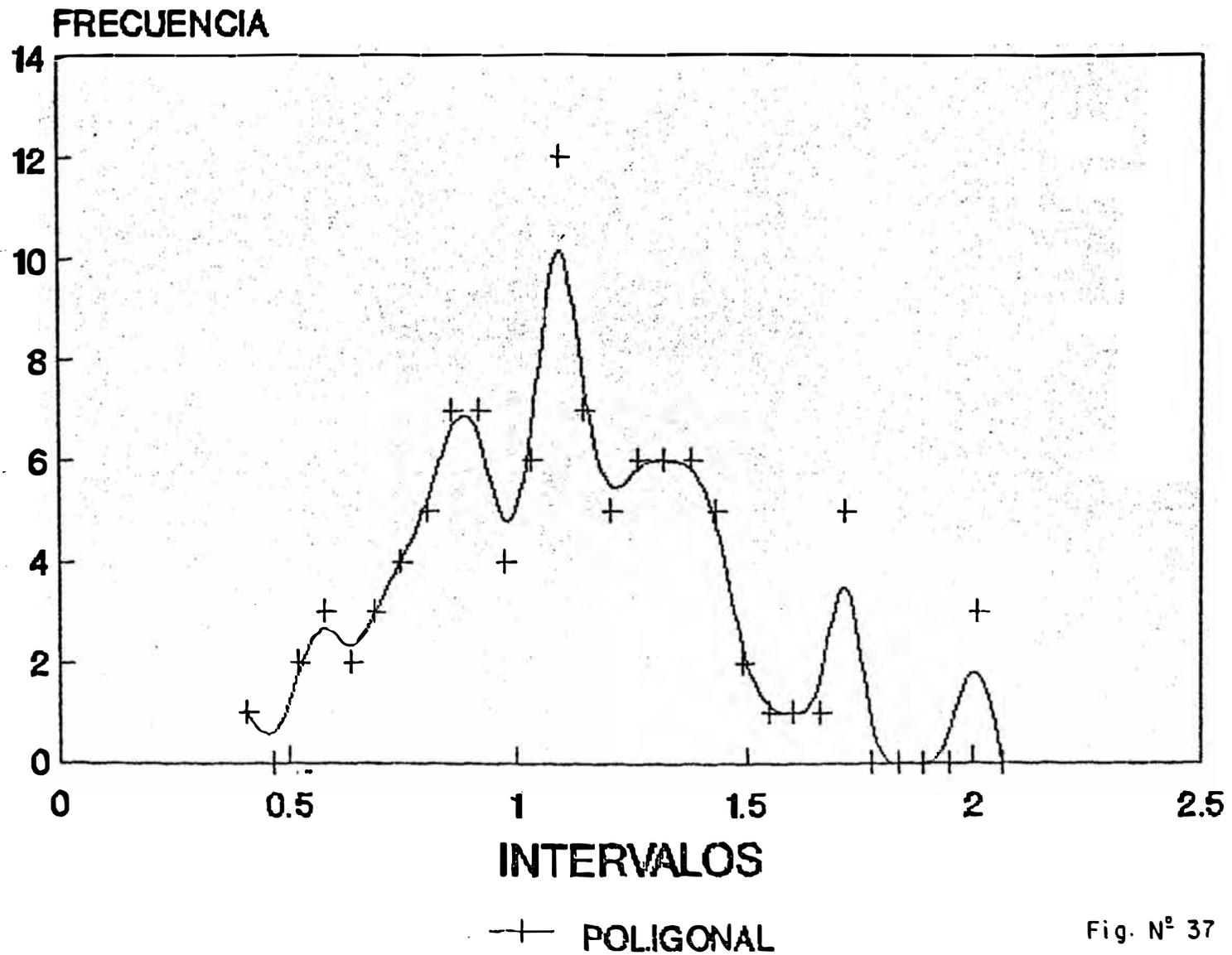


Fig. N° 37

COMPARACION LEY REAL VS LEY ASIG. 20X20

LEYES DE BRECHA DE 3385 A 3445-PRISMA

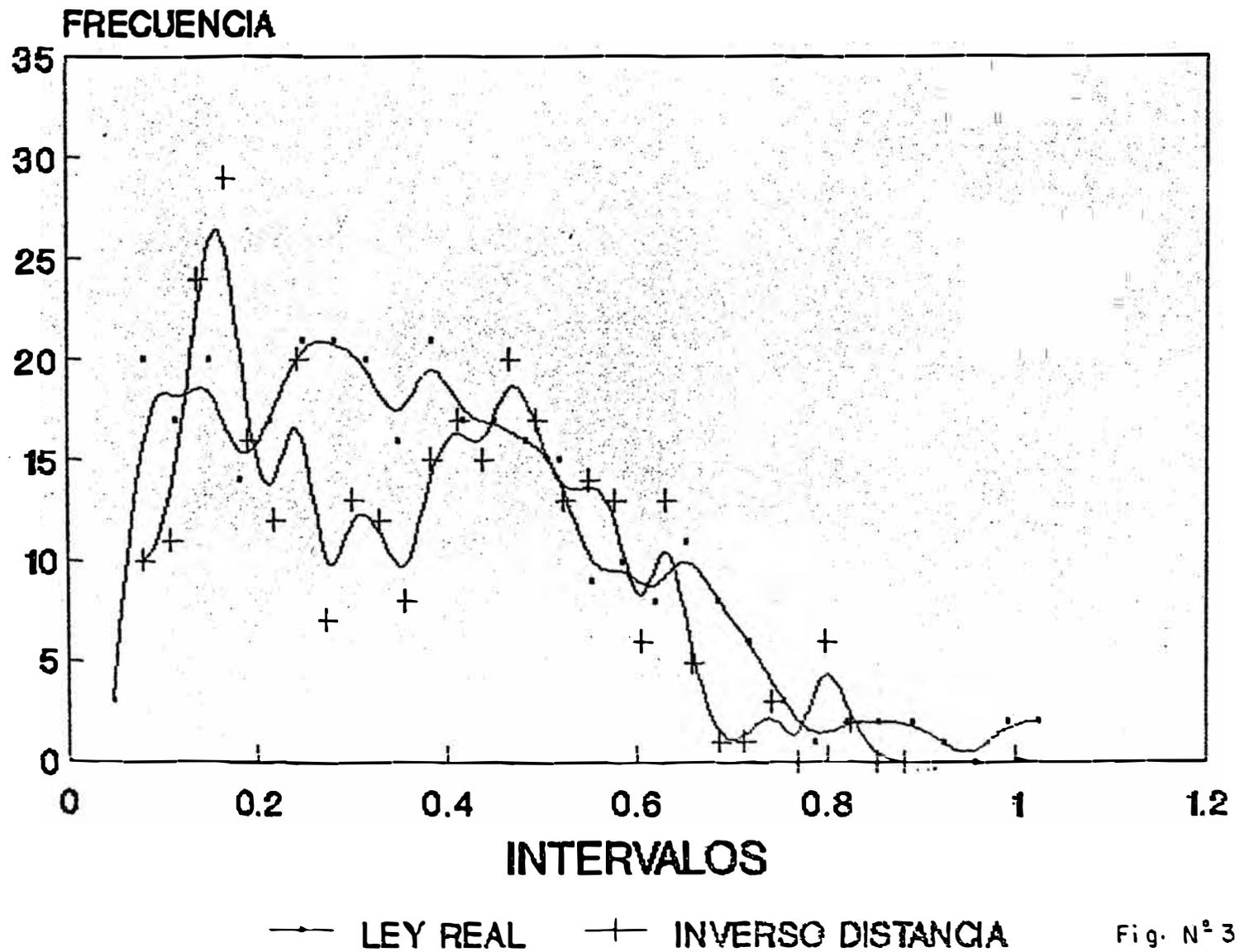
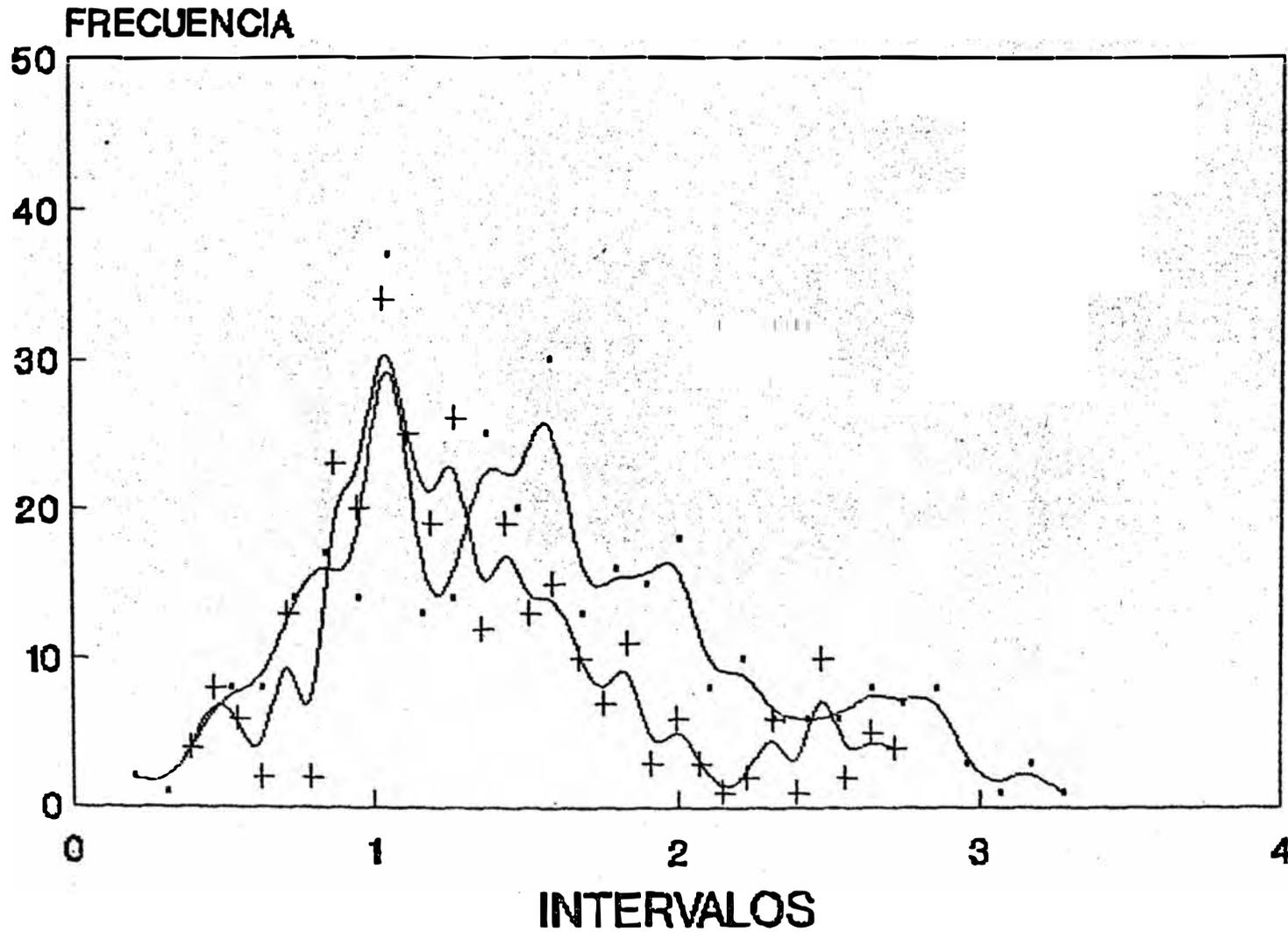


Fig. N° 36

COMPARACION LEY REAL VS LEY ASIG. 20X20

LEYES DE ENRIQUEC DE 3385 A 3445-PRISMA

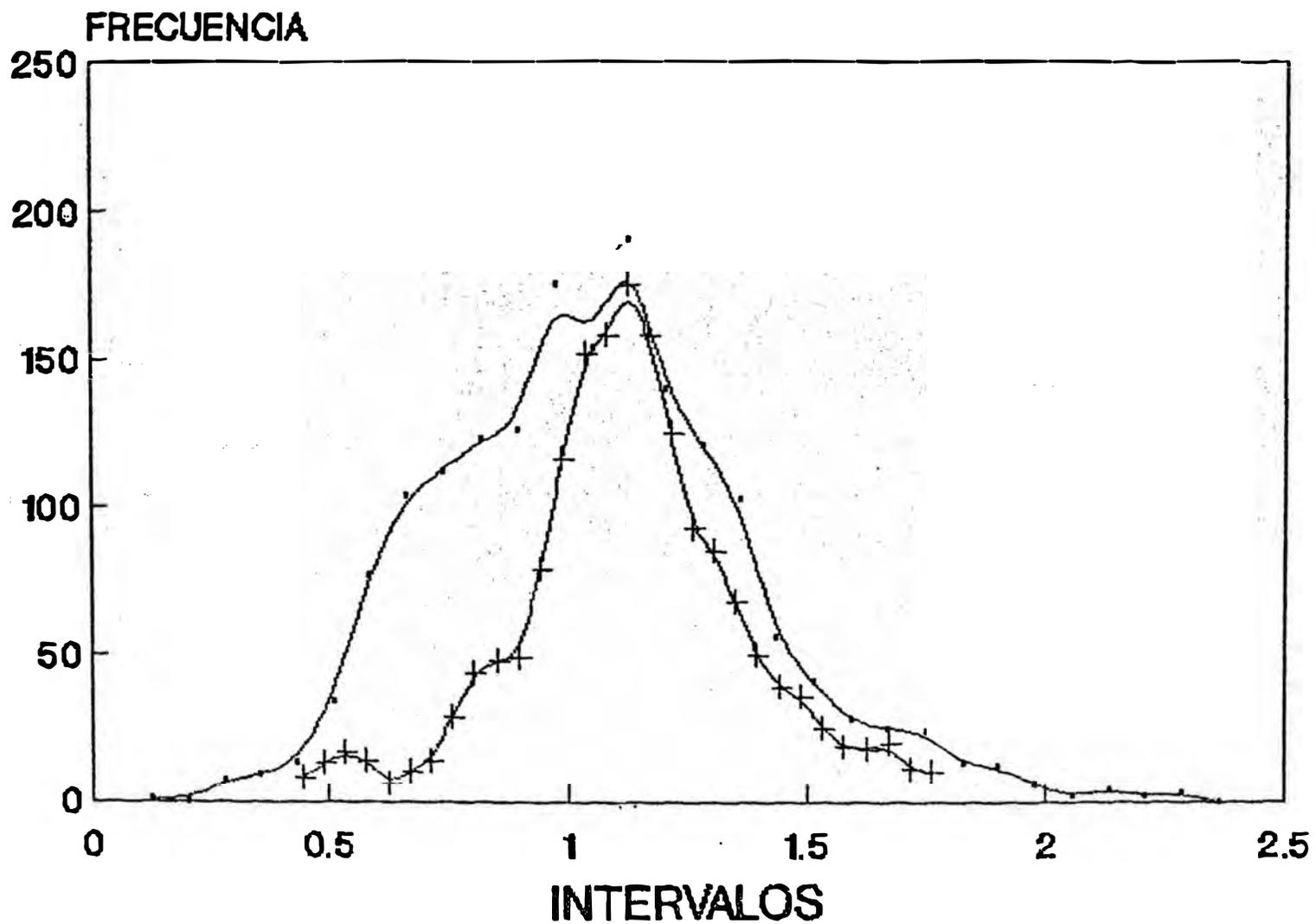


— LEY REAL + INVERSO DISTANCIA

Fig. N° 39

COMPARACION LEY REAL VS LEY ASIG. 20X20

LEYES DE PRIMARIO DE 3385 A 3445-PRISMA



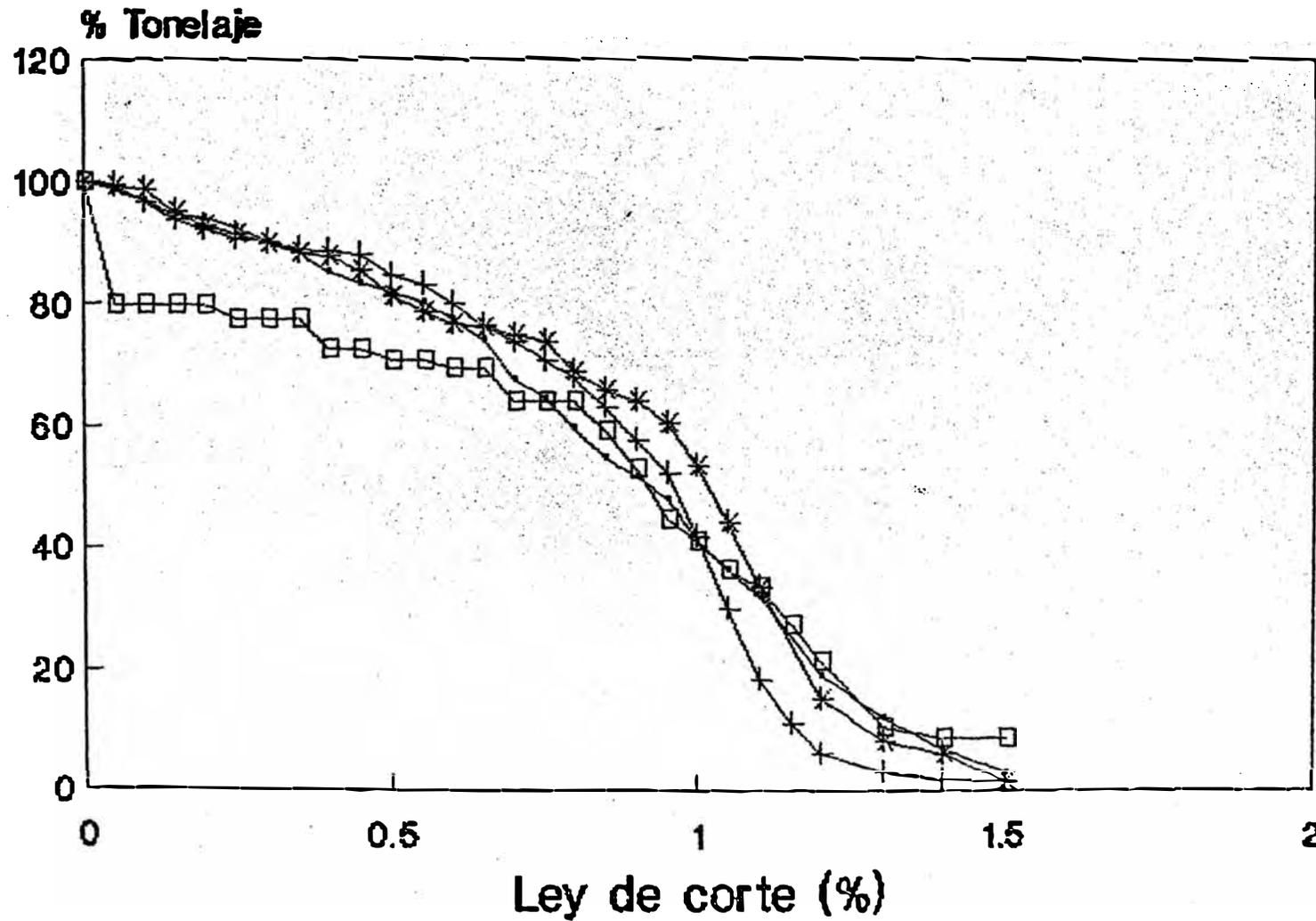
—•— LEY REAL -+ - INVERSO DE DISTANCIA

Fig. N° 40

COMPARACION TONELAJE vs. LEY DE CORTE

NIVEL 3385

AREA: 540000,85400,540400,85800



—+— BLOQUES RE —*— GEOESTADIST —-— INVERSO DIS —□— POLIGONAL

Fig. N° 41

COMPARACION TONELAJE vs. LEY DE CORTE

NIVEL 3400

AREA: 540000,85400,540400,85800

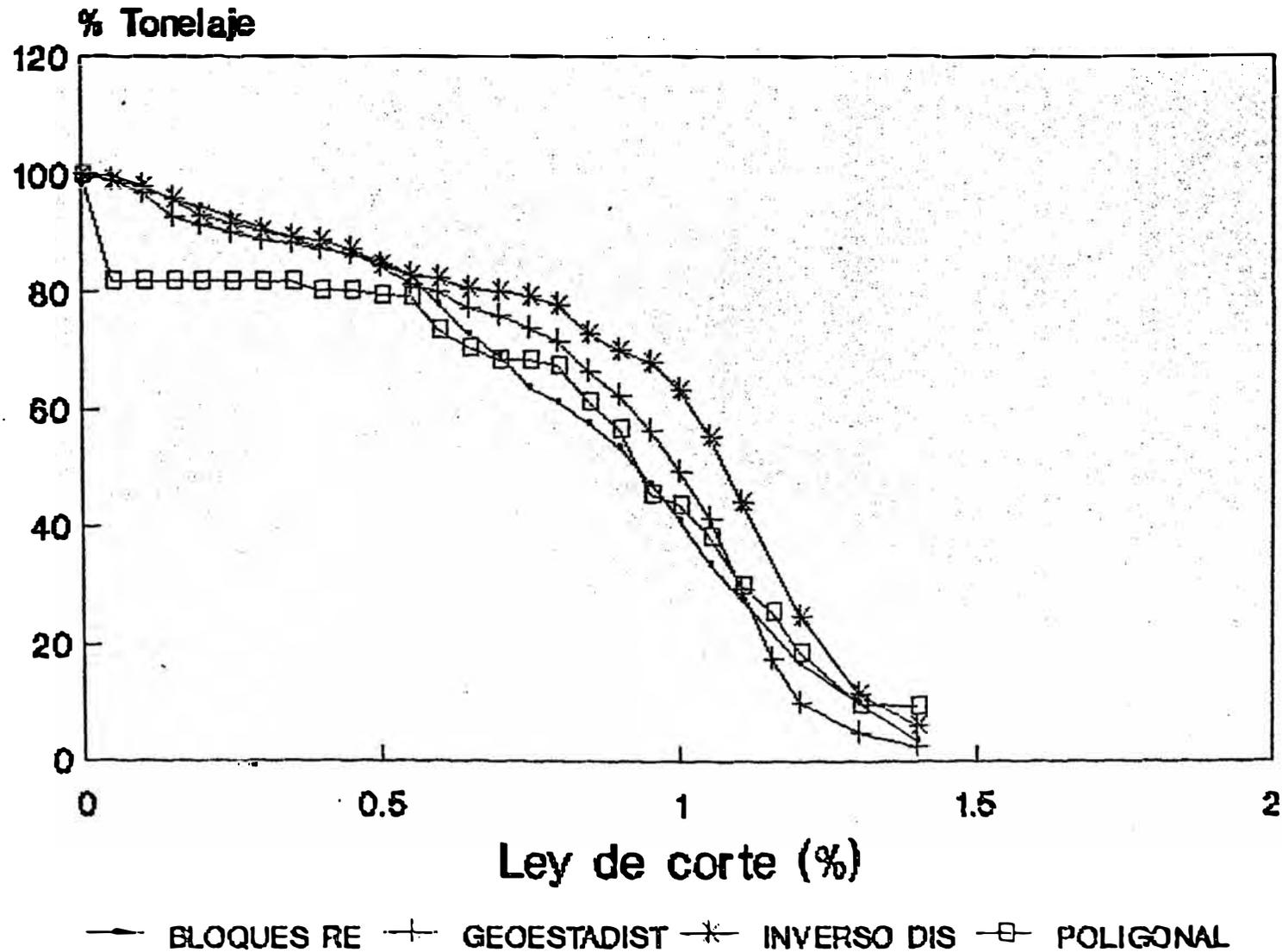


Fig. N° 42

COMPARACION TONELAJE vs. LEY DE CORTE

NIVEL 3415

AREA: 540000,85400,540400,85800

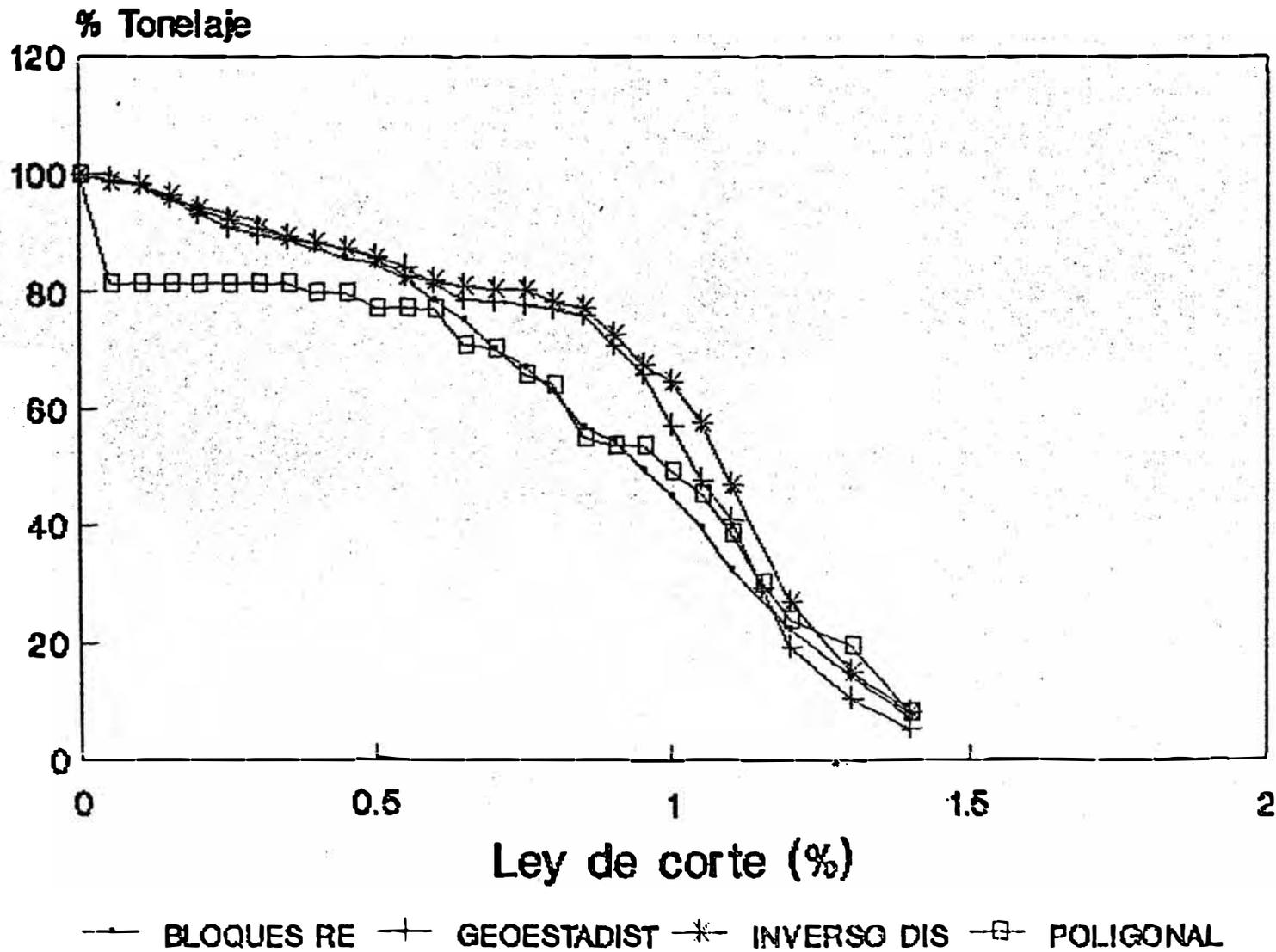


Fig. N° 43

COMPARACION TONELAJE vs. LEY DE CORTE

NIVEL 3430

AREA: 540000,85400,540400,85800

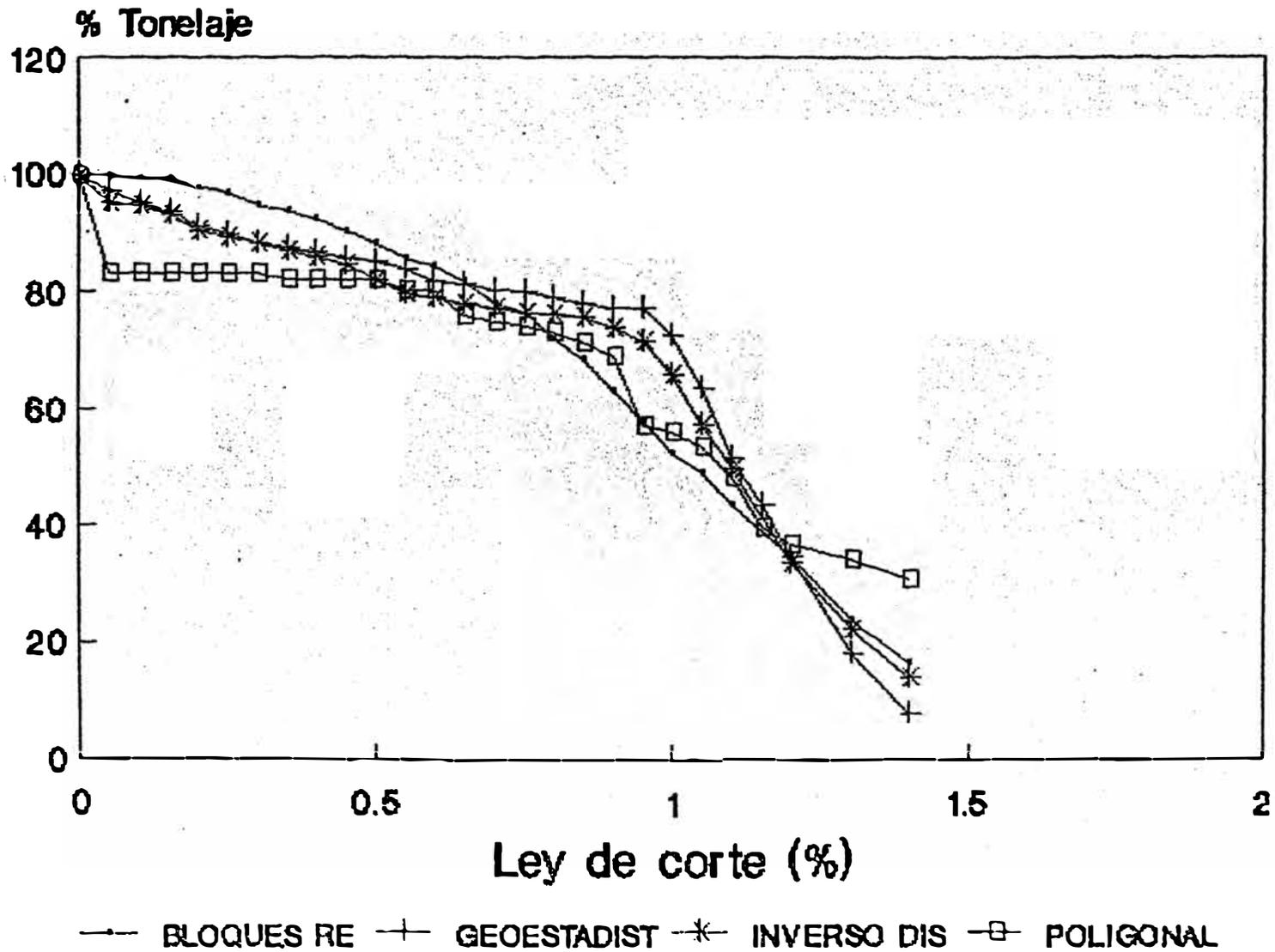


Fig. N° 44

COMPARACION TONELAJE vs. LEY DE CORTE

NIVEL 3445

AREA: 540000,85400,540400,85800

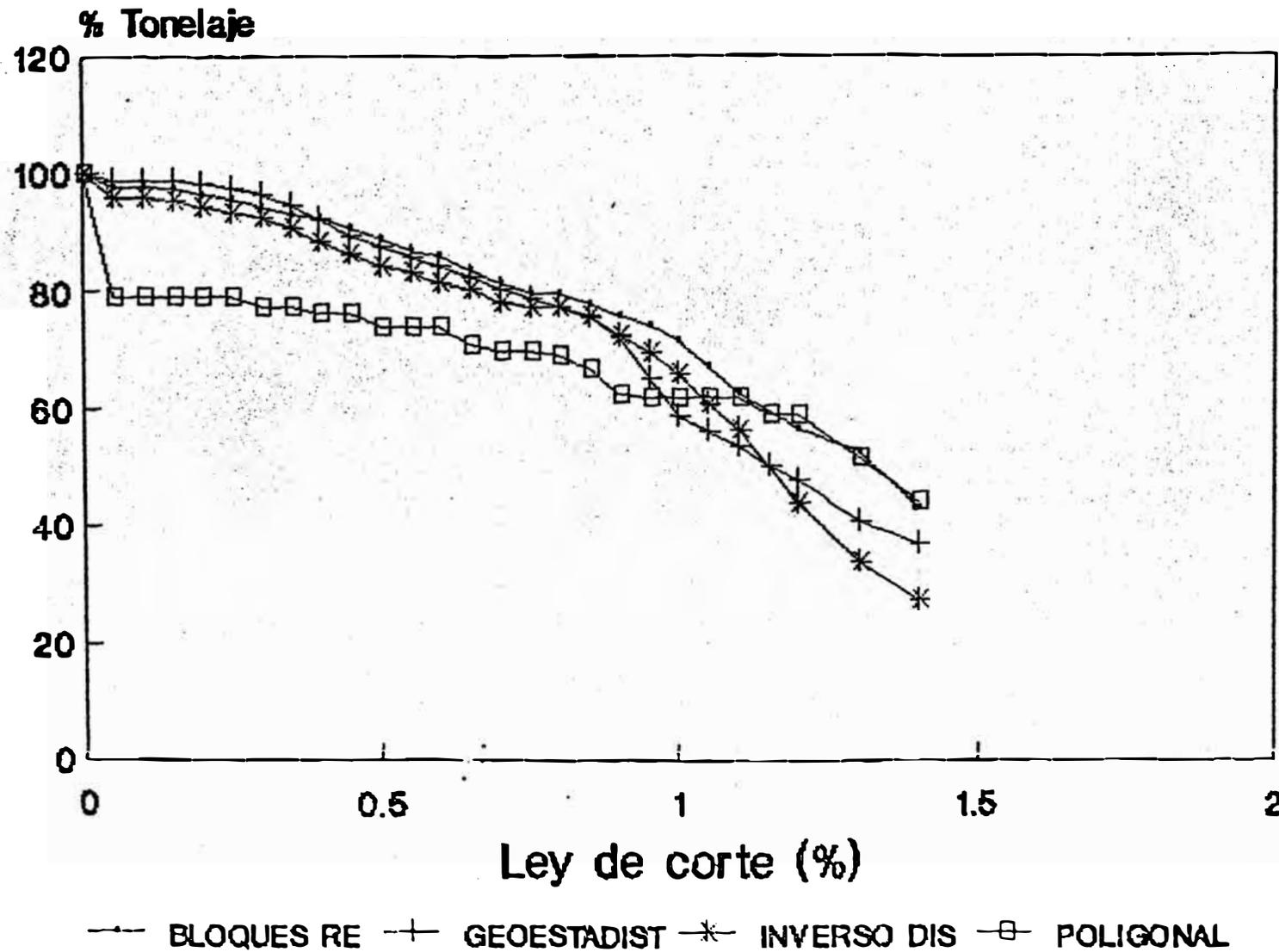


Fig. N° 45

COMPARACION LEY MEDIA vs. LEY DE CORTE

NIVEL 3385

AREA: 540000,85400,540400,85800

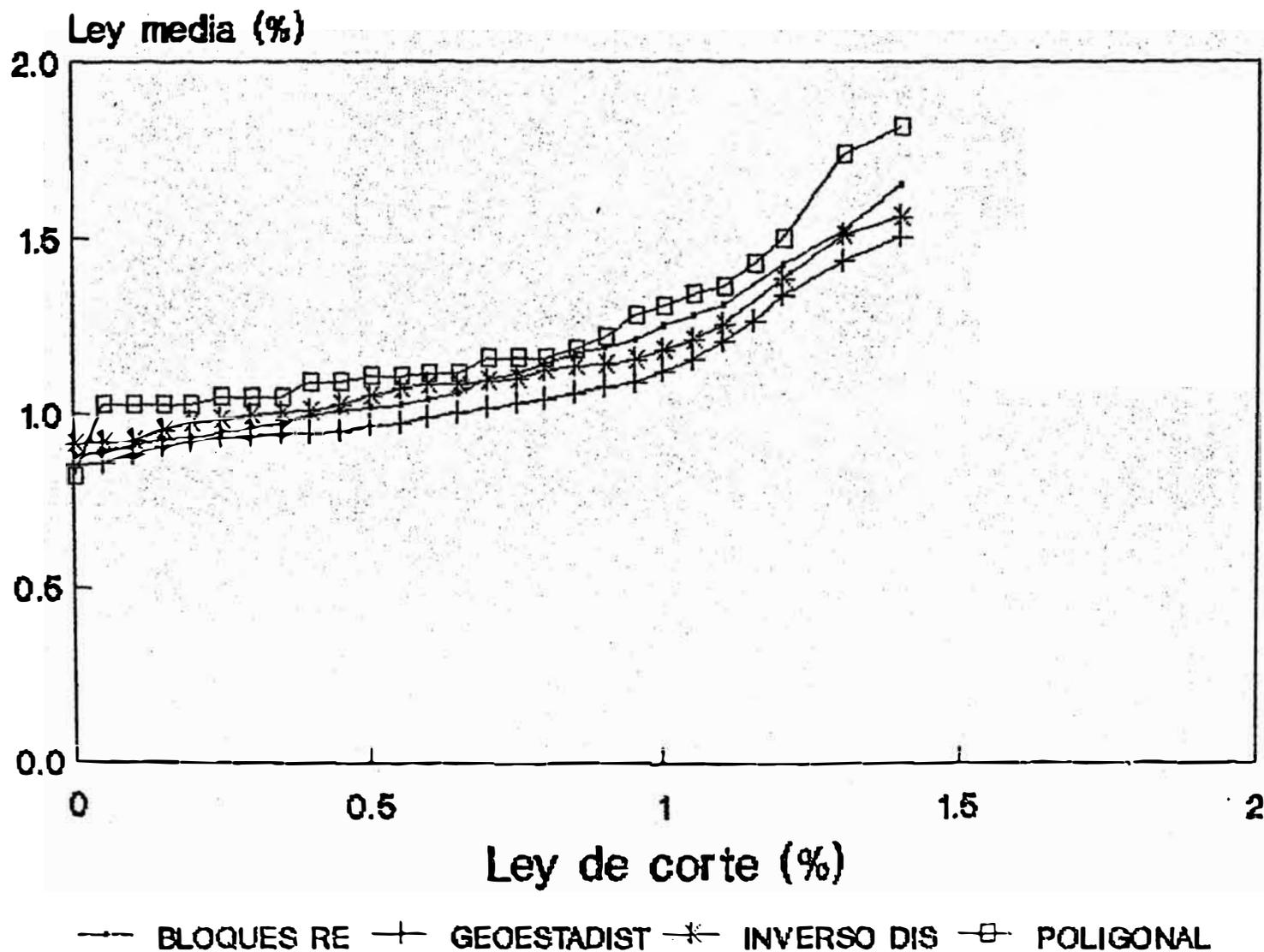


Fig. N° 46

COMPARACION LEY MEDIA vs. LEY DE CORTE

NIVEL 3400

AREA: 540000,85400,540400,85800

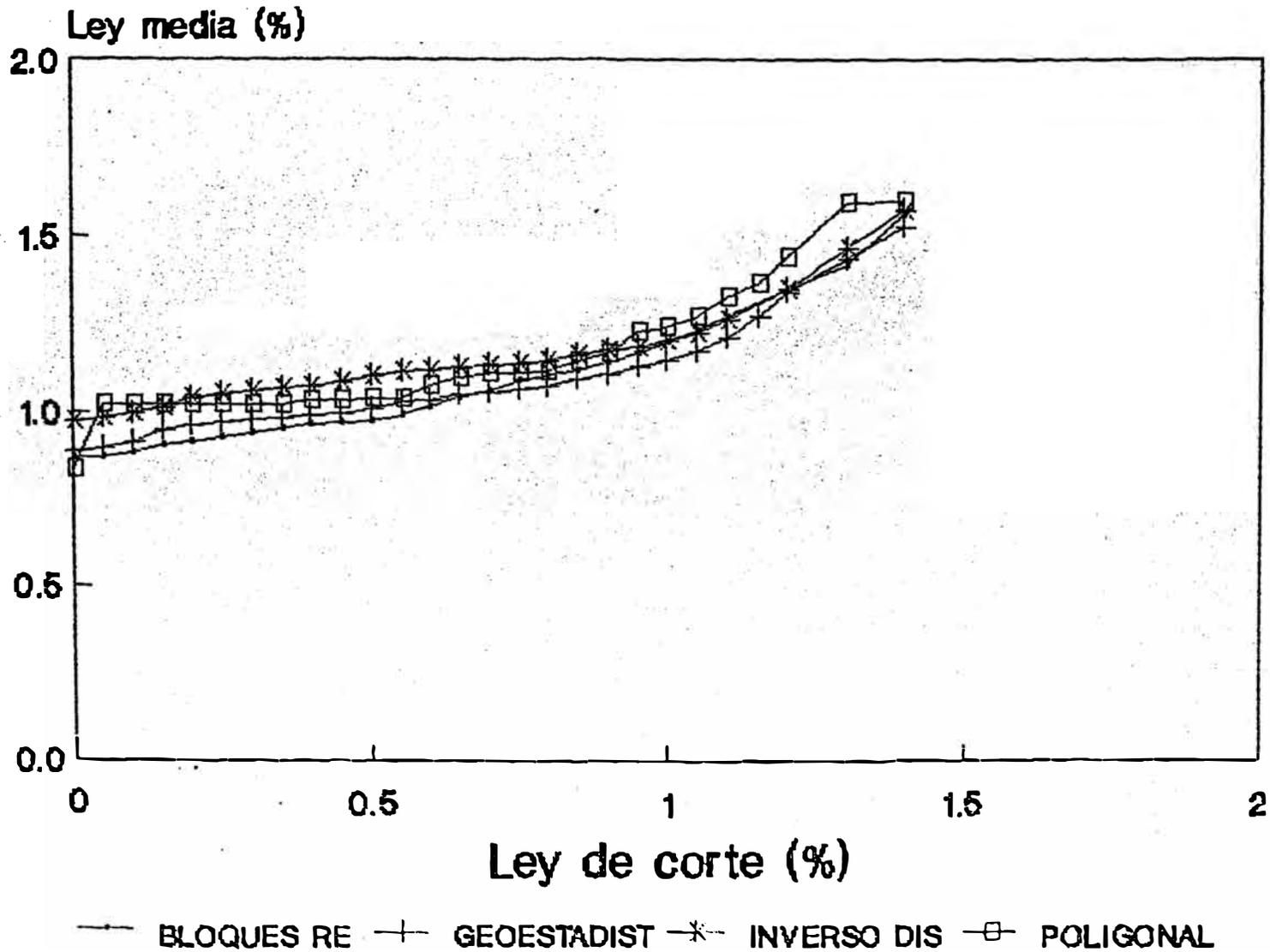


Fig. N° 47

COMPARACION LEY MEDIA vs. LEY DE CORTE

NIVEL 3415

AREA: 540000,85400,540400,85800

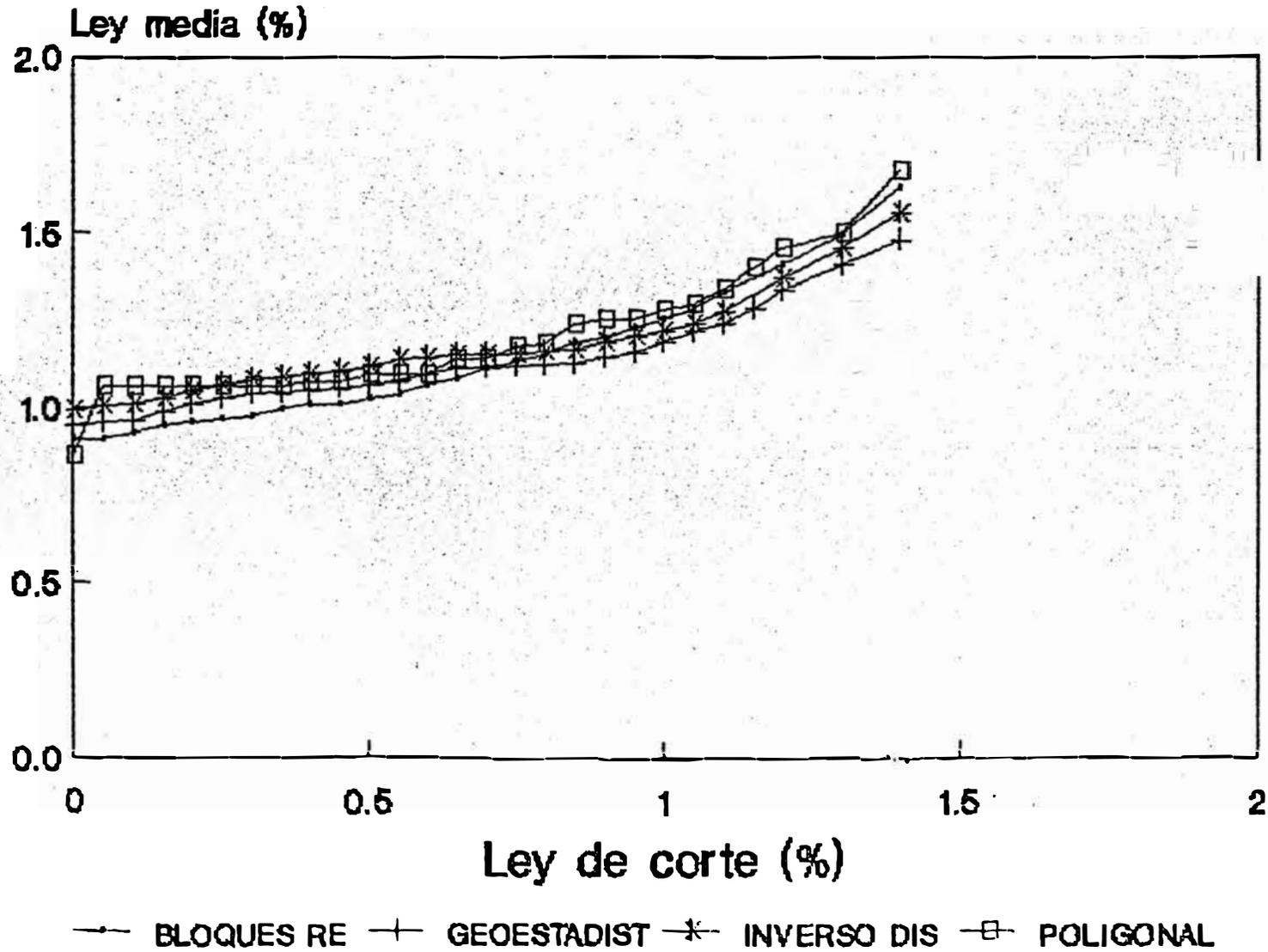


Fig. N° 48

COMPARACION LEY MEDIA vs. LEY DE CORTE

NIVEL 3430

AREA: 540000,85400,540400,85800

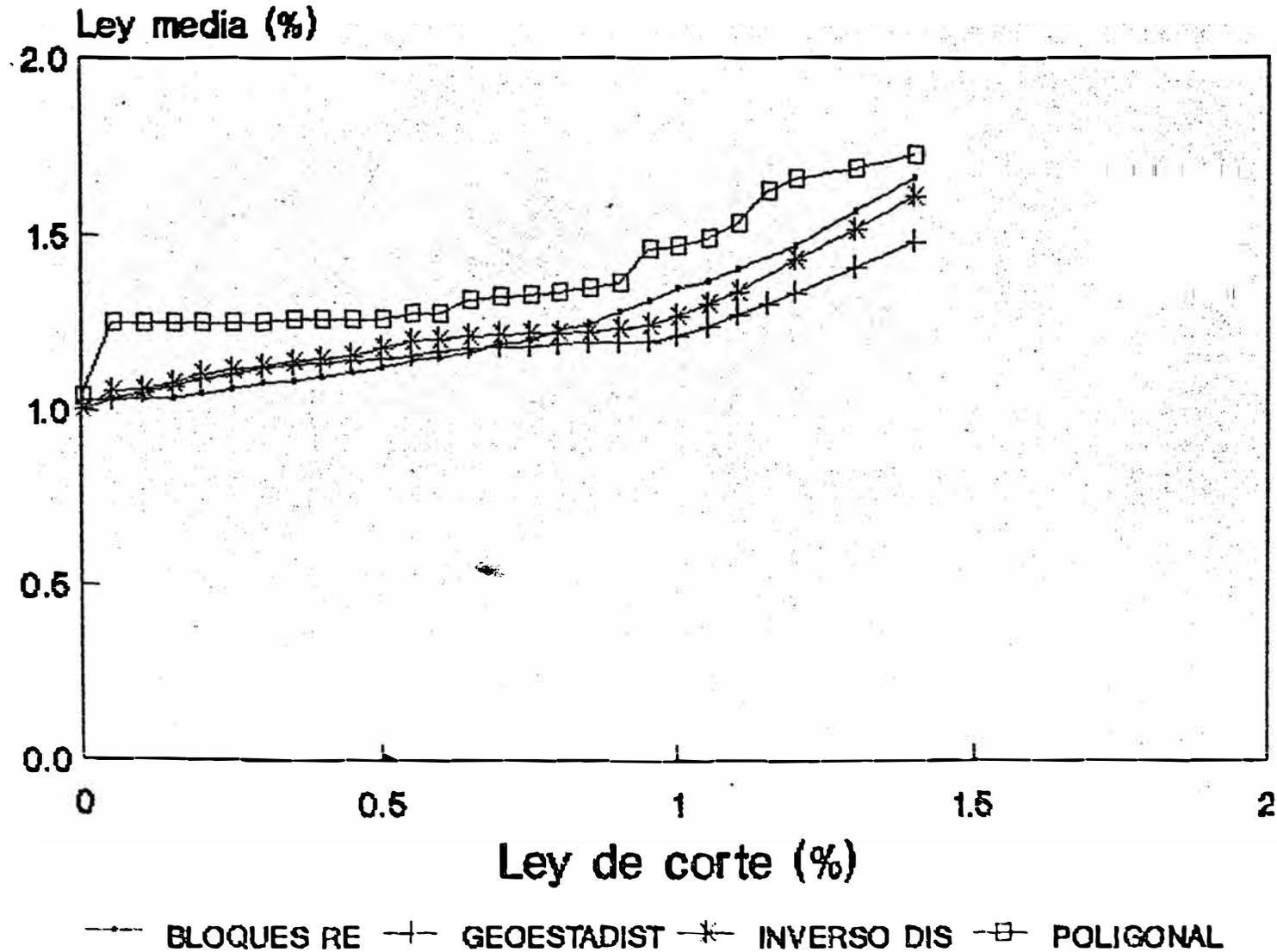


Fig. N° 49

COMPARACION LEY MEDIA vs. LEY DE CORTE

NIVEL 3445

AREA: 540000,85400,540400,85800

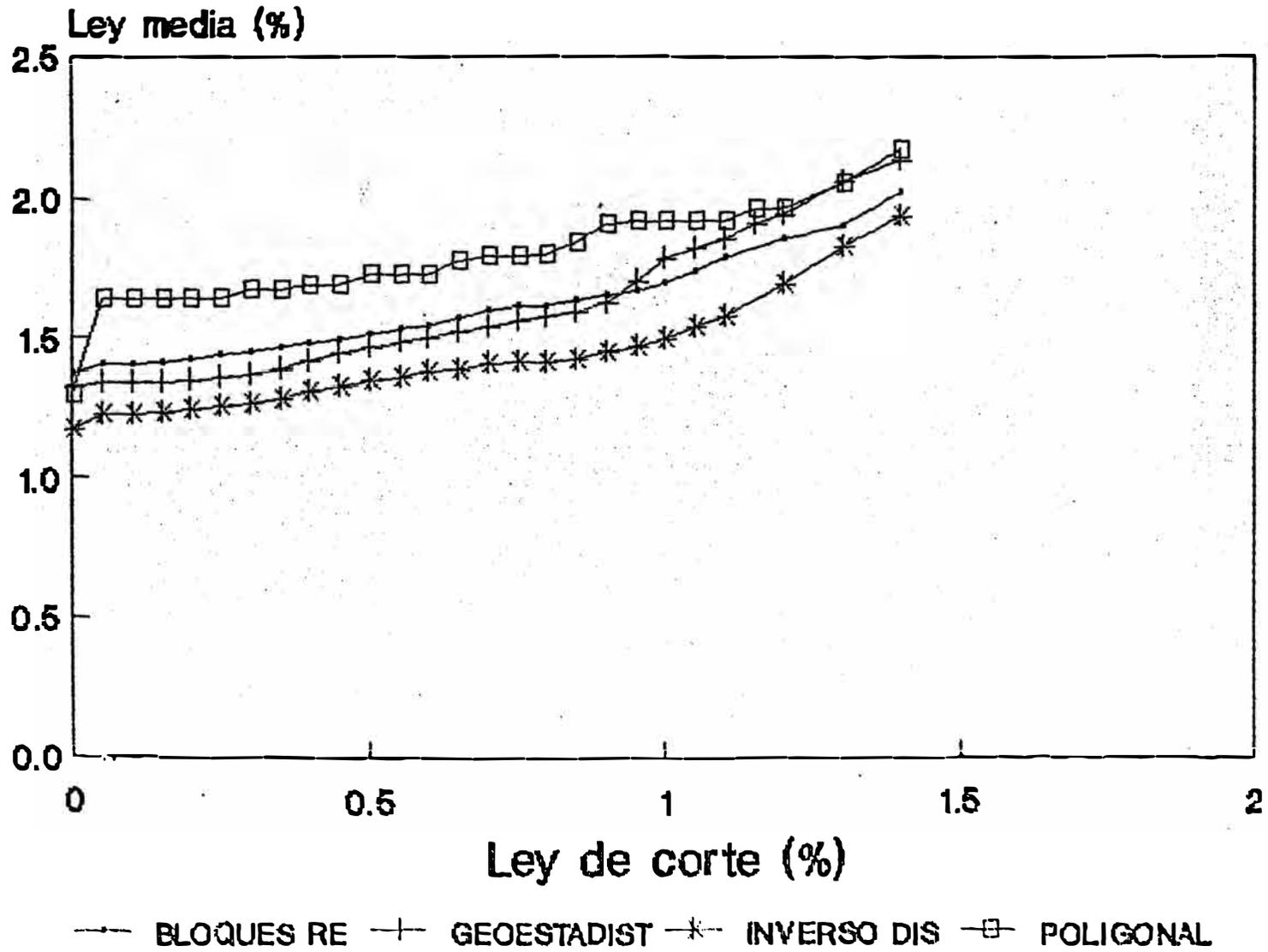


Fig. N° 50

COMPARACION TONELAJE vs. LEY DE CORTE
DE NIVEL 3385 A 3445 - PRISMA
AREA: 640000,85400,540400,85800

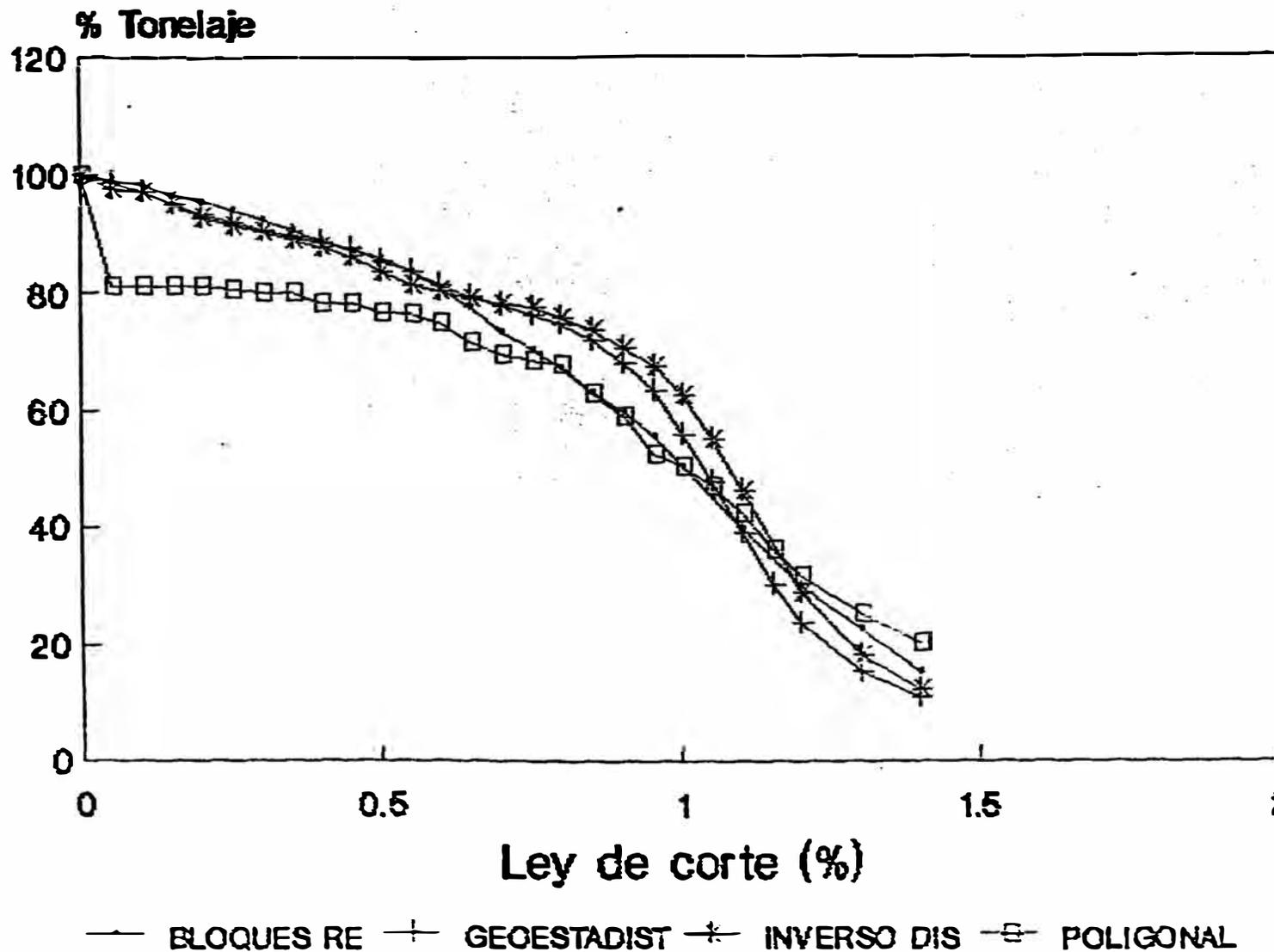


Fig. N° 51

COMPARACION LEY MEDIA vs. LEY DE CORTE

DE NIVEL 3385 A 3445 - PRISMA

AREA: 540000,85400,540400,85800

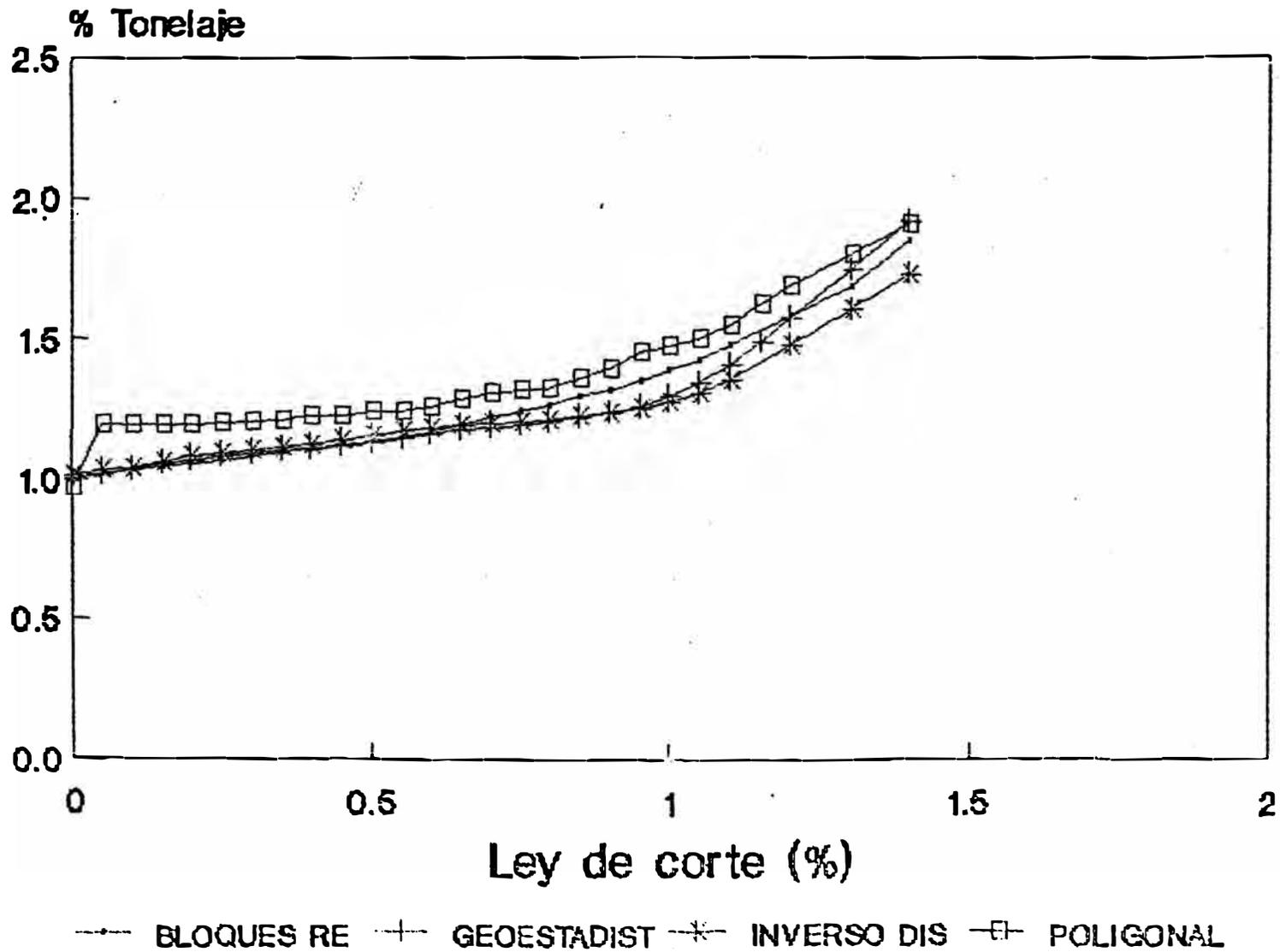


Fig. N° 52

COMPARACION CONT. MET. vs. LEY DE CORTE

DE NIVEL 3385 A 3445

AREA: 540000,85400,540400,85800

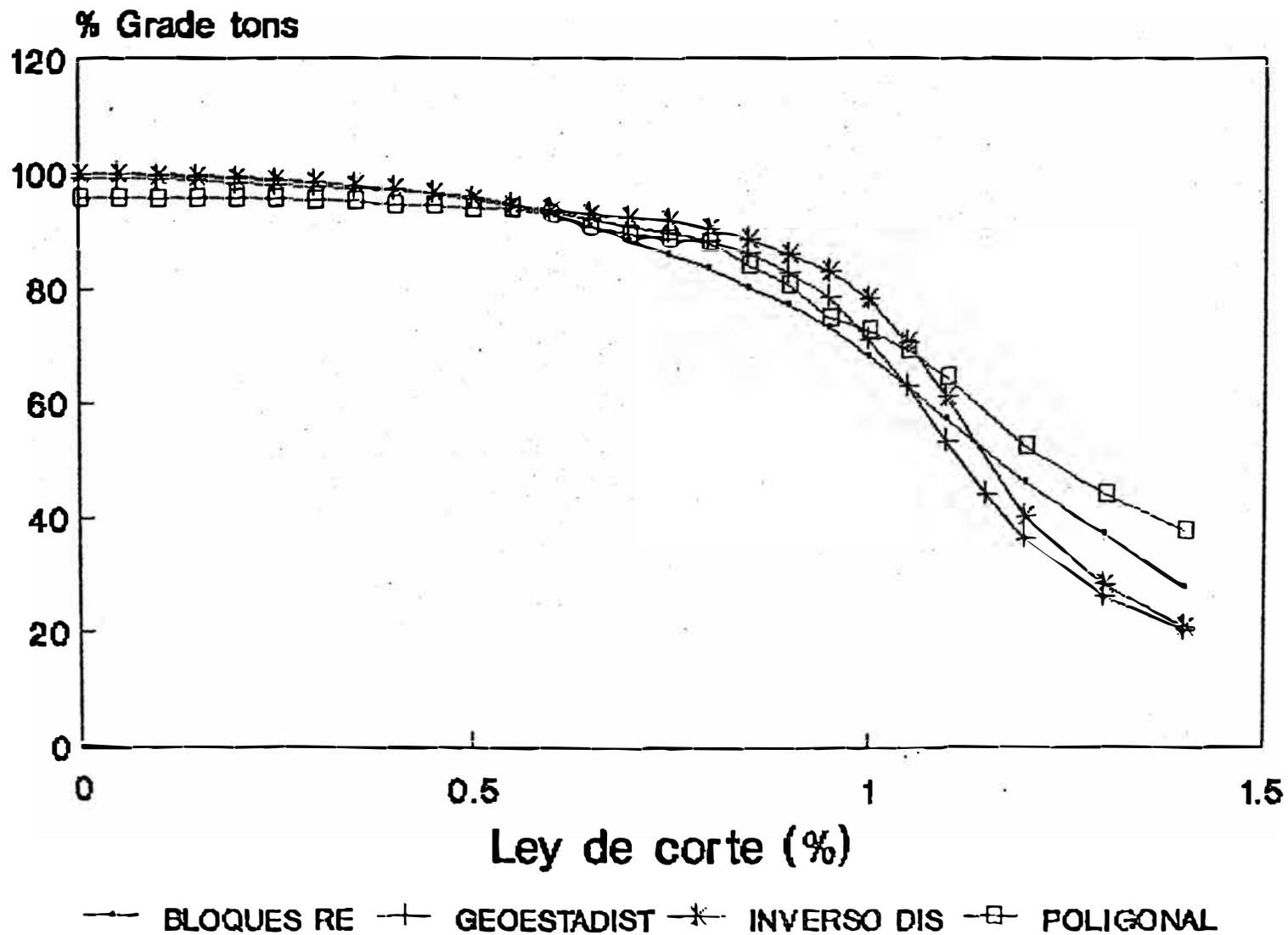


Fig. N° 53