

183

METEORITOS Y CRATERES DE CAMPO DEL CIELO

PROVINCIAS DE CHACO Y SANTIAGO DEL ESTERO

Por

William A. Cassidy

Luisa M. Villar

Therore E. Bunch

Truman P. Kohman

Daniel J. Milton



SECRETARÍA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERÍA
INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERÍA
Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6°
CAPITAL FEDERAL

- 1 -

Aunque el descubrimiento de masas metálicas, en Campo del Cielo, se remonta a épocas prehistóricas, se incrementó especialmente a partir de la segunda mitad del siglo XVIII y llegó al máximo durante el siglo XX a causa de la colonización del Chaco Santiagueño. Entre todas son notables los grandes meteoritos el mayor de los cuales es "El Toba" con un peso de 4210 kg. (tabla 1).

Todos los especímenes han sido clasificados como ataxitos pobres en níquel (8) o como hexahedritos (9). La distinción entre ambas clases es difícil de realizar; actualmente se considera que los ataxitos pobres en níquel son simplemente, hexadritos alterados por calentamiento cósmico (9).

Los contenidos de níquel tabulados para los hierros de Campo del Cielo varían desde 5.11% a 5.8% aproximadamente la misma proporción reportada para todos los hexahedritos y ataxitos pobres en níquel (10, 11).

Tomando en cuenta la gran abundancia de hexahedritos localizados en la misma zona - abundancia significativa ya que este grupo de meteoritos es relativamente raro - y la uniformidad de composición de los mismos la única forma posible de relacionarlos entre sí es llegar a la conclusión de que todos los hexahedritos de Campo del Cielo son fragmentos de un mismo cuerpo padre o meteoróide.

Cráteres

Además del impresionante número de meteoritos descubiertos en Campo del Cielo, se encuentran varias curiosas depresiones circulares, los llamados "hoyos" en la publicación del Dr. Juan José Magera (12). Una de estas depresiones parece haber sido conocida por los indios. Alvarez sugiere que la similitud entre el nombre del



SECRETARIA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERIA
INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA
Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6º
CAPITAL FEDERAL

- 2 -

hoyo "Piguen Molhiré (Pozo del Cielo) y "Piguen Monrealtá" (Campo del Cielo) indica que quizá sospecharon la existencia de una conexión entre el hoyo y los objetos metálicos. Puede ser que este pozo haya sido el primer cráter meteorítico identificado con propiedad. La primera observación documentada sobre este asunto pertenece a Miguel Melchor Costas, diarista de la expedición de Francisco de Ibarra en 1779 quien observó en sus notas que el pozo llamado "del Cielo" a pesar de ser hondo no contenía agua (es probable que le haya llamado la atención la forma y profundidad del cráter diferente de aquellas que caracterizan a las aguadas comunes).

Un hoyo, que pudo ser el mismo, fué descubierto junto con otros dos que contenían agua, por Manuel Santillán Suarez en 1913. Suarez los ubicó a 15 km al sur de Gancedo y separados por distancias muy cortas. En 1923, Nágera de la Dirección de Hidrogeología y Minas (12) visitó Campo del Cielo realizando un estudio sobre los tres cráteres descubriendo también un cuarto cráter distanciado de los otros tres. En ese tiempo solo uno de ellos contenía agua, el llamado por Nágera Laguna Negra adoptando una terminología local. Otro caracterizado por tener un albardón cortado por una especie de cañada se denominó "Hoyo de la Cañada". El más profundo de todos al cual Alvarez identifica como "Pozo del Cielo" y Nágera llama primitivamente "Laguna de la Paila" de acuerdo a la denominación de los lugareños, fué bautizado posteriormente por él mismo, como Hoyo Rubín de Celis, al cuarto se refirió simplemente como Hoyo Aislado.



A causa del pedido de colaboración que dirigió el Observatorio Lamont a la Facultad de Ciencias exactas y Naturales y a la Dirección Nacional de Geología y Minería, uno de nosotros, fué a Campo del Cielo - por intermedio de la Dirección de Geología - para realizar un breve reconocimiento de los cráteres. Este reconocimiento confirmó el concepto del origen meteorítico de los mismos; la información obtenida en la zona permitió una preparación racional de la primera campaña cuyo objetivo era estudiar cráteres y meteoritos. El viaje preliminar a esta campaña se realizó en 1961.

En 1962, la U. S. National Science Foundation adjudicó al Lamont Geological Observatory, fondos para que iniciara el estudio; mientras se tramitaba una colaboración formal entre el Lamont y la Dirección Nacional, se invitó a participar en este estudio a científicos de otras instituciones norteamericanas. La Dirección, a su vez, adjudicó fondos a su personal asociado en este proyecto. Los autores de este trabajo formaron una comisión mixta argentino-norteamericana realizando desde el 17 de agosto al 17 de octubre de 1962 una primera campaña a Campo del Cielo.

El equipo encabezado por Cassidy y Villar realizó una segunda campaña desde el 23 de agosto al 23 de octubre de 1963.

Las comisiones estudiaron los supuestos cráteres meteoríticos, realizaron un mapa provisional para ubicarlos, buscaron meteoritos con un magnetómetro portátil y detectores de minas, zanjaron secciones del campo de dispersión y de los albardones y paredes de los cráteres, perforaron estos y obtuvieron series de testigos en pozos realizados dentro y fuera de los mismos, sobrevolaron la zona impactada con personal de la oficina de Hidrografía Naval y con pilotos civiles interesados en estos estudios. (Villar).



Craterzona

Por la informaciones hechas hasta ahora, podemos informar que existen por lo menos nueve cráteres meteoríticos de impacto; este número incluye cuatro descriptos previamente por Nágera y cinco no descriptos hasta ahora.

Hemos adoptado un criterio primario para identificar como cráter meteorítico a cualquier depresión circular o represa de la zona; este criterio primario es la presencia de hierro oxidado que se supone debe estar asociado a cualquier forma de impacto meteorítico. En esta investigación pueden ser tomadas como evidencias: la morfología del cráter, la presencia de vidrio de impacto, cohesita, stishovita, brecha y "shatter cones". La identificación de los nueve cráteres de impacto se basó principalmente en el criterio primario, pero también, en la morfología sea la mayor relación diámetro-profundidad que diferencia a los cráteres del resto de las represas de la región; estos se distinguen también por la presencia de albardones que aunque suaves son bien distintos.

La Fig. 2 es un mapa provisorios que muestra la ubicación de los cráteres identificados y las incidencias de los grandes meteoritos. Las características definitorias actuales de la craterzona son: (1) una configuración marcadamente lineal ya que todos los cráteres yacen próximos a una línea cuyo rumbo aproximado es N60E. (2) su extensión lineal es grande, los cráteres extremos distan 17.5 km entre sí. Su forma y extensión hacen que esta craterzona sea única entre las conocidas hasta ahora; la máxima distancia que



TARIA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERIA

INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA

Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6º

CAPITAL FEDERAL

- 5 -

separa dos cráteres en el grupo Sikhote-Allin es alrededor de 1.2 km (14) en el grupo de Kaalijarv 1.0 ^{km} (15) y en el grupo de Henbury 0,7 km (16); ninguna de estas craterzonas muestra la gran excentricidad que caracteriza a la de Campo del Cielo.

Las dimensiones y posiciones de los cráteres están tabuladas en la tabla 2. Los números 1, 2, 3, son los que fueron mapeados por Nágera a distancias relativamente cercanas y fueron llamados, por el, respectivamente: Hoyo de la Cañada (Fig. 3), Hoyo Rubín de Celis (Fig. 4) y Laguna Negra (Fig. 5); Nágera no mapeó el otro hoyo que denominó Hoyo Aislado este debe ser el designado por nosotros con el número 4. Los números 3 y 8 se encuentran a 1 km de distancia entre sí, los números 5 (Fig. 5) y 7 (Fig. 7) se encuentran a 0,6 km de distancia y los números 1 y 2 (Fig. 8) se encuentran a 200 m de centro a centro. Los números 6a y 6b se superponen un poco y consisten en dos depresiones adyacentes separadas por un albardón bajo.

En las fotografías aparecen depresiones (Fig. 6 y 7) circulares de varios metros de diámetro; aunque se sostuvo la teoría de que pudieran ser cráteres satélites (ver manuscrito inglés pág. 10), no lo son; hasta el momento, la única posibilidad de cráteres satélites (17) existe en el Hoyo de la Cañada (cráter nº 1) (Fig. 3 y 8). La cañadita o cañadón del nº 1 es una depresión irregular que puede ser la morfología remanente de uno o varios cráteres menores que hubiesen estado en contacto entre sí y adyacentes al cráter principal. La fig. 9 es una fotografía de este último en la cual se observa la cañadita cortando el albardón del cráter principal.



SECRETARÍA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERÍA
INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6º
CAPITAL FEDERAL

- 6 -

Cuando se demostró que todos estos cráteres yacen en una disposición casi lineal recta, se buscaron infructuosamente otros que estuvieran ubicados fuera de esta línea; se observaron sin embargo, ciertas depresiones circulares que carecen de material meteorítico asociado y cuya formación puede relacionarse con el sistema regional de drenaje.

Las diferencias de elevación son escasas y la visualización del relieve desde ciertas zonas es difícil hasta que se observa desde el aire una serie de bandas paralelas (este relieve ha podido visualizarse desde tierra durante 1963 y 1964 luego de una exploración pedestre más intensa, ver manuscrito inglés pag. 11). Estas fajas verdes corresponden a tierras altas cubiertas de monte denso y tienen un rumbo N-S; están separadas por tierras bajas elongadas que corresponden a valles que desembocan en un gran vajo salado elongado en rumbo E-W. Este bajo constituye uno de los primeros valles transversales de un diferente sistema de drenaje que sigue ese último rumbo; este nuevo sistema se extiende de 20 a 30 km al sur del área de los cráteres. Las tierras bajas de rumbo N-S se caracterizan por lagunas secas y bajos salados, las zonas que se encuentran entre estos últimos contienen pequeñas depresiones playas que semejan cráteres pero carecen de material meteorítico asociado, de albardones y de diámetro profundidad adecuado por lo cual su origen se relaciona con el sistema de drenaje, los cráteres en cambio no pueden ser relacionados de ninguna forma con dicho sistema.



- 7 -

Investigaciones Realizadas en los Cráteres

La región del Chaco Austral es semiárida, su relieve es chato su latitud media es de 100 m. El clima se caracteriza por inviernos templados y veranos tórridos que corresponden a la sucesión de una época seca y una época lluviosa. La vegetación es de savana típica en algunas zonas, en otras, predomina un monte xerófilo muy denso o grandes extensiones de pampas cubiertas de pastos duros; por último en gran parte de las isletas de monte (savana boscosa) están formadas por monte tipo parque sin sotobosque donde las especies son de madera dura. En escasas extensiones de tierra desmontada se ha plantado algodón. El subsuelo está formado por un gran espesor de sedimentos inconsolidados que provienen de las series de pedimento andina (18). La porción superior está formada por loess arcilloso no estratificado compuesto en parte por arena de transporte eólico y vidrio volcánico. El suelo está compuesto por arena fina, arcilla, caliche, y algo de humus. La permeabilidad del suelo y la horizontalidad del terreno se combinan para impedir la existencia de corrientes de agua. No hay afloramiento rocoso y exceptuando los meteoritos no hay fragmentos minerales mayores que los granos de arena.

Los cráteres, con una excepción, son playos en relación a sus diámetro y se han rellenado con sedimentos lacustres derivados de los materiales lavados de los labardones y las paredes. En cada caso los labardones son bajos pero distintos y fueron indudablemente más altos inmediatamente después de la formación del cráter. El cráter nº 2, Hoyo Rubín de Celis, aunque no es el de mayor diámetro es el más profundo y el mas conservado (Fig. 10). el nº 3, Laguna



- 8 -

Negra, es el de mayor diámetro pero tiene un piso liso y playo. (Fig. 11) la situación es similar para el nº 1, Hoyo de la Cañada, (Fig. 9) y para los otros cráteres. El nº 3 notablemente elíptico, su eje mayor tiene rumbo NW-SE. La morfología actual del nº 8 es bastante irregular pero elongada definitivamente en dirección N-S; de acuerdo a los pobladores, este último cráter era más profundo y tenía albardones más altos antes de que el campo donde se encuentra fuese limpiado y cultivado. Excepto la topografía especial del nº 1 y la superposición del 6a con 6b, los otros cráteres son aproximadamente circulares. La tabla 2 lista las dimensiones actuales de todos ellos.

El cráter nº 2 fué seleccionado para su estudio porque obviamente es el menos alterado por erosión; como estaba cubierto de monte hubo que limpiarlo previamente, para poder observar con nitidez su forma general. (Fig. 12) las partes A y B muestran la topografía de la presente superficie.

Durante el primer año muestreamos, con una perforadora de mano, el centro del cráter, luego, en la misma forma, a 67 m al NW del centro fuera del albardón. Durante el segundo año, para poder obtener muestras indisturbadas, usamos una perforadora Acker modelo Hillbily de 100 m de capacidad. El examen de los testigos puso de manifiesto la existencia de una brecha de impacto sedimentaria o brecha arcillosa que comienza a 14.8 m por debajo del centro del piso actual del cráter. Cerca del topo de esta brecha predominan clastos de sedimento muy arcilloso color rojo en una matriz pardo rojiza observándose en cantidad accesoría fragmentos angulares de sedimento muy arcilloso verde y venillas de este mismo



- 9 -

sedimento. El sedimento verde se denominó arcilla verde y el rojo arcilla roja. Hay un incremento relativo de arcilla verde con la profundidad, se vuelve conspicua a los 6.7 m, predomina a los 7 m y luego decrece. Los diagramas de rayos X de la fracción en la "arcilla roja" y en la "verde" son idénticos, también son similares, en las mismas, las proporciones de las diferentes fracciones. Se desconoce si es posible que las diferencias de color estén relacionadas con el origen meteorítico del cráter. Sugerimos que el piso original del cráter no alcanzó el nivel donde comienza la posible brecha arcillosa. En la perforación central se encontraron fragmentos de meteoritos a 4 m y a 9.3m. Una segunda perforación ubicada a 10 m de la anterior en un rumbo S60W, cerca del borde del piso del cráter, dió testigos muy similares pero las trazas de material meteorítico se encontraron a 3.1m y 6.6m; esta disposición se observa en la figura 12B. El lente de material meteorítico, sugiere para el cráter, una morfología original más profunda, por lo menos 9.3 m a 12.3 por debajo del presente nivel de su superficie. El albardón actual es solamente un metro más alto que dicho nivel, pero la cantidad de degradación calculada indica que el albardón original era uno o dos metros más alto que el actual.

Se cavó una zanja radialmente a través del albardón noroeste del cráter (Fig. 12C). Cerca de la cresta se observaron cuatro zonas bien demarcadas: La zona a es un horizonte de color pardo oscuro a negro, blando y poroso con mucha materia orgánica vegetal; pasa gradualmente a una zona b, más profunda, compuesta por un material tostado claro. Las dos zonas tienen una consistencia aterronada, la segunda zona de halla en parte cementada por caliche. La bas



- 10 -

base de la zona b es netamente definida, debajo hay una segunda zona oscura rica en material orgánico, c; esta pasa gradualmente a una segunda zona arcillosa color testado, d. Las zonas c y d son mas compactas que aterronadas y contienen menor proporción de caliche que las zonas a y b. Se supone que las zonas c y d representan un suelo pre-impacto mientras las zonas a y b suelo.

El contacto entre las zonas b y c se vuelve difícil de reconocer un poco más allá de los 25 m desde la cresta del albardón, y sólo es observable una zona transicional b más oscura y menos arcillosa que d. En la base de la zona b aparece un material sutilmente parecido al de la zona c. Cerca del borde del cráter esta zona se acuña. En la pared del cráter se pueden distinguir dos zonas oscuras pero la correlación de horizonte interior con la zona c es incierta. El contorno de los techos de los horizontes d y c indican que cerca del albardón, la superficie anterior a la formación del cráter estaba elevada 50 cm. El gran espesor de la zona c cerca del albardón, sugiere que la parte superior de esa zona es actualmente la porción basal del expelido el cual se halla compuesto por el suelo pre-impacto que fué eyectado del cráter. La inversión de la estratigrafía de manera que la secuencia cercana a la superficie antes del impacto, yace en la base del expelido, es característica de los cráteres de impacto. La altura máxima de albardón en esta sección no es mucho mayor que el levantamiento de la superficie pre-impacto- hay que tener en cuenta una intensa degradación por erosión-. Las zanjas cavadas en el fondo del cráter mostraron una zona superior arcillosa, color pardo claro, aparentemente reciente y formada por el lavado de



- 11 -

las paredes del cráter, sobre una zona oscura rica en material orgánico, f. Debajo de esta aparece una zona rojiza en la cual se incrementa la proporción de la fracción arcilla con la profundidad; se caracteriza por una ligera textura fragmentaria.

En la parte inferior de la zona b, o justamente debajo de la supuesta superficie pre-impacto, se encontró un tronco carbonizado en posición vertical. El diámetro es de 45 cm, la altura del individuo principal 15 cm. El tope del tronco se encontró a 65 cm debajo de la superficie actual, acompañando a este tronco se encontraron algunas partes que tenían estructuras relícticas de raíces. Se descubrió otro bolsón de carbón fósil, a siete metros fuera de la cresta del albardón y a una profundidad de 1.3m; estaba ubicado en el contacto de las zonas c y d y consistía en fragmentos de madera de tamaño mediano - como indica la curvatura de los anillos de crecimiento - separados entre sí; estas piezas yacían mas o menos horizontalmente. La edad deducida de este carbón, por medio de C^{14} , es de 5800 - 200 años. Es extremadamente improbable que este carbón haya sido sepultado en esa posición después de la formación del cráter. Es posible que el carbón sea mas antiguo que el cráter y haya sido sepultado a una profundidad como la de la zona c durante el tiempo de impacto, sin embargo, es también más probable que ambos, el carbón del bolsón y el del tronco, fuesen maderas sepultadas entre el caído -actualmente erodado - y quemadas en un incendio de monte causado por el impacto. En este caso, se hubieran carbonizado en las mismas condiciones que se producen para fabricar carbón de leña; en esta fabricación las pilas de madera son cubiertas con tierra



SECRETARÍA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERÍA
INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
Avda. JULIO A. ROCÁ 651 - PISO 6º
CAPITAL FEDERAL

- 12 -

para limitar la entrada de oxígeno. La edad calculada sería en este caso, la mínima para el cráter y probablemente su edad actual.

Nágera reportó el encuentro de un aglomerado de un decímetro en el fondo de este cráter, este aglomerado de vidrio volcánico contenía particular curvas, estriadas, y masas angulares de vidrio transparente, fragmentos de plagioclasa, anfíbol, cuarzo, piroxeno, óxido de hierro y láminas de biotita (12). Spencer dedujo de la ausencia de rocas volcánicas en la zona y de la gran distancia que la separaba de los volcanes andinos, que el vidrio podría no ser vidrio volcánico y ser en cambio vidrio impacto; no obstante se encontró en la pared terminal interna de la zanja nº 2 fragmentos de pocos cm de tamaño de material rocoso que contenían vidrio y otros minerales descritos por Nágera. Los minerales de grano fino han sido fundidos juntos, parcialmente. No se ha podido esclarecer si la roca es un producto de vulcanismo, impacto o actividad humana. (2)

Campo de Dispersión

A causa del gran interés despertado por nuestro trabajo, un chacarero de la zona, Milovitch, mandó investigar un objeto duro que había roto dos veces la cuchilla del arado. El objeto resultó ser un meteorito de 3000 kg. de peso (Fig. 13, tabla 1) al cual propusimos llamar "El Taco" de acuerdo al nombre de la zona donde fué encontrado. Hablando con antiguos residentes del lugar pudimos localizar la incidencia de otros cinco grandes meteoritos (estos residentes estuvieron presente cuando los descubrieron), los que fueron ploteados en la figura 2 ayudando a definir el campo de dispersión. Todos ellos



están en la línea de cráteres.

Además de las incidencias cercanas a la craterzona se descubrieron más meteoritos en terrenos de chacras que se encuentran a 55 km al NE de los cráteres 6a y 6b (Fig. 1). Localizamos el espécimen de incidencia más alejada (Hacia el NE), en manos de un coleccionista, obtuvimos una tajada de esta muestra; en base a sus análisis metalográfico supimos que pertenecía a la misma lluvia meteorítica. Se encontraron dos meteoritos metálicos más en los lotes limítrofes al de incidencia del anterior. El campo de dispersión tiene por lo tanto 75 m de largo. La búsqueda de meteoritos con detectores U.S. Army Surplus AN/PRS-3 fué fructífera. Se cubrieron varias áreas de campo de 60 m por 60 m y se recorrieron varias fajas de varios km de largo por 2 m de ancho. Estas recorridas permitieron aproximar los límites del campo de dispersión y determinarlo en la región central de la línea como muestra la Fig. 2. Las áreas de mas alta concentración fueron encontradas exactamente en la zona circundante, adyacente a los cráteres 1,2,3,8. En algunas partes de estas áreas es imposible recorrer el terreno con el detector, durante pocos segundos, sin encontrar algún nuevo meteorito. El muestreo de menos del 1% de esta área suministró mas de 500 especímenes, se mapearon las incidencias de todos ellos y aproximadamente se orientó en el terreno la mitad de los especímenes para poder utilizarlos en estudios de magnetismo remanente. Las masas varían entre 50 g y 35.7 kg; la profundidad de las ocurrencias entre 15 y 25 cm.

Se obtuvieron datos acerca de la distribución de meteoritos en profundidad zanjando zonas previamente investigadas con detectores. Comparando en número y tamaño de los fragmentos descubiertos



SECRETARIA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERIA
INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA
Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6º
CAPITAL FEDERAL

- 14 -

por medio de zanjas y detectores, se concluyó que los últimos habían descubierto solo la mitad del total de fragmentos presentes en cada área investigada pero el 90% de la masa total de cada una de estas áreas.

La mayoría de los cráteres dieron poco o ningún fragmento, en cambio, la búsqueda con detectores en uno relativamente pequeño (cráter nº 8) dió 24 fragmentos dentro de la depresión y uno fuera de ella, es decir, una masa total de 50 a 60 kg.

Además de las investigaciones con detectores y zanjas, se usó un magnetómetro Varian M49A a precesión protónica, portátil, para buscar meteoritos más profundos. Los cálculos teóricos realizados en Magnetic Section del Lamont, indicaron que este instrumento podía detectar una esfera de 30 cm de radio (-900 kg) en un ambiente magnético similar a Campo del Cielo (F 25.000, I - 21º) a una profundidad de hasta 4 m. Los exámenes realizados sobre las caras del "Taco" (3690) indicaron que esta masa de tipo prismático podría haber sido detectada a una profundidad de 7 m. Debido a que el método del magnetómetro es mucho más lento que el de los detectores, el primero se usó solamente para investigar los cráteres. De esta forma se investigó el cuadrante NW del piso, la pared y el albardón del cráter nº 2 usando un intervalo de 1 m con el cabezal a 60 cm del suelo. En el albardón se encontró un meteorito de 18.3 kg. de peso a una profundidad de 20 cm; no se encontraron masas más grandes.

En suma, no podemos decir, que el campo de dispersión es largo y angosto y que el eje mayor del mismo coincide con la dirección en la cual se extiende la craterzona. (Fig. 1).



Metalografía de los Meteoritos

Villar determinó como hexedrito, la sección de un espécimen encontrado en el extremo NE del campo de dispersión total. Bunch examinó varios meteoritos recolectados en otras partes del campo y los clasificó como hexahedritos. A causa de la estructura visible en las superficies pulidas, pueden ser clasificados como hexadritos granulares.

Los granos poligonales que se observan en la figura 14 son kamacita (hierro α) [a nicoles cruzados con un aumento de 0.3 cm por 1 cm.] Los minerales accesorios son taenita laminar (hierro β) que se presenta en láminas relícticas adaptadas al crecimiento de la kamacita, hallándose esta última, orientada según Windmantsstätten; schreibersita (9) según rhabdita, dentro de la kamacita, en hábito masivo formando venillas y también asociada con troilita xenomorfa o en manchones aislados (troilita SFe). Se encuentran escasas inclusiones silicáticas; las mayores tienen 2 cm por 1 cm y sus componentes en orden decreciente de abundancia son: forsteria, diópsido de cromo, enstatita y oligoclasa. En estas inclusiones aparecen; schreibersita, troilita, kamacita grafito, cromita y óxidos de hierro secundarios; todos estos minerales diseminados en la asociación de silicatos (ver 19).

Las líneas de Neumann son comunes y aparecen en toda la kamacita, pero se encuentran gruesas bandas de deformación que obliteran la estructura anterior (Fig. 15). La primera estructura precede a la segunda, y esta característica puede ser considerada una eviden-



SECRETARÍA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERÍA
INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6º
CAPITAL FEDERAL

- 16 -

cia de las grandes presiones dirigidas a las cuales estuvo sometido el meteorito durante las últimas etapas de su historia posiblemente durante su impacto en la tierra.

Mecanismo de Caída

Todos los cráteres y meteoritos yacen dando una configuración casi lineal, formando un campo de dispersión largo y angosto. Este hecho sugiere que el meteorito padre, entró en la atmósfera terrestre siguiendo una trayectoria rasante de poca curvatura, y que se rompió a gran altitud en miles de pedazos. Los fragmentos - de acuerdo con esta interpretación - se separaron entre sí con velocidades cuyas componentes verticales y laterales fueron pequeñas. A causa del pequeño ángulo de incidencia y a la gran altitud a la que se rompió el cuerpo inicial, las diferencias entre las componentes verticales de la velocidad, se tradujeron horizontalmente, - debido al arrastre atmosférico diferencial - en grandes distancias de separación entre las incidencias sobre la superficie terrestre, donde los fragmentos mas grandes formaron cráteres. Quizá los fragmentos más pequeños tuvieron mayores velocidades de separación, por lo que sus caídas no ocurrieron simultáneamente con las masas productoras de cráteres sino antes y después.

No se sabe aún si los innumerables fragmentos encontrados, provienen del rompimiento del cuerpo padre en la atmósfera o resultado del impacto de las grandes masas contra la tierra. La violenta deformación y esquistosidad observada en muchos de estos fragmentos parecen apoyar la segunda posibilidad. Quizá el futuro trabajo en campaña de respuesta a esta cuestión.



SECRETARÍA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERÍA
INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6º
CAPITAL FEDERAL

- 17 -

La trayectoria de penetración casi horizontal, pudo ser resultado del pasaje de una órbita solar tangencialmente a la tierra, en este caso el meteoróide encontró la tierra sin desviarse de su propia órbita; o de la eliminación de una órbita elíptica geocéntrica - en la cual el meteoróide pudo haber estado capturado - a causa de una perturbación lunar o retardo atmosférico. La rotura del cuerpo padre, pudo haber sido inducida por fuerzas perturbadoras de la zona de Roch, las cuales actuaron sobre aquel antes de su penetración sustancial en la atmósfera. Por otra parte los fragmentos que escaparon con módulos de velocidades comprendidos entre los circulares y los parabólicos (7.8 y $kl \text{ seg}^{-1}$ respectivamente) pudieron orbitar la tierra y entrar nuevamente en la atmósfera a través de puntos de incidencia, cuyas latitudes fueron similares a las de los puntos primitivos, o aún entrar antes.

En la caída producida a lo largo de órbitas aproximadamente circulares, la revolución de estos fragmentos se realizó probablemente en 90 minutos, durante los cuales debió haber rotado $22030'$ hacia el este.

Considerando esta posibilidad notamos que a una distancia aproximada de 1000 km al NW de Campo del Cielo, existe otra área de dispersión formada también por hexadritos - meteoritos poco comunes -; los hexahedritos de Chile Septentrional.

A lo largo de una angosta faja costera que tiene 400 km de largo con rumbo N-S, existen hasta ahora, 12 incidencias conocidas. El contenido en níquel de los hexahedritos de Chile Septentrional varía entre 5.32% y 5.36%, por lo que esencialmente son iguales a Campo del Cielo.



SECRETARÍA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERÍA
INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6°
CAPITAL FEDERAL

- 18 -

Las disposiciones de las dos áreas de dispersión corresponden marcadamente bien, a la suposición de una aproximación inicial desde el NE de Campo del Cielo, en una órbita mínima cercana inclinada aproximadamente 40°.

El cuerpo productor del área de dispersión de Chile Septentrional, reentró en la atmósfera después de recorrer hacia el W y hacia el N las distancias esperadas.

Las diferencias en los períodos orbitales de los distintos fragmentos - producidos por el paso previo del perigeo- pudieron influir en la extensión de la segunda área de dispersión, por lo que esta deberser considerablemente mayor. La mayor parte de la misma puede yacer en el océano Pacífico y alejada de la costa chilena.

Una línea dibujada a través del punto que marca 22°30' directamente al poniente de Campo del Cielo, con un rumbo N60E, pasa a través del área continental de dispersión de Chile Septentrional.

Cuestiones de Nomenclatura

El nombre Campo del Cielo, fué originalmente aplicado a la región que contenía las grandes masas de hierro conocidas primitivamente por los indios y los conquistadores españoles; estas eran indudablemente parte del grupo meteorítico que nosotros hemos comenzado a investigar. La designación de la zona como Campo del Cielo, aparece en mapas desde el año 1883 (21). El nombre parece haber sido usado libremente para varias secciones de esa extensa región. El mapa general de Santiago del Estero, muestra el área del Departamento Campo del Cielo al oeste de la zona donde se hallan cráteres y meteoritos como Campo del Cielo (8), y Nágera designó a los cráteres como Hoyos de Campo del Cielo (12).



Nos basamos en estos antecedentes, paraproponer que a este grupo de hexahedritos sea llamado (en inglés también) Meteoritos de Campo del Cielo (Campo del Cielo Meteoritos) y los cráteres asociados Cráteres de Campo del Cielo (22) ya que estos nombres son más apropiados y descriptivos.

Otro nombre frecuente usado para denominar esta región es Otumpa, que se deriva del nombre indio Hautumpampa el cual significa *Campo del Cielo* (ver fig. 1). Otumpa ha sido usado para denominar al Mesón de Fierro (2, 3), para denominar al meteorito hallado en Runa Pocito, el cual se encuentra actualmente en el Museo Británico (4, 7), y también para denominar en general a los hexadritos de la región (6). Creemos que la continuación del uso de la palabra Otumpa dará lugar a confusión sobre los lugares de procedencia ya que las localidades identificadas actualmente con el nombre Otumpa no están, hasta ahora, relacionadas con el campo de dispersión y la craterzona.

Se sugiere que los nombres tradicionales de los meteoritos sean conservados (tabla 2), y usados entre paréntesis después del nombre del grupo, para designarlos específicamente. Esta permitirá aplicar el nombre de Otumpa al meteorito procedente de Runa Pocito (22) y Mesón de Fierro el gran meteorito perdido.

En el futuro, se encontrarán miles de especímenes en Campo del Cielo; actualmente numeramos en serie los que hemos encontrado, estos números serán publicados en tablas (con mapas de ubicación adjuntos) para que puedan ser pedidos en préstamo por los investigadores que deseen hacerlo. Sería recomendable que todos los coleccionistas que encuentren hexahedritos en dicha zona, los numeren y ubiquen.



Sumario

Las leyendas precolombinas, documentos de los primeros exploradores españoles, informaciones científicas posteriores, e información local indican la presencia de un gran campo de dispersión de hexahedritos y una craterzona de grandes dimensiones. Los estudios realizados en campaña por una comisión argentino-norteamericana durante los años 1962 y 1963, permitieron determinar la extensión, que es mucho mayor que la esperada primitivamente y en muchos aspectos la distribución de la lluvia, única.

Por la presencia de material meteorítico asociado, (hierro esquistoso), se han identificado nueve cráteres de impacto cuyo diámetro varía entre 20 y 115 m y cuya profundidad máxima varía entre 0.50 y 4 m. Algunos parecen ser dobles y estar acompañados de cráteres satélites. Estos cráteres aparecen en suelos arcillosos y su formación produjo típicos efectos de impacto que son en general difíciles de observar, no obstante, al ser zanjado el cráter mejor conservado, se observó un expelido.

Los albardones han sido erosionados por meteorización y sus fondos rellenados; esto fué demostrado en perfiles de perforación. La edad mínima probable determinada por el método del radio-carbono en un carbón fósil encontrado debajo del albardón del cráter estudiado es mas o menos 5800 años. Los cráteres se formaron sin excepción en una línea con una interseparación de 1 ó 2 km, esta línea tiene 17.5 km de largo y un rumbo N60E; no se han podido encontrar cráteres fuera de este campo largo y angosto.



- 21 -

Aparte el Mesón de Fierro (perdido) cuyo peso se calculó en 14 toneladas, y del meteorito de Otumpa (peso 900 kg. aproximadamente) encontrado en 1803, se descubrieron 8 hierros cuyos pesos varían entre 100 y 4210 kg, descubiertos entre 1920 y 1960. Durante la campaña realizada en 1962, los chacareros descubrieron un hierro de 3090 kg; también nosotros usando detectores de minas desenterramos más de 500 meteoritos cuyos pesos varían entre 50 kg. y 25.7 kg. los cuales representan 600 kg, de material meteorítico. La masa total recolectada hasta ahora es de 12.400 kg; esta cifra representa solamente una pequeña parte del metal que se halla probablemente in situ. Los grandes meteoritos y las partes más densas del campo de dispersión, aparecen (hasta ahora) dentro de pocos km de una línea definida por los cráteres, pero las incidencias extremas se hallan a 75 km unas de otras. Los últimos hexahedritos encontrados son idénticos a todos los hallados anteriormente en esta región. Tienen una textura granular, muestran distorsión considerable y bandas de Neuman desplazadas.

La gran extensión de la craterzona y del campo de dispersión total, hacen que la morfología de la lluvia sea única; esta morfología indica el rompimiento del meteoróide a gran altitud y una trayectoria rasante. Se piensa que el meteoróide pudo haber sido un satélite de la tierra cayendo en una órbita disturbada, también en aquellos hexahedritos de Chile Septentrional pueden ser fragmentos del mismo cuerpo los cuales orbitaron la tierra antes de aterrizar.

Proponemos que el área de incidencia general de los meteoritos y la craterzona sean llamadas Campo del Cielo.



SECRETARIA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERIA
INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA
Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6º
CAPITAL FEDERAL

- 22 -

El hecho de que los cráteres y el campo de dispersión no hayan sido alterados o estudiados antes de nuestra llegada, añade un gran valor a nuestras observaciones. Intentamos hacer colecciones buenas que sean útiles para estudios científicos. Esperamos que este se convierta en uno de los efectos de impacto más y mejor estudiados del mundo

gs.-

BUENOS AIRES, Mayo de 1965.

Luisa M. Villar

TABLA 1 - Grandes meteoritos encontrados en Campo del Cielo, Provincias de Chaco y Santiago del Estero

Nº (*)	Nombre individual (si existe)	Masa kg	Año de descubrimiento	Lugar de descubrimiento		Ubicación actual
				Lat. S.	Long. W	
A	El Mesón de Fierro	15.000	antes 1576	27° 28'	61° (?)	In situ (perdido).
B	El Toba	4.210	1923	27° 40'	61° 46'	Bs.Aires, Museo Bernardino Rivadavia.
C	El Taco	3.090	1962	27° 41'	61° 47'	Washington, D.C., U.S. National Museum.
D	El Mataco	990	1937	27° 41'	61° 45'	Rosario, Pvcia. Santa Fé. Parque Independencia.
E	Otumpa	900	1803	27° 46'	62° 33'	London, British Museum (Nat. History-634kg)
F	El Toconoté	850	1931			Bs.Aires, Dir. Nac. Geología y Minería.
G	El Mocoví	732	1925	27° 37'	61° 36'	Bs.Aires, Museo Bernardino Rivadavia.
H	El Abipón	460	1936			Bs.Aires, Museo Bernardino Rivadavia.
I	El Patio	350	antes 1960	27° 40'	61° 44'	Gancedo, Pvcia. Chaco Estancia El Taco.
J		132	antes 1960	27° 40'	61° 42'	Rafaela, Pvcia. de Santa Fé - Museo Municipal.
K		100	antes 1960	27° 37'	61° 36'	Gancedo, provincia de Chaco - Estancia Los Guanacos.

(*) - Estas designaciones en orden de más decrecientes, pueden ser identificadas en la Fig. 2.-

TABLA 2 - Cráteres meteoríticos de Campo del Cielo, Provincias de Santiago del Estero y Chaco.

Nº	Nombre puesto por Nágera (12)	Ubicación Lat. S	Ubicación Long. W	Diámetro medio Albardón-Piso-Nágera m		Profundidad máxima Actual - Nágera m	
1	Hoyo de la Cañada	27° 39'	61° 41'	80	50 53	2	2,2
2	Hoyo Rubín de Celis	27° 39'	61° 41'	55	20 55	4	5
3	Laguna Negra	27° 38'	61° 40'	115	55 65X78	2	2
4	Hoyo Aislado (?)	27° 39'	61° 43'	80	40 43	2	2
5		27° 41'	61° 44'	60	44	1	
6a		27° 36'	61° 36'	30	15	2,5	
6b		27° 36'	61° 36'	20	18	2	
7		27° 41'	61° 44'	60	45	1	
8		27° 37'	61° 43'	28X46	16X32	0,5	

- Las ubicaciones absolutas son inciertas con aproximación 02', pero las ubicaciones relativas pueden ser tomadas con aproximación 01'.

Medidos desde los puntos más altos de los albardones opuestos por lo tanto mayores que los diámetros reportados por Nágera que fueron tomados desde niveles no especificados.





REFERENCIAS Y NOTAS

- 1 - Antenor Alvarez, El Meteorito del Chaco (Jacobo Peuser, Bs. Aires, 1926), 222 pp.
- 2 - M. Rubín de Celis, Phil. Trans. Roy. Soc. Londres 78 37-42; Transl. 183-9 (1788).
- 3 - Sir Woodbine Parish, Phil Mag. 124, 53-4 (1834).
- 4 - Sir Woodbine Parish, Buenos Aires and the Provinces of the Rio de la Plata (John Murray, London; 2nd Ed., 1852, pp 288-96).
- 5 - Documentos de los Archivos Nacionales de Estados Unidos (United States National Archives), Washington, D.C. y comunicación personal del Sr. Laurence J. Hoes, Curador, James Monroe Memorial Foundation, Fredericksburgh, Virginia.
- 6 - G.T. Prior and M.H. Hey, Catalogue of Meteorites (British Museum, London; 2nd Ed., 1953), pp.281-2. La ubicación dada debajo de "Otumpa" es incorrecta y se refiere probablemente al Mesón de Fierro y no al espécimen que se encuentra en el Museo Británico (British Museum).
- 7 - M.M. Radice, Revista del Museo de la Plata (Nueva Serie), Sección Geología -5, 29-154 (1959).
- 8 - E. Cohen, Meteoritenkunde (E. Schweizerbart, Stuttgart), Heft III (1905), pp 35-44.
- 9 - S.H. Perry, The Metallography of Meteoric Iron, U.S. National Museum. Bull 184, pp. 17, 65, 72, 75, 76 (1944).
- 10 - E.P. Henderson, Am. Min. 26, 546-50 (1941).
- 11 - W. Goldberg, A. Uchiyama, H. Brown, Geochim. Cosmochim. Acta 2, 1.25 (1951).
- 12 - J.J. Nágera, Los Hoyos del Campo del Cielo y el Meteorito, Dirección General de Minas, Geología e Hidrogeología, Publ. 19, 9 pp - 22 pl. (1926).
- 13 - L.J. Spencer, Geogr. J. 81, 227-48, (1953).



- 14 - E.L. Krinov, Principles of Meteoritics (transl. I. Vidzianas and H. Brown; Pergamon, London, 1960).p.143.
- 15 - E.L. Krinov, Am. J. Sci. 259, 430-40 (1961).
- 16 - A.R. Alderman, Mineral. Mag. 23, 19-32 (1932).
- 17 - G.L.Evans, Proceedings of the Geophysical Laboratory - Lawrence Radiation Laboratory Cratering Symposium (U.S.A.E.C. Document UCRL-6438) Paper D (1961)
- 18 - H.J. Harrington, Handbook of South American Geology (W.F. Jenks, Ed.), Geol.Soc.Am.Mem. 65, 153-165 (1956).
- 19 - F. Park, T.E. Bunch, A.M. Reid, T.B. Massalski, and A.J.Cohen Trans. Am. Geophys. Union, 44, 86 (abs) (1963).
- 20 - G.T. Prior and M.H. Hey, Catalogue of Meteorites (British Museum, London; 2nd Ed., 1953) p. xiii and alphabetical listings.
- 21 - Sketch of a road crossing the southern Chaco from western margin of the Paraná River to the Salado River, locating on the way the large meteorite of Hatumpampa, upon which the routes of the explorers Ibarra, Rubín de Celis, and Castellanos converge. Mapped by Anjel Justiniana Carranza to help the Bosch expedition, in which he took part as a member of the scientific commission. (1883) Copia de la colección Christensen Buenos Aires.
- 22 - Esta sugerión tiene la aprobación del Dr. Edward P. Henderson del U.S. National Museum y del Dr. Wax H. Hey del Museo Británico. Comunicaciones personales.
- 23 - Agradecemos a National Science Foundation por las adjudicaciones (G-24481 y GP-2897) que financiaron gran parte del presente trabajo, a la Dirección Nacional de Geología y Minería y al Servicio de Hidrografía Naval por su asistencia en la resolución de trámites y por todos sus aportes materiales; al Dr. Roberto V. Tezón, Director Nacional de Geología y Minería; Capitán Luis R.A. Capurro, Jefe del Servicio de Hidrografía Naval y al Dr. Eduardo Methol, Dirección Nacional de Geología y Minería, por la ayuda prestada al equipo; Sr. Fernando Ramon, Departamento de Geología, Universidad de Buenos Aires, por su colaboración en el trabajo de campaña de 1962. Sr. Sánchez Elía, Estancia Los Guanacos, Gancedo; Sr. Hugo



JULIO CESAR ...
no que realizó los vuelos preparatorios para el vuelo
aéreo.

Por la información suministrada acerca de los grandes meteoritos de Campo del Cielo; al Sr. Derrick A. H. Christensen y familia por permitirnos consultar notas, mapas y documentos inéditos sobre el Mesón de Fierro; al Profesor Wallace S. Broecker, por las determinaciones de edad con radiocarbono; Dr. James R. Hiertler, Lamont, por los cálculos de las anomalías magnéticas; and Mr. R. F. Park, Mellon Institute, Pittsburgh por las fotografías y microfotografía utilizadas en las Fig. 14 y 15.-

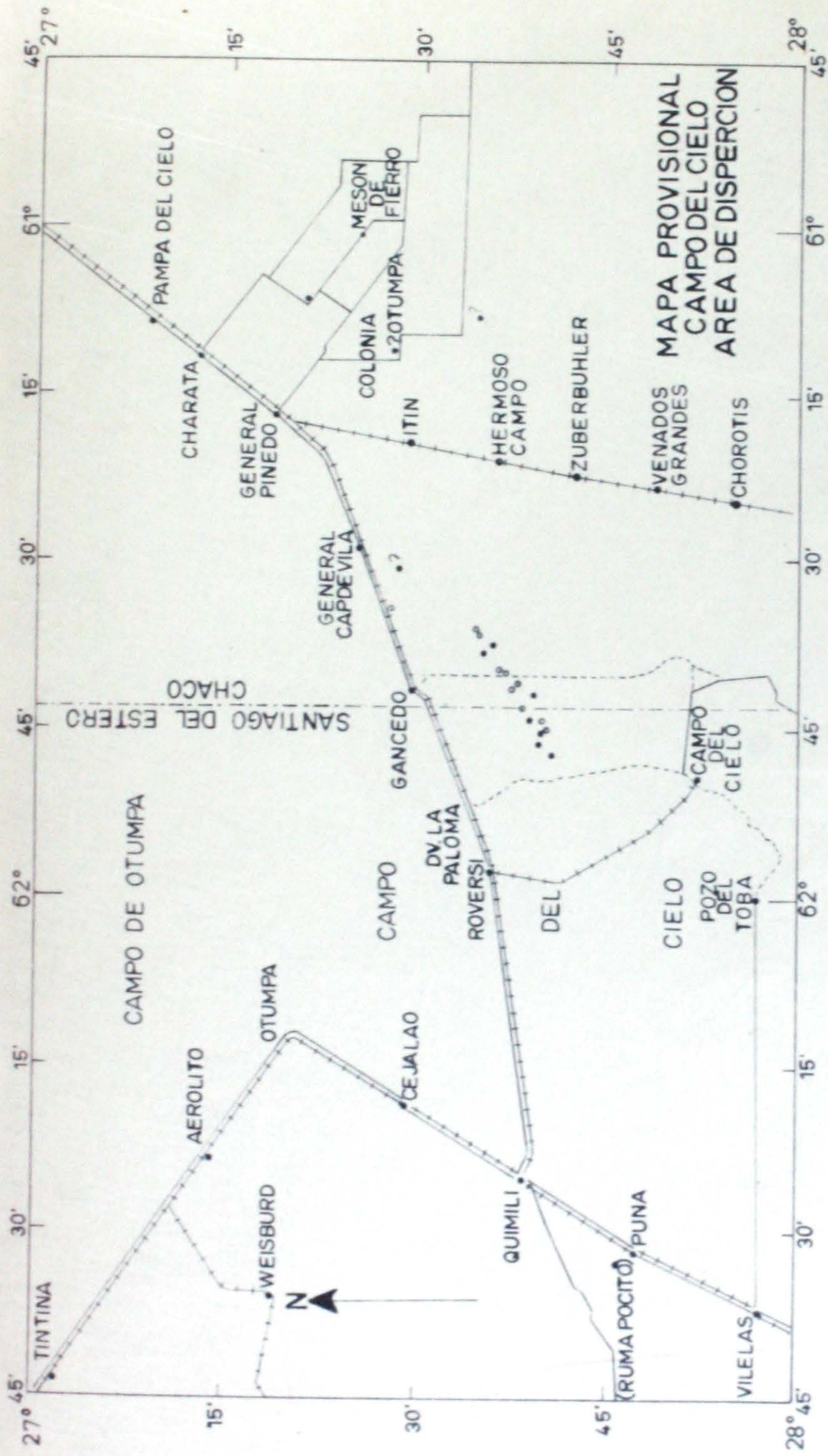


Figura 1

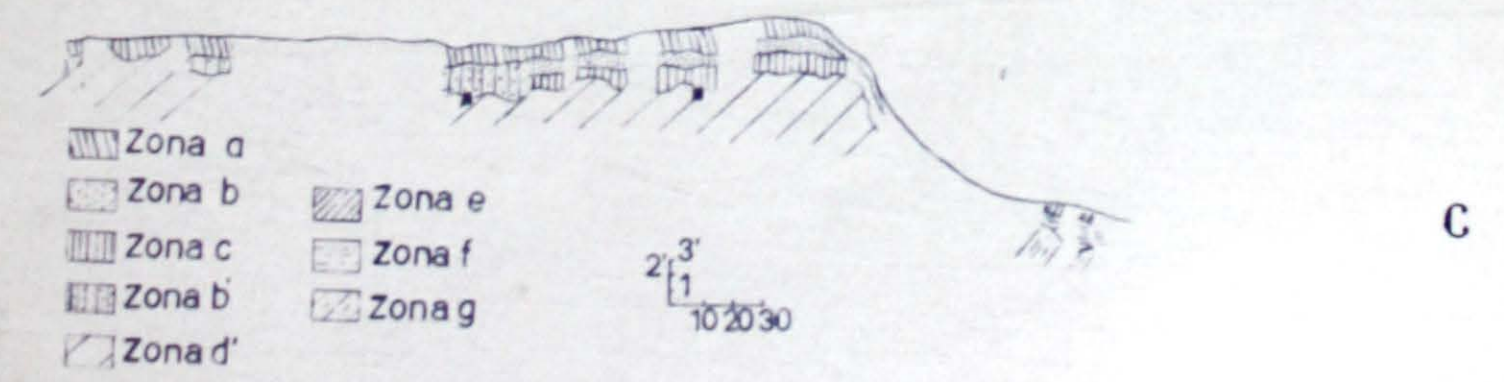
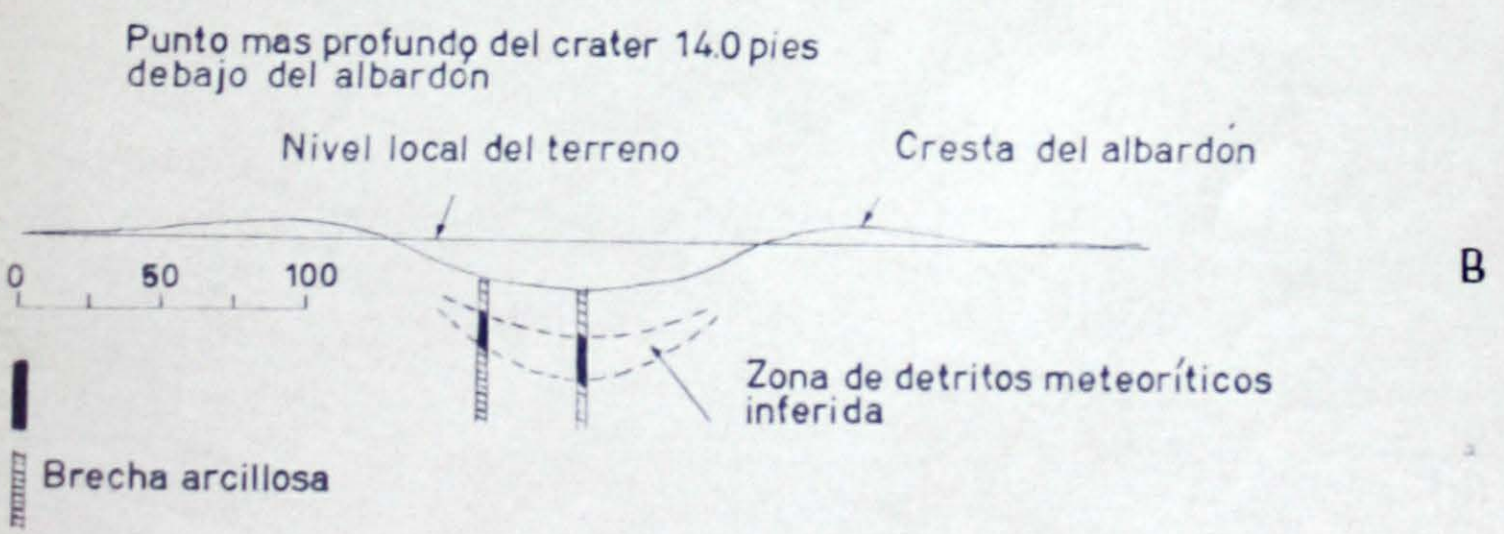
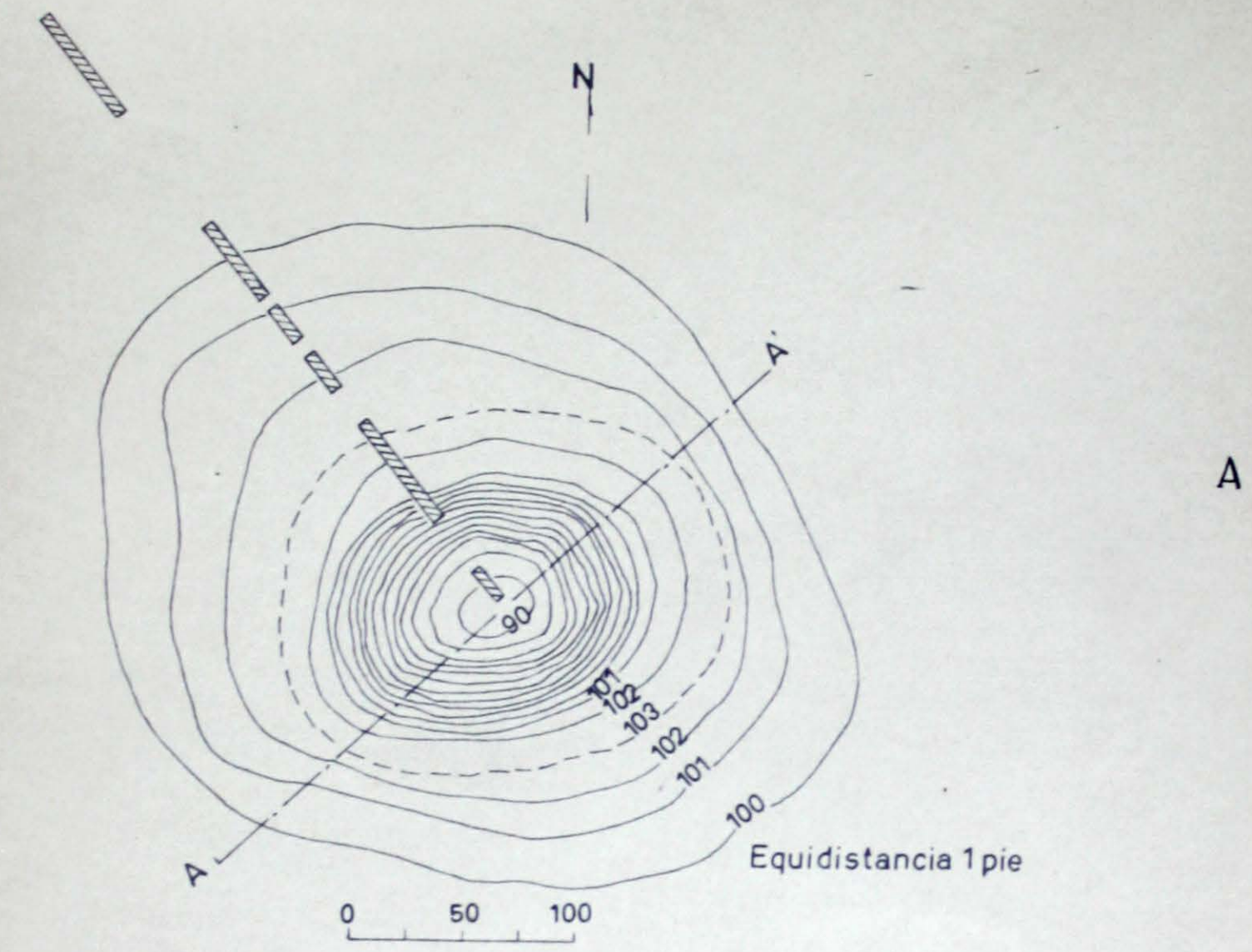


Figura 12