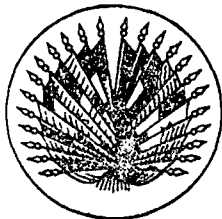


05.78.12



COMISION INTERAMERICANA DE ENERGIA NUCLEAR Y
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA DE LA REPUBLICA ARGENTINA



**CURSO LATINOAMERICANO DE CAPACITACION
PARA LA PROSPECCION Y EXPLORACION
DE YACIMIENTOS URANIFEROS**

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
NO A	AÑO 1978

CNEA-AC-13/78

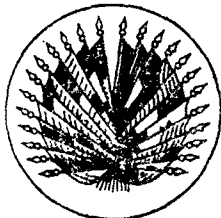
III. METODOS DE PROSPECCION URANIFERA

1. PROSPECCION DE URANIO
GENERALIDADES Y
SELECCION DE METODOS

FELIX RODRIGO

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

BUENOS AIRES
OCTUBRE 1978



COMISION INTERAMERICANA DE ENERGIA NUCLEAR Y
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA DE LA REPUBLICA ARGENTINA



CURSO LATINOAMERICANO DE CAPACITACION PARA LA PROSPECCION Y EXPLORACION DE YACIMIENTOS URANIFEROS

CONFERENCIA III/1

PROSPECCION DE URANIO. GENERALIDADES Y SELECCION DE METODOS

FELIX RODRIGO

I. INTRODUCCION

En la presente síntesis, pasaremos solamente revista a los diferentes métodos de prospección de uranio, ya que habrá oportunidad de conocerlos más detalladamente a medida que los distintos especialistas vayan desarrollando sus temas.

Interesa sí, realizar un análisis de conjunto muy general de los mismos, intentando la delimitación de algunas de las condiciones más destacadas de cada uno de ellos, su precisión y alcance, a efectos de lograr una planificación de actividades y rendimientos técnico-económicos más efectivos, al decidir sobre su aplicación.

Frente a los requerimientos cada vez mayores y mejor definidos de las distintas actividades geológico-mineras nucleares, se hace necesario recurrir a los más variados métodos físicos, químicos, geoquímicos, electrónicos, matemáticos, etc, y buscar el apoyo de instrumental de respuesta cada vez más específica y sensible, junto con la progresiva especialización del personal.

El avance de los métodos y el desarrollo de instrumental es tan rápido, que el geólogo cada día apela más a técnicas físico-químicas, geofísicas, electrónicas, etc, y en ocasiones, por la facilidad de disponer de las mismas o en el afán de alcanzar una seguridad superlativa, no vacila en aplicarlas automáticamente, en forma indiscriminada y, en ocasiones, superpuestas.

Además de las limitaciones o posibles concurrencias de cada método, el geólogo o prospector no debe olvidar un enfoque económico permanente, a fin de no superponer técnicas que no agregan nuevos resultados, o lo hacen a costos en absoluto compatibles con el valor o importancia de los mismos.

El costo total de desarrollo de reservas de uranio, el que, con cierto retardo, acompaña al del valor del concentrado comercial, es hoy del orden de 8 a 10 u\$s/Kg U_3O_8 , en la categoría de mineral "medido-indicado".

Los de la prospección, si se consideran áreas de algunas decenas de miles de km^2 de superficie, se los estima en el orden de 80 a 100 u\$s/ Km^2 .

Corresponde también destacar que en esencia es el conocimiento geológico de una zona, unido al reconocimiento minucioso del terreno y a un análisis y evaluación permanente de los resultados que se van alcanzando en la marcha de los trabajos, los que permitirán al profesional tomar oportunamente decisiones necesarias para llevar la exploración a su objetivo final, que es el desarrollo de reservas económicas de uranio al menor costo posible.

II. PROSPECCION GENERAL

Sin ninguna duda, el primer enfoque a tener en cuenta en la prospección de uranio (o de cualquier otro elemento), consiste en seleccionar y clasificar las áreas susceptibles de contener formaciones que puedan brindar o acumular concentraciones de uranio de interés, lo que debe apoyarse en el conocimiento geológico de la región.

II.1. BASES GEOLOGICAS

II.1.1. Selección general de áreas

Una selección de las áreas con posibilidades uraníferas resulta indispensable previo a la planificación de cualquier trabajo, ya que resultando improbable cubrir en forma masiva y simultánea un país o región determinada, son obvias las ventajas de iniciar la prospección por los sectores más favorables.

Dicha selección debe realizarse sobre la base de todos los antecedentes geológicos disponibles, los que orientarán acerca de la composición de las formaciones más favorables, tanto como posibles fuentes de uranio como receptores del mismo; las estructuras, contactos o superficies de erosión capaces de controlar la circulación de soluciones; las características superficiales y/o topográficas: relieve, suelo, vegetación, las que en su conjunto influirán también en el método de prospección a utilizar.

Al conocimiento geológico debe asociarse el análisis y evaluación de todos los antecedentes uraníferos disponibles para la región, así como tener presentes los distintos conceptos que rigen sobre la movilidad del uranio y la formación de yacimientos. Un criterio fundamental resulta determinar la presencia de rocas-fuente o fértiles en uranio y rocas receptoras o huéspedes de la mineralización.

Deben valorizarse, igualmente, aspectos puramente prácticos, como las condiciones o facilidades operativas; ubicaciones geográficas; distancias a las bases regionales, las que determinan parcialmente el equipo auxiliar a utilizar; factores climáticos, los que pueden incidir tanto en la elección del período más favorable para la campaña, como en el método mismo de prospección

que conviene aplicar, etc.

En la Argentina, siguiendo tales lineamientos, con participación de geólogos regionales locales, pudo establecerse que 1.300.000 Km² de su territorio presentan posibilidades uraníferas, entre los que con una selección más estricta, se delimitaron áreas con "interés inmediato", las que totalizan 400.000 Km² y a su vez se clasificaron en sectores con "Prioridad I, II y III" (Fig. 1).

Debe destacarse que, aún cuando dicho estudio se realizó en 1959, todos los yacimientos localizados, tanto por la CNEA como por particulares, se sitúan dentro de las áreas con "interés o posibilidades uraníferas" y que aquellos de mayor volumen, sin excepción, se ubican dentro de las áreas con "interés inmediato".

II.1.1. Selección regional de áreas

Delimitadas las grandes unidades, con interés inmediato o prioridad en la ejecución y en la medida en que comienza a disponerse de información geológica específica más detallada y de los primeros antecedentes uraníferos, se hace indispensable una progresiva selección de aquellas, con el objeto de circunscribir su superficie y posibilitar la aplicación de observaciones y técnicas de prospección a malla cada vez más cerrada.

Entre las condiciones geológicas deben investigarse las formaciones o sectores de las mismas que pueden aportar uranio y aquellas cuya composición, caracteres estructurales, litoestratigrafía, porosidad, permeabilidad, grado de alteración, paragénesis de otros minerales, presencia de materia orgánica, oxidaciones, reducciones, decoloraciones, etc, puedan en alguna forma indicar, controlar o vincularse con el pasaje de soluciones fértiles o la fijación o depositación del mineral.

En el caso de formaciones sedimentarias, interesa la reconstrucción paleogeográfica de sus cuencas, tendientes a determinar las áreas de aporte, variaciones faciales o composicionales, discordancias o superficies de arrasamiento, alteraciones o cambios de coloración, etc, capaces de definir el área, miembro o intervalo estratigráfico de mayor interés.

La aplicación sistemática de tales estudios, sobre bases geológicas a escala adecuada (1:100.000 ó 1:200.000) o con ayuda de la fotointerpretación geológica, requiere la ejecución de reconocimientos sistemáticos, tendientes a definir las condiciones favorables que posibiliten reducir substancialmente las áreas a prospectar en forma detallada.

Los colegas que me seguirán en el desarrollo del curso expondrán acerca de las metodologías de trabajo que se aplican, pero se desea anticipar algunos ejemplos de estudios de este tipo. Uno de ellos, cumplido en la estructura anticlinal de Pampa Amarilla (Malargüe, Mendoza), permitió seleccionar dentro de una secuencia de 1.000 m de sedimentos continentales (Cretácico), un intervalo de unos 200 m, en el que se ubican la totalidad de los cuerpos uraníferos descubiertos en el área.

Otro, comprende un sector de la cuenca sedimentaria del Sistema de

Salta (Cretácico Superior-Terciario), con un espesor máximo de 3,000 m. En dicha secuencia se determinó un intervalo estratigráfico de 200 m de espesor, en facies proximal de borde de cuenca y con aporte sedimentario a partir de la destrucción de macizos graníticos con pegmatitas uraníferas, el que incluye la totalidad de los yacimientos o indicios con posibilidades e interés económico. El balance económico que se deriva de esta selección, aún en una zona que disponía de abundante información geológica previa, resulta ampliamente positivo. En áreas con escasa documentación geológica, este tipo de investigación se considera absolutamente indispensable.

II.2. FOTOGEOLOGIA

La fotogeología juega un rol cada día más importante en todo programa integral de desarrollo de recursos naturales.

En el trabajo previo de selección general de áreas de interés, antes de todo reconocimiento sobre el terreno y en la medida en que el fotointérprete esté relacionado con las condiciones locales, permite disponer de un cuadro muy preciso de la geología y topografía de la zona, con una excelente densidad de información. Se definen así detalles que por lo general no son provistos por las cartas geológicas convencionales, tales como: contactos formacionales precisos, estructuras, variaciones composicionales, alteraciones de diversa índole, intrusiones, suelo, vegetación, densidad de la red hídrica, vías de acceso para reconocimientos en sectores desprovistos de caminos, etc.

En la etapa de investigación regional de sectores restringidos o aún en trabajos de investigación minera -a escalas más detalladas-, la fotogeología es aún capaz de suministrar valiosa información sobre variaciones de composición litológica; aureolas de metamorfismo o alteraciones de diversa índole; condiciones estructurales, en ocasiones no definibles por observación superficial; correcta morfología de los cuerpos mineralizados; etc.

La documentación geológica o fotogeológica resulta casi indispensable para un correcto apoyo de la prospección y, en ausencia de la misma, debe evaluarse muy estrictamente la posibilidad de su ejecución previa. Caso contrario debe suplirse con adecuados reconocimientos previos del terreno. (CUADRO I).

II.3. PROSPECCION RADIMETRICA

Una vez efectuada la selección y clasificación de las áreas de interés uranífero y en función del conocimiento geológico y de las condiciones topográficas o climáticas de la región -las que definen asimismo la elección del método a utilizar-, se inicia la prospección general.

La radimetría continúa siendo el método básico y principal en la prospección del uranio, fundado en la propiedad de sus minerales de emitir radiaciones capaces de ser detectadas por instrumentos provistos de elementos sensibles: tubos Geiger-Müller, o scintillómetros con cristales de INa(Tl), fluoruro de cinc, "cristales plásticos", etc.

La única limitación del método estriba en el escaso poder de penetra

ción de las radiaciones gamma, lo que restringe su aplicación a la búsqueda de cuerpos mineralizados prácticamente aflorantes.

Si bien los principios básicos se mantienen desde el advenimiento de la industria del uranio, en los últimos años el desarrollo de nuevo instrumental progresó rápidamente, existiendo un variado tipo de equipos de contaje y total, así como con discriminación de energías (U, Th, K, γ total), capaces de brindar análisis espectrométricos directos de cada elemento radiactivo.

Las técnicas radimétricas tradicionalmente se denominan de acuerdo con el medio portante del detector.

II.3.1. Prospección terrestre

El trabajo lo realiza un equipo integrado por grupos de prospectores, los que se desplazan a pie portando detectores, dirigido cada uno por técnicos y supervisados por un geólogo.

La CNEA aplicó el método con dos variantes: la prospección expeditiva (con malla irregular del orden de 1 km) y la prospección detallada (con malla más regular, de 100 a 200 m), con o sin registración gráfica de los itinerarios.

Si bien en ambos casos, en apariencia, el índice de cobertura es bajo, en la práctica resulta notoriamente incrementado por la posibilidad de que la información geológica que se obtiene simultáneamente, permita una orientación más efectiva, en concordancia con los factores favorables para la mineralización, desechando las áreas cubiertas, o reajustando la densidad de la malla, cuando se requiera.

El principal inconveniente de este método es el de su bajo rendimiento (para 2 a 3 grupos operativos: 200 a 300 km²/mes para la prospección expeditiva y 40 a 50 km²/mes para la detallada), y los costos del orden de 8 a 10 y de 50 a 60 u\$s/km², respectivamente.

Si bien puede tener aplicación en áreas pequeñas o en reconocimientos preliminares, en Argentina se lo abandonó parcialmente porque su bajo rendimiento no resulta adecuado con las superficies de las áreas de interés y se lo suplantó por la prospección aérea y/o geoquímica.

II.3.2. Prospección autotransportada

Se utiliza instrumental especial, de gran sensibilidad, acoplado a un registrador gráfico continuo y/o alarma sonora, calibrada a un nivel preseleccionado, sincronizados con la marcha del automotor, preferentemente de tipo liviano y de doble tracción, a velocidad de 15 a 20 km/hora.

Si bien en Europa (Francia, Portugal, etc) (Fig. 2) se lo utilizó en forma masiva, su aplicación se ve restringida en regiones con débil densidad de caminos o con topografía accidentada, que no permite el desplazamiento del automotor. En tales condiciones, la malla de prospección puede resultar muy abierta e irregular y los resultados deben considerarse solamente como orientativos. Especial atención merecen la velocidad de desplazamiento, la que in-

fluye en la amplitud de las anomalías y el material de los caminos, cuando no es autóctono.

El costo de un equipo convencional para carbóne oscila entre los 6.000 y 10.000 u\$s, los rendimientos de 100 a 200 km lineales por día y los costos operativos de 100 a 150 u\$s/día. (u\$s 0,5-1,5/km lineal).

En Argentina se lo utiliza especialmente en etapas de reconocimiento preliminar, ya que aún en Patagonia, el área geográfica más favorable para su aplicación, resulta más conveniente la prospección aérea.

II.3.3. Prospección aérea

Se tratará muy someramente, ya que este método será objeto de disertaciones especiales. Se dará más bien énfasis a la evolución que registró en Argentina.

El método, que consiste en el sobrevuelo del área a baja altura (45 a 90 m = 150 a 300'), a relativa baja velocidad (150 a 160 km/hora), se inició en Argentina en 1959, utilizando aviones livianos (Piper, Cessna 180-182 o similares), que aseguraban gran agilidad de maniobra, fuertes índices de trepada y gran versatilidad de operación en pistas irregulares, existentes o fáciles de construir, dentro o próximas a las zonas de trabajo.

Se utilizó instrumental con uno o dos cabezales detectores, con cristales de INa(Tl), de 5 a 7' de \emptyset , acoplados a radioaltímetros de tipo AYP-RT7 APN.1 o similares, ambos con registradores gráficos, sincronizados con una cámara de fotografiado continuo de posición ("strip camera").

El radioaltímetro permite la corrección de los registros scintillométricos a una altura de referencia constante sobre el terreno (250 o 300'), a fin de compensar el efecto de la absorción gamma por el aire. El sistema electrónico, con intermitencias regulares o requerimiento, emite impulsos-señales a los registradores y la cámara, los que permiten la sincronización, ubicación y análisis de la información.

Los valores corregidos de las anomalías se expresan en veces la cuenta de fondo o "background" (xBG). (Fig. 3).

El apoyo planimétrico y la inscripción o registro de los itinerarios resulta simple cuando se dispone de cartas topográficas o mosaicos aéreos. En extensas áreas del país, en carencia de dicha documentación, la CNEA suplió el inconveniente sea incorporando un geólogo-navegante adicional, encargado de la elaboración de un bosquejo cartográfico, sea mediante el auxilio de radiofaros móviles, ubicados en tierra, los que emitían señales para la orientación del avión.

Las técnicas de prospección evolucionaron enormemente, desde las primitivas, denominadas "perro de presa" o vuelos con itinerarios no fijos, a programas totalmente regulares y sistemáticos.

En los últimos años, luego del desarrollo de la espectrometría aérea, principalmente por el Servicio Geológico de Canadá, se utiliza un instrumental

muy sofisticado, con un gran volumen de detector (hasta 50 litros de cristales de Ina(Tl)), con registraci3n gamma independiente de U, Th, K y γ total; a velocidades de hasta 200 a 220 km/hora); muestreos (registros) radim3tricos muy regulares (hasta 1 segundo, equivalente a 50 m a lo largo del vuelo); ubicaci3n del lugar muy precisa, mediante sistemas de radar o Doppler y la correcci3n y an3lisis de la informaci3n mediante programas de computaci3n (CUADRO II).

La prospecci3n a3rea con registro gamma total se emplea a3n para el reconocimiento r3pido y menos costoso de extensas 3reas. La espectrometría gamma, tanto para la prospecci3n a3rea directa, para individualizar las anomalías de U, Th, y K, como para la investigaci3n geol3gica o geoquímica, a favor de la gran sensibilidad del m3todo.

Los tipos de malla de vuelo generalmente utilizados son los siguientes:

- i. Prospecci3n regional o abierta. Se desarrolla sobre 3reas de gran superficie, con vuelos distanciados de 2 a 5 y hasta 7 km. Se aplica en zonas vírgenes, tendiente a obtener un reconocimiento general y a la clasificaci3n y selecci3n de las formaciones de mayor inter3s uranífero.
- ii. Prospecci3n general o regular. Con distanciamientos de vuelo de 1 a 2 km, lo que asegura una cobertura efectiva del 10 al 20%. Se aplica sobre zonas con antecedentes o formaciones con inter3s uranífero, o como resultado y en sustituci3n de la malla anterior, ante la aparici3n de condiciones geol3gicas favorables o anomalías, que permitan inferir la presencia de minerales nucleares.
- iii. Prospecci3n detallada. Con malla de 250 a 500 m, la que asegura una cobertura efectiva del 40 al 80%. Se aplica sobre 3reas con reconocido inter3s uranífero y requiere de muy buen apoyo cartogr3fico y/o fotogr3fico.

En todos los casos se replantean los valores corregidos, elaborando curvas de isoanomalías (o de isoradiactividad), las que reflejan la morfología e importancia relativa de las anomalías.

- iv. Verificaci3n terrestre. La revisi3n sobre el terreno ("ground checking") de las principales anomalías se desarrolla simultáneamente o al t3rmino de la prospecci3n a3rea. En el primer caso posibilita la realimentaci3n de informaci3n durante la campaa y favorece la correcta clasificaci3n de las anomalías que merecen su verificaci3n terrestre.

La prospecci3n a3rea, adem3s de su definici3n preliminar inmediata, permite obtener rendimientos muy superiores a los de la terrestre y costos operativos sensiblemente m3s reducidos, seg3n se expone en el cuadro siguiente:

ITEM	P. Regional	P. Regular	P. Detallada
Malla de referencia m	4.000	1.000	500
Rendimientos: Km ² /mes	50-80.000	15-25.000	5-8.000
COSTOS: u\$s/km ²	6-10	20-25	80-120

Generalmente las cotizaciones se hacen por km lineal de vuelo (6 a 8 u\$s/km para γ total y 15 a 20 u\$s/km para espectrometría). Para la cobertura de un área debe considerarse un 10% de líneas de vuelo transversales ("tie lines"), de contrastación.

La superficie mínima deseable para la aplicación de la espectrometría gamma es del orden de 25.000 km². Para áreas menores se elevan los costos unitarios.

La CNEA asignó prioridad a este método para sus programas de prospección general, habiendo cubierto con aviones livianos e instrumental propio (gamma total) una superficie del orden de 150.000 km², lo que permitió la localización de más de 1.000 anomalías, de las cuales alrededor de la mitad fueron recomendadas para verificación terrestre, aportando varios de los yacimientos de mayor volumen en el país ("Tigre I - La Terraza", "Tigre III", "Media Luna", "Don Otto", "Los Berthos", "M.M. Güemes", "Los Adobes", "C° Cándor", etc).

Actualmente la prospección aérea (en aviones de ala fija) reconoce como únicas limitaciones la topografía y la altura absoluta del área, aunque el uso de helicóptero puede extender la misma, si bien a costos operativos más elevados.

II.4. PROSPECCION GEOQUIMICA

La prospección geoquímica del uranio se apoya en la extraordinaria movilidad de este elemento y en la posibilidad de localizar concentraciones del mismo, a través de las variaciones en su contenido o "halos de dispersión", en las zonas que las circundan.

Este método presenta limitaciones para una aplicación sistemática general, debido a la incidencia de numerosos factores: constitución geológica, espesor de la cubierta, clima, relieve, red hidrográfica, etc, los que inciden en el tipo y grado de alteración de las "rocas madres", la liberación del uranio y su dispersión y/o transporte a los suelos, aluviones y/o aguas.

La prospección geoquímica del uranio, se ha visto favorecida por el desarrollo de nuevas técnicas analíticas, que permiten una mayor precisión y sensibilidad; una simplificación de las manipulaciones y una reducción con

siderable en el volumen de la muestra necesaria, los que posibilitan mayor rapidez y economía.

Si bien existen diversas técnicas de preparación y extracción del uranio de las muestras, todas coinciden en la utilización de fluorímetros y/o espectrómetros de masa para el dosaje del mismo, los que permiten determinar tenores inferiores a 0,5 ppm U (partes por millón), en los aluviones y suelos y 0,1 ppb U (partes por billón) en aguas.

La CNEA aplica este método regularmente sea en regiones con cubiertas aluvionales o de suelos muy potentes, donde queda excluida la radimetría o en aquellas con alturas superiores a 3.000 m.s.n.m., o con relieves muy accidentados, donde no tiene cabida la prospección aérea.

Las mallas de prospección generalmente utilizadas son las siguientes:

- i. Prospección Estratégica. Se apoya sobre cartas topográficas o fotomosaicos a escala 1:50.000 ó 1:100.000, realizándose itinerarios irregulares, los que en general siguen la red hídrica o accesos principales, con muestras cada 1 hasta 10 km. Se individualizan así las formaciones geológicas de mayor interés, determinando sus respectivos fondos o concentraciones medias regionales o formacionales, sobre los que pueden definirse posibles zonas anómalas.
- ii. Prospección Detallada. Se opera en escalas 1:10.000 a 1:25.000 con itinerarios más regulares y malla de muestreo cada 200 a 300 m, tendiendo a circunscribir las áreas anómalas y a favorecer su interpretación con aporte de adecuada información geológica.
- iii. Prospección Táctica. Tendiente a definir la morfología e importancia de los cuerpos mineralizados, mediante la elaboración de figuras o curvas isoanómalas. Se realizan muestreos sistemáticos, según perfiles o mallas regulares (50 x 50, 100 x 20, 25 x 25 m, etc), condicionados por las características geológicas y estructurales del área.

Los rendimientos y costos operativos son muy variables, ya que la malla debe adecuarse a las heterogeneidades de la zona, pero pueden fluctuar en los siguientes promedios:

ITEM	P. Estratégica	P. Detallada	P. Táctica
Malla de referencia m	1.000	250	50
Campaña km ² /mes	400	40-50	3-5
Muestras por km ²	0,5-2	6-10	200-300
COSTOS: u\$s/km ²	12-15	200-300	800-1.200

Dependiendo de la cantidad de muestras, los costos de análisis fluctúan entre 1 a 1,50 u\$s c/u. Para la prospección hidrogeoquímica los costos son algo inferiores, debido a que una buena representatividad puede obtenerse con menos muestras y los correspondientes análisis son más sencillos y baratos.

El principal inconveniente del método reside en la demora en alcanzar la información final, por lo que resulta recomendable disponer de unidades o laboratorios móviles en el terreno.

III. PROSPECCION DETALLADA

Una vez verificada en el terreno la anomalía o indicio y la existencia de mineral de uranio, corresponde definir cuantitativamente la importancia del mismo y el orden de magnitud de algunos parámetros fundamentales: longitud, corrida, espesores y tenores medios, etc, a la vez que investigar los posibles factores que controlan la presencia de la mineralización, morfología del cuerpo, posible potencial, etc, a fin de orientar las sucesivas etapas de reconocimientos geológico-mineros y formular el primer programa de exploración física.

Una estricta planificación de los trabajos es absolutamente necesaria en la etapa de prospección detallada, a fin de seleccionar los métodos que, de acuerdo a las condiciones geológicas locales, puedan ofrecer mejores rendimientos, evitando la superposición de técnicas concurrentes o el riesgo de contaminar prematuramente la zona de influencia de la anomalía, lo que limitaría la posibilidad de aplicación de otros métodos: radimetría y geoquímica, por ejemplo, en el supuesto de realizar prematuramente trincheras o calicatas.

Las técnicas en las que generalmente se apoya la prospección detallada son las siguientes:

III.1. Radimetría

Es el método preferible en los casos de formaciones aflorantes o con débiles espesores de cubierta, ya que permiten una excelente delimitación de la dispersión de la mineralización y selección de los cuerpos más convenientes a explorar físicamente, mediante relevamientos de las cartas de isoanomalías (isoradiactividad), a escalas adecuadas.

La posibilidad de aplicación de la radimetría en condiciones normales, en general hacen innecesarias o superfluas las técnicas de prospección geoquímica y/o de radón (Fig. 4).

Si bien en los casos de yacimientos en sedimentos -los que responden a dispersiones de mayor superficie y a controles estructurales de fácil visualización en el terreno-, la prospección detallada puede subordinarse a tales condiciones; para los yacimientos vetiformes o enclavados en ambientes cristalinos, resulta indispensable la adopción de una malla regular y sistemática.

El problema fue analizado con estudios estadísticos detallados en Francia, Portugal y España, países que adoptaron 3 tipos de malla de prospección sistemática:

- # de 5 m. Para estudios de indicios.
Caracterizada por la precisión.
- # de 10 m. Para estudios de estructuras.
Caracterizada por la precisión y rapidez.
- # de 25 m. Para estudios regionales focalizados.
Caracterizada por la rapidez y economía.

A fin de obtener buenos rendimientos durante su ejecución, es necesario prever una ajustada planificación, coordinación y apoyo a los trabajos de radimetría detallada, a saber:

i). en gabinete:

- una evaluación previa de los antecedentes del área y la preparación de bases topográfico-geológicas adecuadas, con la mayor información posible, a fin de proveer al prospector las líneas directrices necesarias y establecer la malla de relevamiento.
- si es posible, un control de las anomalías localizadas sobre fotografías, lo que favorece un primer análisis, corrección de su morfología o un reajuste de la densidad y características de la malla.
- la inmediata elaboración de informes y planimetría de avance de los trabajos, que posibiliten el análisis e interpretación permanente de los resultados, mientras aún se encuentran operando en el área los equipos de prospección.

ii). en el terreno:

- una especialización del personal y un agrupamiento adecuados, que permita la supervisión de cada escalón por individuos con experiencia.
- una normalización de los métodos operativos, a fin de facilitar el análisis, interpretación y evaluación de los resultados.
- un control permanente del instrumental por personal idóneo y si es posible con prestación del servicio de mantenimiento en el área de trabajo.
- existencia de instrumental de reserva suficiente, en cantidades crecientes en función del alejamiento o dificultades de acceso a la zona de trabajo.

En Argentina se utiliza la radimetría con mallas de 50 y 10 m, con los rendimientos y costos siguientes:

ITEMS	# 50 m	# 10 m
RENDIMIENTO: Por equipo (1 geólogo, 2 técnicos, 6 prospectores): ha/mes	100-200	10-12
COSTOS: u\$s/ha	40-60	200-300

III.2. Geofísica

Los métodos geofísicos aplicables a la exploración e investigación geológica-minera del uranio pueden ser directos o indirectos. Entre los primeros se cuenta la radimetría, ya descripta y la ionometría. Los segundos se apoyan en la posibilidad de determinar condiciones físicas particulares de las rocas portantes o de los cuerpos mineralizados no aflorantes, capaces de ser puestos en evidencia por métodos eléctricos: sondeos y perfilajes de resistividad, potenciales naturales, conductividad eléctrica, polarización espontánea, sísmica, etc.

Los más empleados, especialmente en los casos de yacimientos vetiformes o filonianos; debido a la tendencia de los minerales de uranio de enclavarse en zonas de debilidad o discontinuidad del subsuelo y en líneas de deformación tectónica: fallas, fracturas, diaclasas, brechas, etc; es el de la carta de resistividad, la que se obtiene por diferentes métodos (de los rectángulos, de Wenner, trielectrónico, etc), a diferentes niveles de profundidad.

De tratarse de yacimientos con control sedimentario -como sucede por lo general en Argentina-, se limitan las posibilidades de aplicación de dichos métodos, utilizándose en cambio, frecuentemente, los sondeos eléctricos verticales (resistividad), sea para la determinación del "water table" (por su implicancia en las condiciones de la mineralización), sea para la investigación de factores estructurales o discontinuidades en la sucesión estratigráfica ("bed-rocks", superficies de erosión, fallas, o para señalar cambios litológicos o formacionales, en presencia de condiciones favorables.

III.3. Emanometría

La desintegración natural del uranio y torio produce radioelementos gaseosos (radón: Rn 222 y torón Tn 220, respectivamente), parte de los cuales son susceptibles de difundirse a través de las rocas o el suelo y migrar hasta la superficie o incorporarse a las aguas circulantes, constituyéndose así en trazadores radiactivos, indicadores directos de la presencia de aquellos elementos.

El radón (que tiene un período de vida de 3, 8 días), debido a la movilidad específica de todo gas, se difunde rápidamente a través de la porosidad de las rocas o sedimentos o por líneas preferenciales: fallas o planos de estratificación. Si bien estas condiciones pueden llegar a interferir en mayor o menor grado sobre la morfología de los cuerpos o su correcta ubica-

ción, en condiciones especiales la prospección emanométrica puede constituir un valioso auxiliar para la localización de yacimientos uraníferos.

El uso de la emanometría fue desarrollado por los rusos como un método auxiliar para la determinación de factores estructurales en la exploración petrolera y luego adaptado a la prospección uranífera. La CNEA de Argentina fue uno de los primeros Organismos mundiales que incorporó el método en forma sistemática, con electrómetros de Ambromm contruídos en sus propios laboratorios.

Las posibilidades de aplicación del método han evolucionado enormemente desde el empleo de los primeros equipos, constituidos por cámaras de ionización (tipo electrómetro de Ambromm, o similares), los que requerían de un intervalo muy largo de lectura, a los equipos que les sucedieron basados en scintillometría, con un elemento detector constituido por un frasco recubierto interiormente por una substancia sensible (fluoruro de zinc), acoplado a un fotomultiplicador, con rendimientos superiores.

El mayor problema es la falta de repetitividad de las lecturas, debido a fuertes variaciones en la difusión del gas por razones climáticas.

Los últimos equipos tienden a incorporar contadores digitales, con sensores de las radiaciones alfa del radón, de los que CNEA está construyendo una serie.

Paralelamente se desarrollaron métodos con sensores alfa, los que quedan expuestos a contajes de larga duración (15 a 25 días). Entre ellos el más conocido es el "Track Etch"; películas exclusivamente sensibles a las radiaciones alfa, del tipo LR-110 o C-80 (desarrolladas por el CEA de Francia y fabricadas por PATHE-KODAK) y sensores sólidos (silicio), con contadores digitales de pulsos.

Las condiciones óptimas para la aplicación del método se relacionan con la presencia de cuerpos subprofundos, no detectables por radimetría. La precisión de la respuesta es función de la permeabilidad del subsuelo y de la profundidad a que se encuentra la fuente emisora. En Argentina dió resultados ampliamente positivos, permitiendo la solución de problemas estructurales (fallas cubiertas por aluvio) y/o extensión de varios yacimientos ("Rodolfo", "Los Adobes", "Dr. Baulfes", etc.

Los costos operativos son el siguiente orden:

- Emanómetro (sensor SZn): 0,50 a 2 u\$s/lectura.
- Track Etch: implantación: 1-2 u\$s c/u, sensor: 10-15 u\$s/ cap.
- Film sensible alfa: siembra idem anterior, film 0,5-1 u\$s c/u.
- Sensor sólido de contaje digital: siembra ídem anterior, sensor 400 u\$s / número de usos.

Los rendimientos, en el primer caso, alcanzan a 60-80 lecturas por equipo por día. Para el Track Etch o film alfa, son variables dependiendo

de la facilidad de excavar pocillos hasta 0,60-0,70 m de profundidad para sembrar las cápsulas; mecanizados pueden alcanzar de 30 a 50 por día.

III.4. Reconocimiento Físico Preliminar

La etapa de prospección detallada se completa con un reconocimiento físico preliminar, mediante labores mineras superficiales (destapes, trincheras, pozos, calicatas, etc), o con perforaciones de escasa profundidad, regularmente espaciadas y orientadas de acuerdo con la morfología y dimensiones de los cuerpos.

Dichos trabajos están orientados a la obtención de información geológico-minera sobre las características de la mineralización y a la obtención de un mínimo de muestras para su estudio y/o análisis, que permitan abrir un primer juicio cualitativo del orden de importancia del depósito.

Sobre la información así obtenida en cuanto a tipo y posibles controles de la mineralización, extensión, desarrollo, espesores y leyes medias potenciales de los cuerpos, se formulará la primera hipótesis de trabajo, la que fundamentará la etapa siguiente de exploración física regular.

IV. BIBLIOGRAFIA

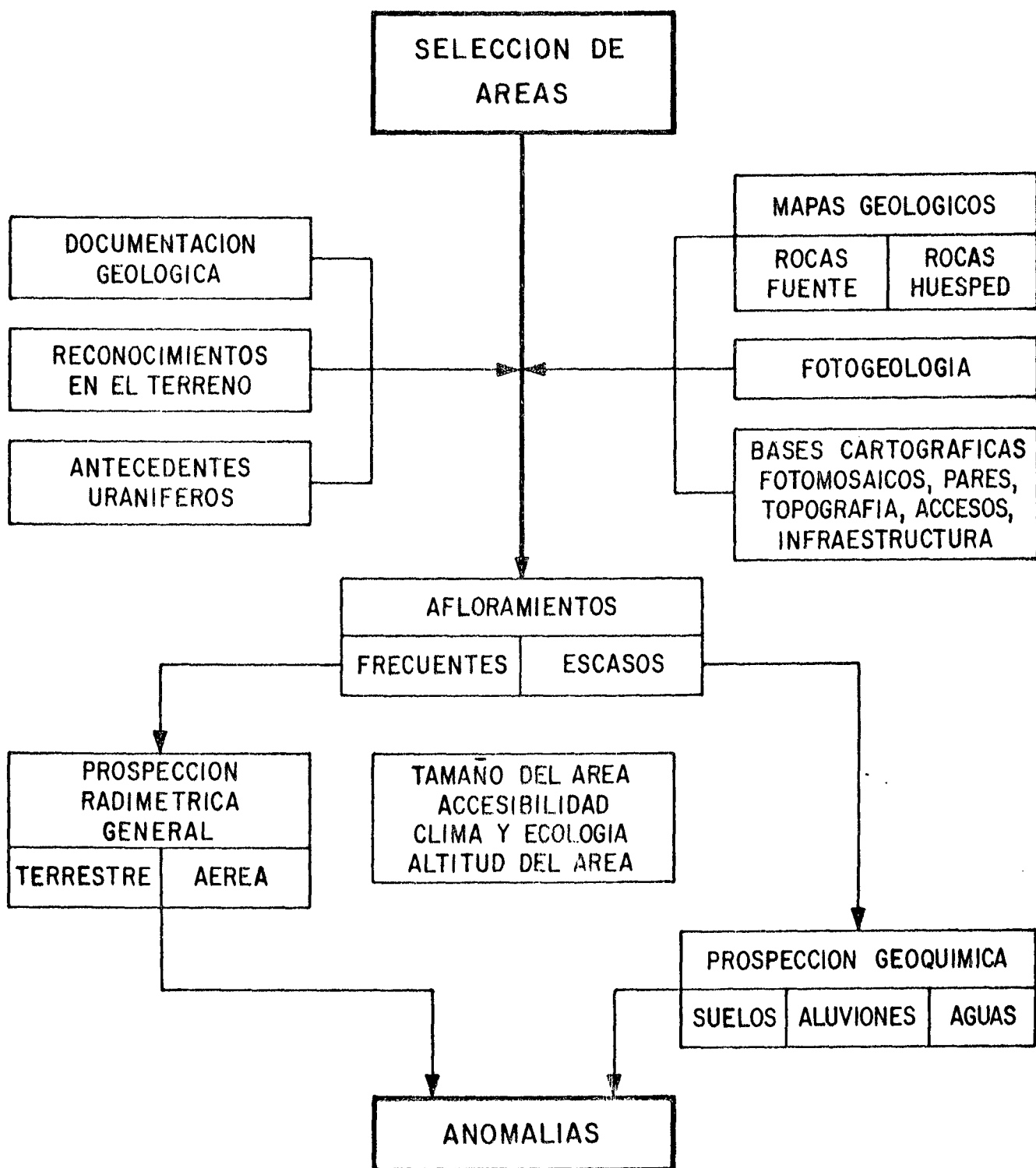
- 1- ALLIOT, L. BONNET, J. et SARCIA, J.A., Les Levés Radiométriques de Détail, Essais d'Amélioration des Rendements. Chron. des Min. et Rech. Min, N° 296, págs. 3 a 11, París, 1961.
- 2- ANGELELLI, V., Los Minerales de Uranio. Sus Yacimientos y Prospección. CNEA, Buenos Aires, 1958.
- 3- BIGOTTE, G. et THERENE, P., La Prospection des Substances Radiactives en Afrique par la C.E.A. Bull. d'Inf. Scien. et Tech. du C.E.A., N° 28, París, 1960.
- 4- BOYLE, T.L., Airborne Radiometric Surveying Office and Field Techniques. Off. Memo. R.M.E. 129, USAEC, Grand Junction, Colo. EUA, 1959.
- 5- CARRAT, H.C., El método de Prospección de Uranio en una División Minera. Puesta a Punto y Resultados. Traducción de CNEA de Annales des Mines, marz 1959, Buenos Aires, 1959.
- 6- CARRAT, H.G., Curso de Prospección, Exploración y Explotación de Minerales Nucleares. Inf. int. CNEA, Buenos Aires, 1959.
- 7- ERDA. National Uranium Resource Evaluation. Preliminary Report. Grand Junction, Colorado, U.S.A., 1976.
- 8- FRIZ, C.T.; RODRIGO, F. y STIPANICIC, P.N., Recursos y Posibilidades Uraníferas en Argentina. Conf. Intern. Utiliz. Energ. Atóm. Fines Pacíficos (Actas 3a. Conf.), V. 12, P/405, págs. 42-54, Ginebra, 1964.
- 9- FRIZ, C.T.; GAMBA, J.L.; JEMMA, R.J.A.; MARINKEFF, K. y MARTINES, C.G.M.; Técnicas de Prospección Aérea Radimétrica y Emanométrica Terrestre aplicadas en la República Argentina. Actas 3a. Conf. Intern. Utiliz. Energ. Atóm. Fines Pacíficos, V.12, P/838, págs. 214-221, Ginebra, 1964.
- 10- GRIMBERT, A. et OBELLIANNE, J.M., Essais de Prospection Géochimique de l'Uranium en Pays Aride, Rapport C.E.A., N° 2219, París, 1962.
- 11- ILLSLEY, C.T. and KINNAMAN, Mobile and Portable Units for Geochemical Exploration for Uranium. Off. Memo. R.M.E. 131, USAEC, Grand Junction, Colo. EUA, 1959.
- 12- LENOBLE, A., La Recherche del Uranium - L'Evolution des Méthodes. Rev. Ind. Min. V.41, N° 10, París, 1959.
- 13- OIEA. Geology of Uranium and Thorium, Vienna, 1962
- 14- OIEA. Geology of Uranium and Thorium, Vol.II, Vienna, 1968.
- 15- OIEA. Nuclear Techniques and Mineral Resources. Proc. of a Symposium, Buenos Aires, 8-9- November 1968, Vienna, 1969.

- 16- OIEA. Uranium Exploration Geology. Proc. of a Panel, Vienna 13-17 April 1970, Vienna, 1970.
- 17- OIEA. Nuclear Techniques for Mineral Exploration and Exploitation. Proc. of a Panel, Cracow, 8-12 December, 1969, Vienna, 1971.
- 18- OIEA. Uranium Exploration Methods. Proc. of a Panel, Vienna, 10-14 April, 1972, Vienna, 1973.
- 19- OIEA. Formation of Uranium Ore Deposits. Proc. of a Symposium, Athens, 6-10 May 1974, Vienna, 1974.
- 20- OIEA. Recommended Instrumentation for Uranium and Thorium Exploration. Vienna, 1974.
- 21- OIEA. Exploration for Uranium Ore Deposits. Proc. of a Symposium, Vienna, 29 March - 2 April 1976, Vienna, 1976.
- 22- RODRIGO, F., La Prospección de Uranio. Planificación y Selección de Métodos. Curso Reg. de Capacit. en la Prosp. de Uranio. OIEA-CNEA, Buenos Aires, 1969.
- 23- STIPANICIC, P.N. y RODRIGO, F., Evolución y Selección de los Métodos de Prospección y Evaluación para Yacimientos de Uranio en la Argentina. Acta Geológica Lilloana, V., Págs. 183-215, Tucumán, 1965.
- 24- STIPANICIC, P.N.; RODRIGO, F.; FRIZ, C.T. y LINARES, E. Provincias Uraníferas Argentinas. XXIII. Intern.Geol.Cong. Vol. 7, Copenhagen, 1968.

I N D I C E

	<u>Pág.</u>
I. <u>INTRODUCCION</u>	1
II. <u>PROSPECCION GENERAL</u>	2
II.1. BASES GEOLOGICAS	2
a. <u>Selección general de áreas</u>	2
b. <u>Selección regional de áreas</u>	3
II.2. FOTOGEOLOGIA	4
II.3. PROSPECCION RADIMETRICA.	4
a. <u>Prospección terrestre</u>	5
b. <u>Prospección autotransportada</u>	5
c. <u>Prospección aérea</u>	6
II.4. PROSPECCION GEOQUIMICA	8
III. <u>PROSPECCION DETALLADA.</u>	10
III.1. <u>Radimetría.</u>	10
III.2. <u>Geofísica</u>	12
III.3. <u>Emanometría</u>	12
III.4. Reconocimiento Físico Preliminar.	14
IV. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	15

TOMAS DE DECISION PARA EL INICIO DE UN PROGRAMA DE PROSPECCION



DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE PROSPECCIÓN AÉREA

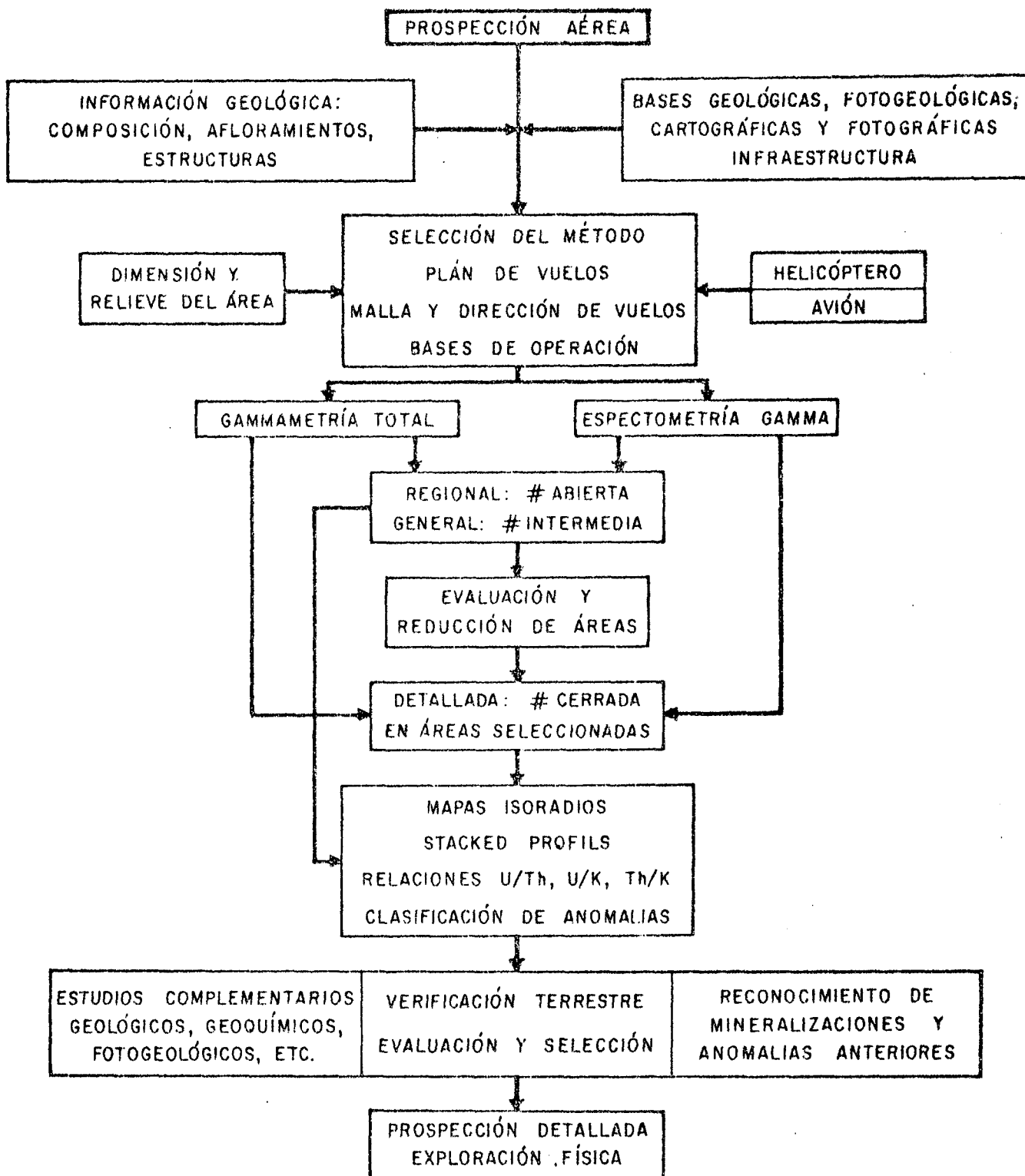
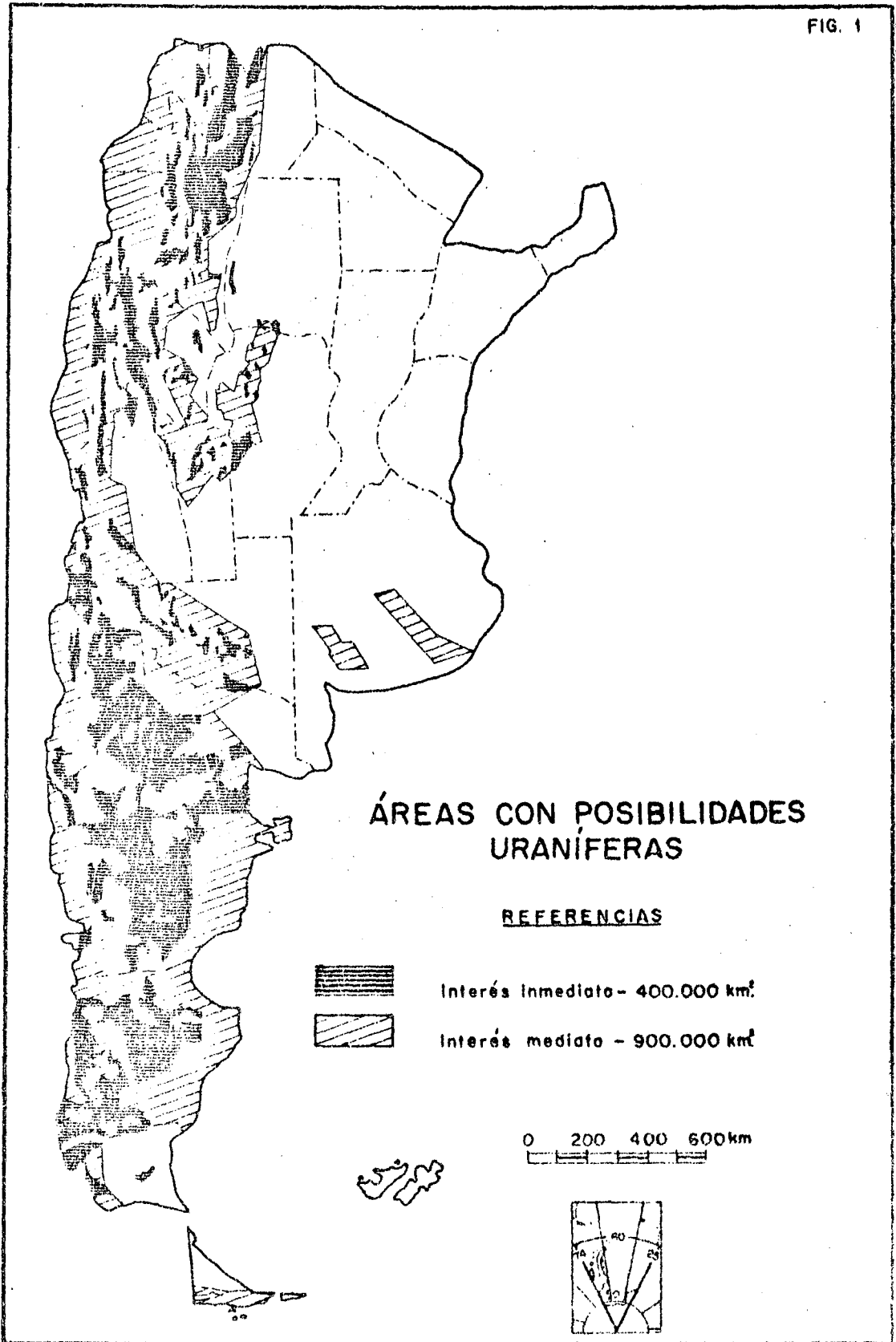


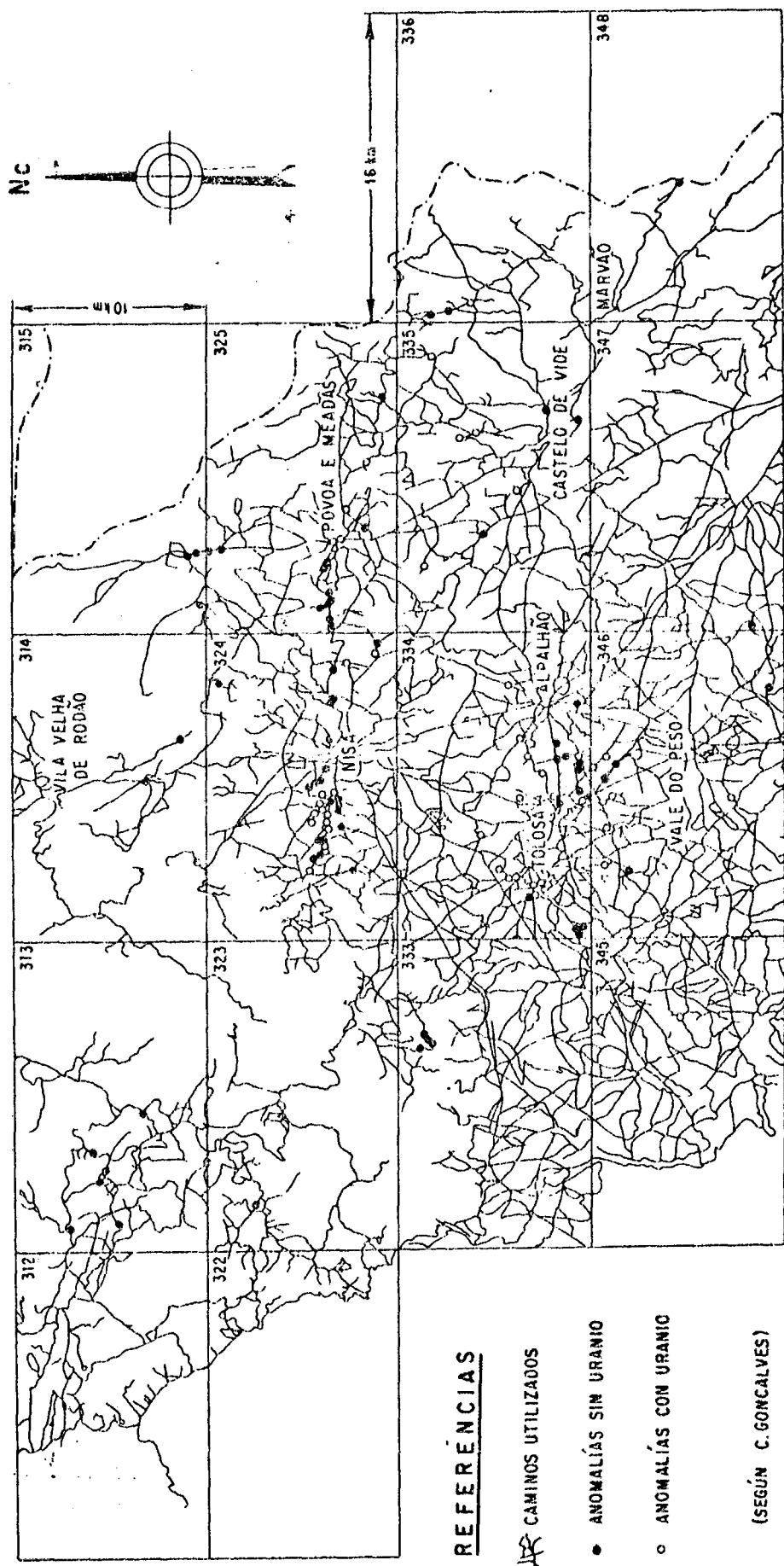
FIG. 1




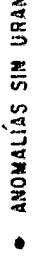
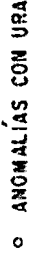
PROSPECCIÓN AUTOTRANSPORTADA

ÁREA MINERALIZADA DE NISA - TOLOSA - CASTELO DE VIDE (Portugal)

FIG. 2



REFERÊNCIAS

-  CAMINOS UTILIZADOS
-  ANOMALÍAS SIN URANIO
-  ANOMALÍAS CON URANIO

(SEGÚN C. GONCALVES)

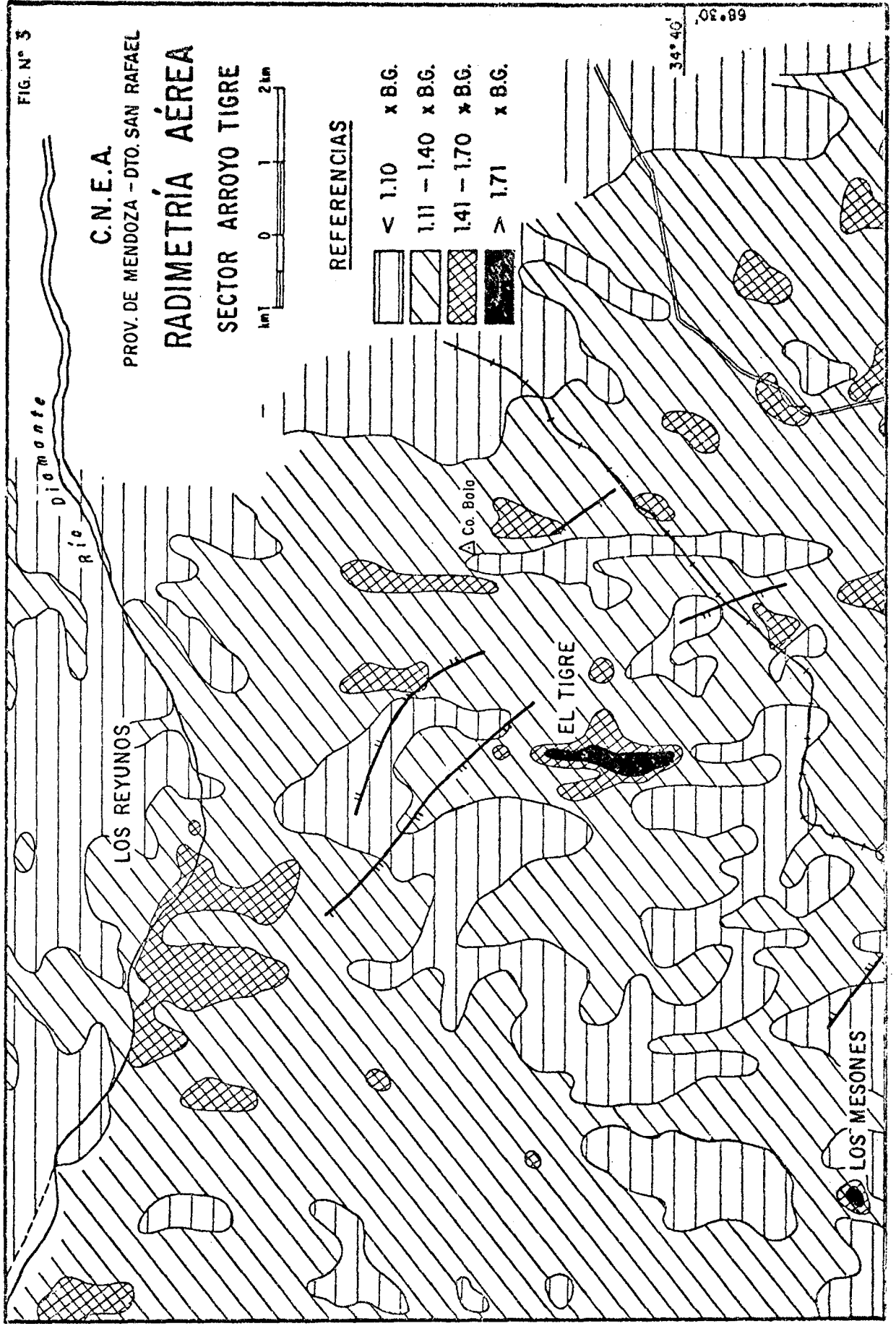
FIG. N° 3

C.N.E.A.
PROV. DE MENDOZA - DTO. SAN RAFAEL
RADIMETRÍA AÉREA
SECTOR ARROYO TIGRE



REFERENCIAS

	< 1.10	x B.G.
	1.11 - 1.40	x B.G.
	1.41 - 1.70	x B.G.
	> 1.71	x B.G.

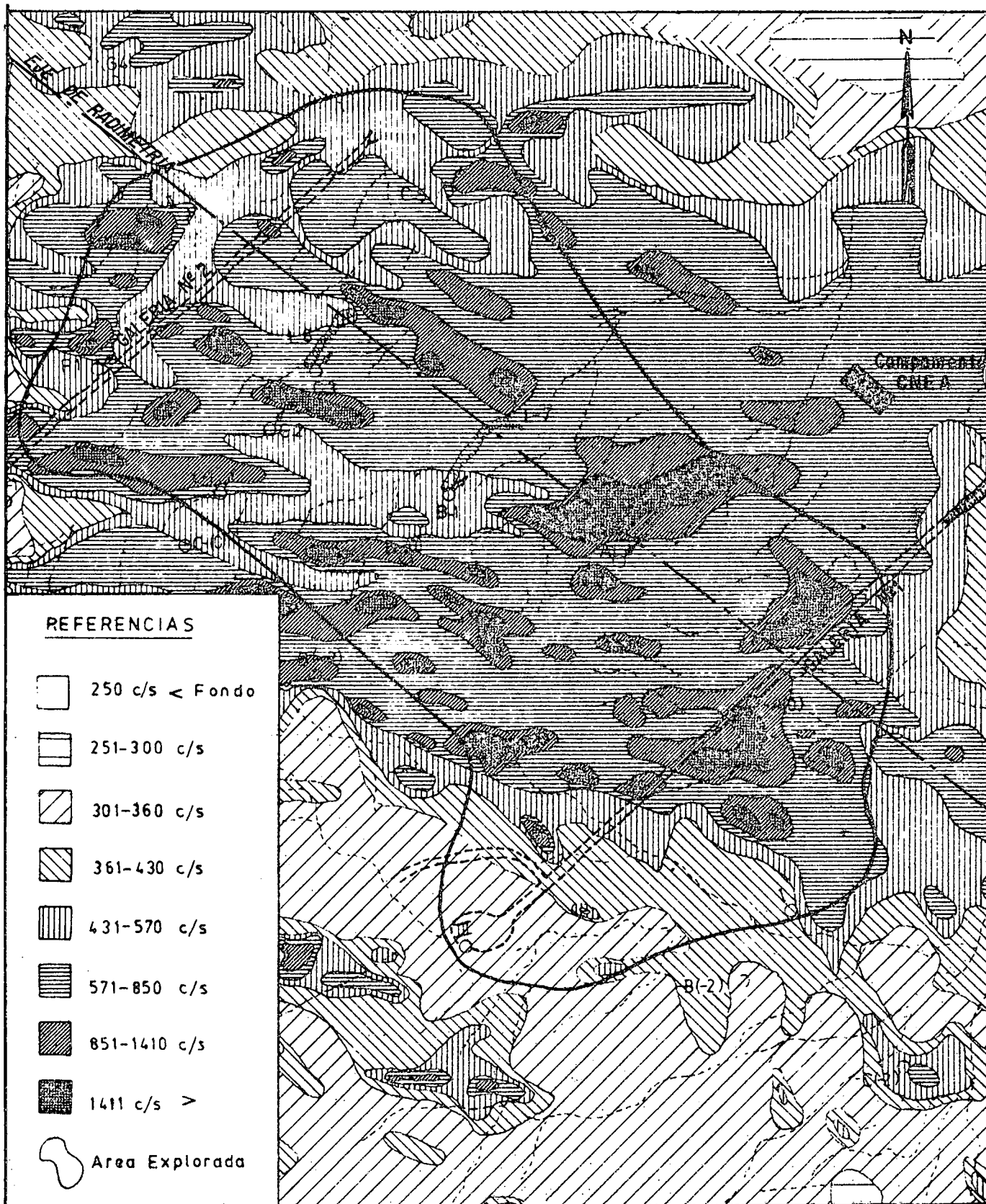
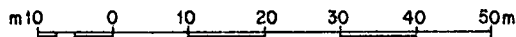


C.N.E.A.

GERENCIA DE EXPLORACION

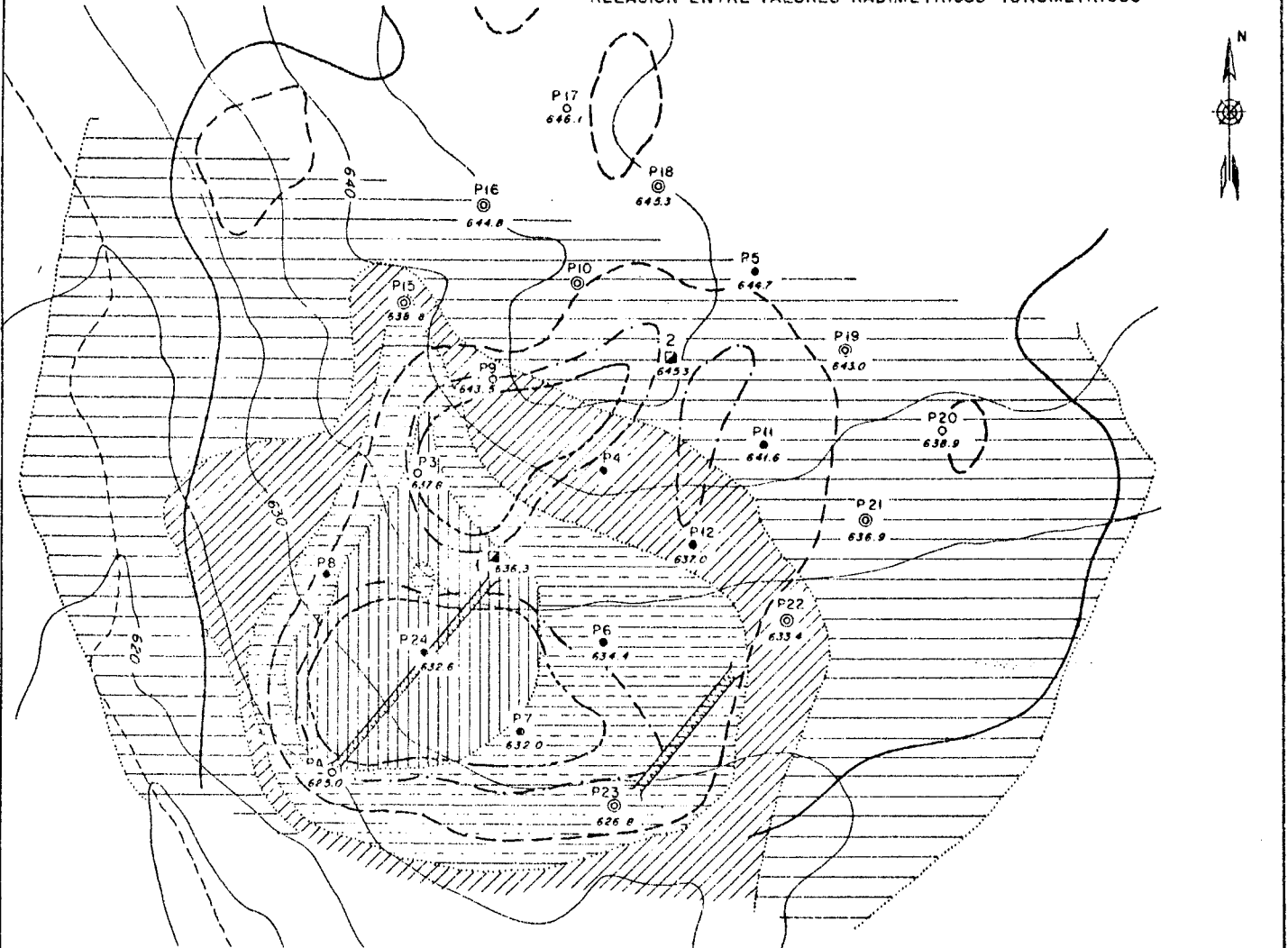
PROVINCIA DE CORDOBA - DEPTO. PUNILLA

MANIFESTACION NUCLEAR "SCHLAGINTWEIT"
 RADIMETRIA DETALLADA



PROVINCIA DE CHUBUT

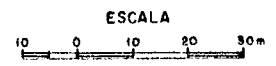
LA PROSECCIÓN EMANOMÉTRICA DEL YACIMIENTO "LOS ADOBES"
RELACIÓN ENTRE VALORES RADIMÉTRICOS - IONOMÉTRICOS



RADIMETRÍA	
[Horizontal lines]	HASTA .05 MR/HR
[Diagonal lines /]	DESDE .05 A .10 "
[Diagonal lines \]	" .10 A .5 "
[Vertical lines]	" .5 A +5 "

IONOMETRÍA	
[Solid line]	50 mV/s
[Dashed line]	100 "
[Dash-dot line]	250 "
[Dotted line]	500 "

- PERFORACIÓN CON MINERAL
- PERFORACIÓN SIN MINERAL
- ⊙ PERFORACIÓN PROYECTADA
- PIQUES
- ▨ TRINCHERAS



Nota: Según R. Jemma y H. Olsen