Ciencias de la Tierra y el Espacio, enero-junio, 2023 Vol.23, No. 1, pp. 57-63 ISSN 1729-3790

CARACTERIZACION Y CLASIFICACION DEL METEORITO DE RAMON DE LAS YAGUAS, SANTIAGO DE CUBA, 2021

Efrén José Jaimez-Salgado[1], José Antonio Alonso-Pérez[2], Francisco González-Veitía[1], Antonio Alonso-Díaz[1], Ramsés Zaldívar-Estrada[1].

[(1)] *Instituto de Geofísica y Astronomía, Citma. Calle 212 No. 2906 e/ 29 y 31, Reparto La Coronela, Municipio La Lisa, La Habana, Cuba. jaimezefren@gmail.com, iga@iga.cu ORCID: 0009 - 0003 - 6899 - 294X*

[(2)] *Instituto de Geología y Paleontología, Minem. Vía Blanca y Carretera Central No. 1002, Reparto Los Ángeles, Municipio San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba. josea@igp.minem.cu*

Recibido: enero 2023	Aceptado: junio 2023

Resumen

Se presenta la caracterización y clasificación del meteorito caído en la localidad de Ramón de las Yaguas, Santiago de Cuba, el 10 de julio de 2021, a partir de análisis de laboratorio recientemente realizados por solicitud del Instituto de Geofísica y Astronomía, al Centro de Estudios Avanzados (CEA). Como resultado de un difractograma de rayos X y del análisis por espectrometría de fluorescencia de rayos X, practicados a muestras de este objeto cósmico, se detectó la presencia de un grupo de minerales primarios, que incluyen los del grupo del olivino (con predomino de forsterita), así como troilita, piroxenos, plagioclasa cálcica (anortita) y en menor grado, cromita. Entre los elementos químicos hay predominio del hierro (> de 50 % de Fe total), pero con marcado bajo contenido de Fe-Ni nativos (6,0 a 1,3 % respectivamente). Por lo que ya antes clasificado el meteorito como una condrita ordinaria, los autores consideran que se trata específicamente de un L5, con cóndrulos pequeños y difusos visibles, pero a su vez, con límites claros entre los cóndrulos y la matriz, la cual no está totalmente recristalizada.

Palabras clave: difractograma, fluorescencia, rayos x.

CHARACTERIZATION AND CLASSIFICATION OF THE RAMON DE LAS YAGUAS METEORITE, SANTIAGO DE CUBA, 2021

Abstract

The general characterization and classification of the meteorite fallen in Ramon de las Yaguas locality, Santiago de Cuba, July 10, 2021, from laboratory analyses recently made by request of Geophysical and Astronomical Institute to Advanced Studies Center (CEA) is presented. As a result of x-ray diffractogram and x-ray fluorescence spectrometry analysis practiced to samples of this cosmic object, was detected the presence of primary minerals that including the olivino group (with forsterite predominance), as well as troilite, pyroxenes, calcic plagioclase (anorthite) and in minor grade chromite. Among the chemical elements, there are predominance of iron (more than 50 % of total iron), but with a marked low content of Fe-Ni natives (6,0 to 1,3 % respectively). For this reason, this new meteorite is classified as an ordinary condrita, specifically a L5, with small and diffuses chondrules clears, but at the same time, with evident limits between the matrix (which is not recrystallized totally) and these chondrules.
Kay words: diffractogram, fluorescence, x-ray.

1.Introducción

El 10 de julio de 2021, aproximadamente a la una de la tarde, a sólo cuatro años y ciento sesenta días de la caída del meteorito de Viñales (todo un acontecimiento en el territorio vueltabajero), tuvo lugar la caída de otro objeto bastante parecido de origen cósmico, en una zona rural de la localidad de Ramón de las Yaguas, provincia de Santiago de Cuba. Apenas un mes más tarde, y luego de un análisis colegiado por expertos del Instituto de Geofísica y Astronomía, IGA - CITMA, la entidad emitió una primera Nota Preliminar sobre el suceso, en la cual se confirmaba institucionalmente, que se trataba de un meteorito pétreo o litito, de la clase condritas. La compleja situación provocada por la pandemia de la Covid – 19, en pleno apogeo en ese instante en el país, al punto de que el laboratorio internacionalmente acreditado del Centro de Estudios Avanzados de Cienfuegos (CEAC) pasara a asumir en ese momento la función emergente de vacunatorio, provocó una larga y prolongada demora en cuanto al trabajo de ampliación de la caracterización del nuevo meteorito, con posterioridad a esta Nota Preliminar ofrecida por IGA, agravada además por la crisis energética internacional y el recrudecimiento del bloqueo norteamericano a nuestro país, en plena pandemia. Finalmente, y después de una larga espera, fue posible la realización de dos ensayos en el laboratorio químico – mineralógico del Centro de Estudios Avanzados de Cuba (CEA), como complemento a los análisis preliminares realizados por microscopía óptica, en el propio Instituto de Geofísica y Astronomía.

2. Materiales y Métodos

Como ya se expresó antes, este estudio parte de un análisis preliminar por microscopía óptica, realizado por los autores en el Instituto de Geofísica y Astronomía, un mes después del arribo al centro, de un fragmento del objeto enviado desde Santiago de Cuba, con un peso original de 2,7 kg, una densidad aparente de 3,594 g/cm^3 y dimensiones de 13,7 x 12,9 x 9,8 cm (Fig. 1).



Fig. 1. Objeto original de 2,7 kg de peso, recibido en el IGA, en agosto de 2021

Se realizó un estudio complementario de este nuevo meteorito, a partir de un Difractograma de Rayos X (DRX) realizado con el equipo marca SHIMADZU del Centro de Estudios de Avanzados de Cuba (CEA), obtenido a través de la variante de medición "punto a punto" o discreta. Se incluye selección de los parámetros instrumentales de operación del equipo (Tabla I).

Tabla I. Parámetros instrumentales de operación del difractómetro del CEA

Tipo de goniómetro	Vertical
Sistema de focalización	Bragg-Brentano
Radiación (Kα)	Cu
Filtro	Ni
Diferencia de potencial	40 kV
Corriente anódica	30 mA
Calibración del equipo	Silicio (pastilla)
Registro angular	4 - 80^{0}C (2θ)
Constante de tiempo	5 segundos

Por su parte, el análisis cualitativo de fases se realizó con utilización de la Base de Datos PCPDFWIN, compatible con Windows para Office. De igual forma el análisis semi-cuantitativo de fases, se llevó a cabo con el programa PAnalytical "X Pert High Score" de DRX y empleo de la variante de relación de intensidades (RIR), la cual reporta errores relativos de 3,0 y 5,0 %, para fases con altos contenidos (> 50%) y entre 5,0 - 7,0 % en concentraciones medias de minerales (30 – 50 %). Asimismo, se realizó un segundo análisis del objeto en CEA, por Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X, destinado a la obtención elemental total del mismo. El equipo utilizado en este caso, fue un espectrómetro de fluorescencia de energía dispersiva de rayos X, Modelo EDX – 800HS. Se realizó una evaluación cuali – cuantitativa a través del método de parámetros fundamentales predeterminado (easy air metal). El dispositivo utiliza un generador de rayos X con blanco de rodio (Rh), con voltaje máximo de 50 kV y detector de Si (Li) refrigerado a 77 K. Los resultados de la composición elemental del meteorito, se muestran en la Tabla II.

Tabla II. Composición elemental total del meteorito de Ramón de las Yaguas, CEA

Analito	Resultado	(Std.Dev.)	Línea	Int.(cps/uA)
Fe	**51.309%**	**(0.075)**	**FeKa**	**46.8706**
Si	**25.467%**	**(0.073)**	**SiKa**	**1.4410**
Mg	**10.613%**	**(0.086)**	**MgKa**	**0.1964**
Ca	**5.084%**	**(0.029)**	**CaKa**	**0.3733**
Al	**2.581%**	**(0.037)**	**AlKa**	**0.0842**
S	**1.490%**	**(0.011)**	**S Ka**	**0.2662**
Ni	**1.269%**	**(0.018)**	**NiKa**	**0.7083**
Mn	**0.781%**	**(0.012)**	**MnKa**	**0.6617**
Cr	**0.619%**	**(0.010)**	**CrKa**	**0.5912**
K	**0.330%**	**(0.013)**	**K Ka**	**0.0183**
P	**0.278%**	**(0.011)**	**P Ka**	**0.0249**
Cu	**0.179%**	**(0.011)**	**CuKa**	**0.1184**

(*Fuente: Centro de Estudios Avanzados, CEA*).

3. Resultados y Discusión

Con anterioridad a los ensayos de laboratorio obtenidos en el CEA y como consecuencia de la larga espera para la realización final de los mismos, otros autores adelantaron puntos de vista y clasificaciones del meteorito (Cobas Torres et al, 2022 y García, 2022). En la Fig. 2, se presenta el difractograma de polvos que se obtuvo para la muestra de meteorito objeto de investigación. En el mismo se identifican como fases fundamentales; la solución solida de la serie (olivino-forsterita-fayalita), con predominio en este caso de forsterita, dado por la sustitución isomórfica de iones Fe^{2+} en la estructura cristalina del sólido, tarjeta PDFWIN: 83-1543. Por orden de contenidos aparecen además

enstatita rica en iones Fe^{2+}, PDF: 71-1044; plagioclasa cálcica anortita; PDF: 41-1486, sulfuro de hierro (troilita) en muy baja cuantía (1%); PDFWIN: 75-2165 y cromita (1%); PDF: 89-2618. Dicho resultado, concuerda con lo que plantea la literatura especializada acerca de la asociación de la variedad forsterítica (% mol fayalita: Fa_{15} - Fa_{30}) a los cóndrulos (<1mm) en los meteoritos de la clase condritas (https://www.britannica.com).

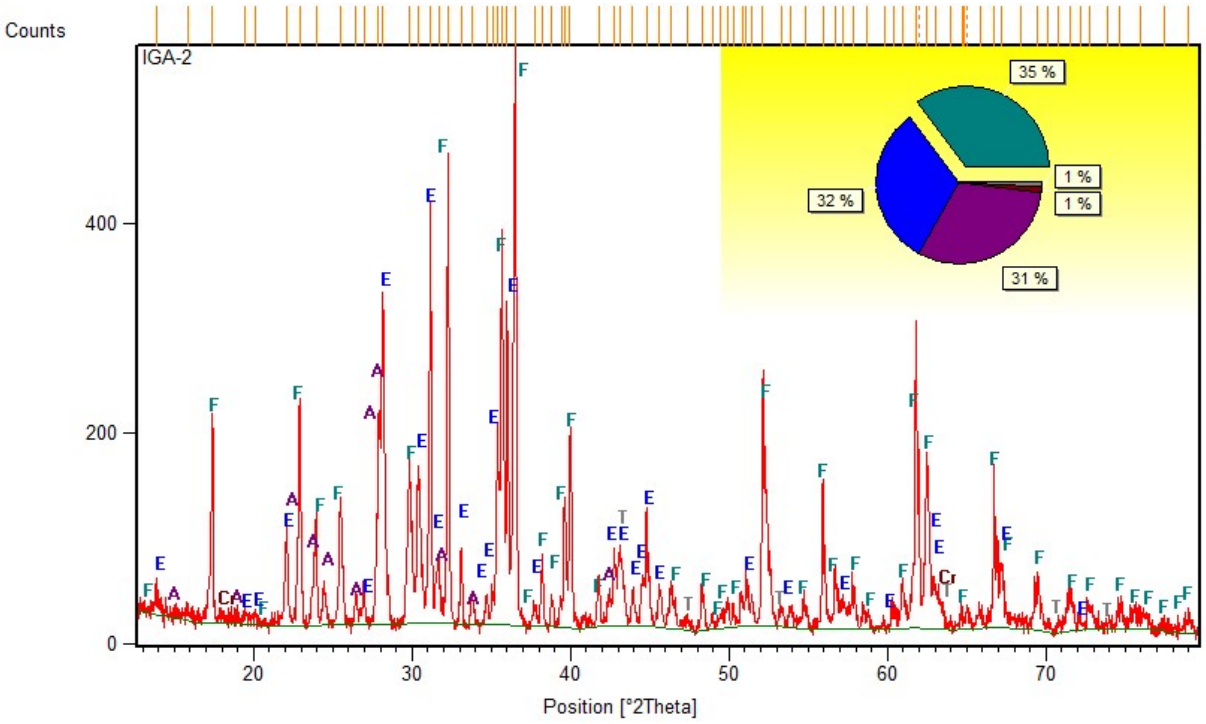


Fig. 2. Difractograma de polvos de la muestra del meteorito Ramón de las Yaguas

	N...	Visi...	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score	SemiQ...
	1	✔	01-083-1543	Forsterite ferroan	Mg1.820 Fe0.180 (...	58	35
	2	✔	01-071-1044	Enstatite ferrous	Ca.02 Fe.35 Mg1.63...	50	32
▶	3	✔	00-041-1486	Anorthite, ordered	Ca Al2 Si2 O8	32	31
	4	✔	01-089-2618	Chromite, syn	Fe Cr2 O4	23	1
	5	✔	01-075-2165	Troilite 2\ITH\RG	Fe S	19	1

Simbología: ***F****- forsterita ferrosa (35%),* ***E****-piroxeno enstatita (32%),* ***A****-plagioclasa anortita (31%),* ***T****-sulfuro de hierro troilita (1%),* ***Cr****-cromita (1%).*

(Fedkin y Grossman 2006), exponen algunos criterios acerca del mecanismo de sustitución de iones Fe^{2+} a la estructura de la forsterita; no obstante, dichos autores plantean que una explicación robusta acerca del contenido relativamente alto de dicho elemento en la forsterita asociado a las condritas, constituye hoy una incógnita aún por resolver. Por su parte, (Di Cecco et al., 2022), plantean, además, que la determinación precisa del contenido de hierro (II) en la forsterita asociada a condritas, requiere del uso de la difractometría de polvos y/o la microscopía electrónica de barrido (MEB) y la espectrometría de fluorescencia de rayos-X (EDS), combinada con la primera.

Con relación al piroxeno presente en la citada condrita, este corresponde al grupo de los ortopiroxenos; variedad enstatita y no clinopiroxeno (hiperstena), debido a la ausencia en este último, del máximo de difracción fundamental (d = 3.07Å) y el refuerzo de la intensidad máxima (d=2.87 Å). De igual forma, la presencia de plagioclasa cálcica (anortita), se confirma mediante el uso de la referida técnica, combinado con el análisis químico que se obtuvo de la muestra.

Por lo expuesto, la composición mineral del meteorito de "Ramón de las Yaguas", mediante el uso de la técnica instrumental de DRX, se complementa con el resultado anterior que se logró por análisis petrográfico y mineragráfico, en lo que se refiere al tipo de piroxeno y a la presencia de la solución sólida de la serie del olivino, identificándose además, minerales metálicos tales como el sulfuro de hierro (troilita) (FeS) y cromita en muy bajos contenidos másicos, no reportándose la presencia de material vítreo (amorfo), dado que no se aprecia elevación en el fondo del registro difractométrico de polvos.

Teniendo en cuenta los resultados de DRX, el meteorito objeto de investigación corresponde a la clase de los no-diferenciados, tipo Litito (condrita ordinaria) subtipo "L", por el bajo contenido de hierro metálico nativo, teniendo en cuenta la clasificación propuesta por (Bischoff 2001 a, b), citado en (Muñoz-Espadas 2003).

(García Op. Cit, 2022), a partir de la microscopía óptica de luz polarizada, realizada en una sección delgada del meteorito, plantea que se aprecia textura condrítica, agregando que "se identifican cóndrulos muy difusos", compatibles según este autor, con un grado petrográfico 6, de acuerdo a la clasificación de Van Schmus and Wood, 1967 (*A chemical-petrologic classification for condritic meteorites"*), por lo que este autor lo clasifica, como una condrita ordinaria L6. En este sentido, es loable señalar que a la mayoría de las condritas se les asigna un número que corresponde al tipo petrológico (1 al 7), según el grado de alteración de los cóndrulos. Así, una condrita "3 y 4" no tiene alterados sus cóndrulos. Los números mayores a 3 y 4, implican el aumento de metamorfismo térmico, hasta llegar a 6 – 7, donde los cóndrulos se han destruido o metamorfizado completamente, lo cual, a juicio de los autores de esta contribución, no es el caso de este litito. En la Tabla III, se ofrece un resumen de la Clasificación Moderna de Meteoritos (en el caso particular de las condritas), destacándose cómo en las condritas ordinarias tipo L6, los cóndrulos han llegado a un estado de metamorfismo tal, que los hace indistinguibles; en ellos, la recristalización es total. El propio autor antes citado (García, Op. Cit, 2022) dice más adelante en su trabajo y citamos, que "ha tomado medidas diametrales para 13 cóndrulos en sección cortada y 5, en sección delgada pulida" (fin de la cita), todo lo cual, fue realizado en base a una pequeña muestra del meteorito, de apenas 0,6 g, destinada a la microscopía, de un total general de sólo 7,6 g., recibidos desde Cuba.

Teniendo en cuenta lo anterior, por la abundancia de los cóndrulos, que aunque difusos, están presentes en la matriz y no escasos (lo cual se determinó mediante el análisis petrográfico que se realizó con anterioridad), este nuevo meteorito – litito de Ramón de las Yaguas, se asocia por los autores de esta contribución, como L5, dado que los cóndrulos aunque poco distinguibles, se logran apreciar no obstante al microscopio óptico y la matriz no ha sido totalmente recristalizada, como sucede en las condritas tipo L6 (como sí es el caso del condrito L6, del 1ro de febrero de 2019, Viñales).

Finalmente, es importante decir que sus características elementales y mineralógicas, este nuevo meteorito de Ramón de las Yaguas, clase condrito tipo L5, mostró un total contable de sólo 12 elementos químicos, todos ellos identificados por espectrometría de fluorescencia de rayos X, contra un total contable de hasta 27 elementos, que igualmente fueron detectados por el mismo método analítico, en el caso del condrito L6 de Viñales. El condrito L5 de Ramón de las Yaguas, muestra una composición elemental de 12 elementos comunes, en cambio el meteorito L6 de Viñales, tiene una composición elemental que duplica y aún más, la cifra anterior, con un surtido de elementos químicos muy variados, los cuales incluyen, desde las "tierras raras" (con pequeñas cantidades de Itrio (< 14,9 ppm), Niobio (< 3,72 ppm) y Escandio (< 1,17 ppm), hasta otros elementos no menos interesantes, también ausentes en el de Ramón de las Yaguas, como es el caso del Zirconio (< 117 ppm) y el Vanadio (< 4,6 ppm).

A pesar de existir alguna similitud en lo general, por ser ambos objetos condritas ordinarias de bajo hierro nativo (condritas ordinarias, ambas tipo L), ambos objetos cósmicos no parecen tener relación alguna en cuanto a su origen en el sistema solar, en ambos casos, procedentes de dos grupos de asteroides pequeños, interceptados por la órbita de la Tierra, independientes entre sí.

Tabla III. Clasificación moderna de meteoritos de la clase condritas

Tipo	Subtipo	Estado de los cóndrulos/minerales presentes	Designación por número y letra
Condritas de enstatita		Abundantes	E3, EH3, EL3
		Distinguibles	E4, EH4, EL4
		Menos distinguibles	E5, EH5, EL5
		Indistinguibles	E6, EH6, EL6
		Fundidos	E7, EH7, EL7
Condritas ordinarias	H	Abundantes	H3-H3,9
		Distinguibles	H4
		Menos distinguibles	H5
		Indistinguibles	H6
		Fundidos	H7
	L	Abundantes	L3-L3,9
		Distinguibles	**L4**
		Menos distinguibles	L5
		Indistinguibles	L6
		Fundidos	L7
	LL	Abundantes	LL3-LL3,9
		Distinguibles	**LL4**
		Menos distinguibles	LL5
		Indistinguibles	LL6
		Fundidos	LL7
Condritas carbonáceas	**I**vuna	Filosilicatos, magnetita	CI
	Mighei	Filosilicatos, olivino	CM1-CM2
	Vigarano	Olivinos ricos en Fe, minerales de Ca y Al	CV2-CV3.3
	Renazzo	Filosilicatos, olivino, piroxeno, metales	CR
	Ornans	Olivino, piroxeno, metales, minerales de Ca y Al	CO3-CO3.7
	Karoonda	Olivino, minerales de Ca y Al	CK
	Bencubbin	Piroxeno, metales	CB
	High Iron	Piroxeno, metales, olivino	CH
Tipo Kakangari			K
Rumurutiites		Olivino, piroxenos, plagioclasa, sulfuros	R

Fuente: Wikimedia. Chondrite meteorites/Q4836.

Conclusiones

1. El uso de la técnica instrumental de DRX, junto al análisis de la microscopía óptica realizado inicialmente en el IGA, establece que el meteorito caído en el poblado de "Ramón de las Yaguas", provincia de Santiago de Cuba, corresponde a la clase condrita ordinaria, subtipo "L", tipo petrológico 5, dado por la presencia de forsterita presente en la solución sólida de la serie olivino-forsterita-fayalita, el bajo contenido de minerales de hierro metálico nativo, y la presencia de cóndrulos difusos, pero sin recristalización total de la matriz
2. Los resultados obtenidos mediante el uso de la difractometría de polvos, corroboran aquellos que se lograron mediante el análisis petrográfico y mineragráfico, confirmándose la presencia de plagioclasa cálcica (anortita),

no así en lo que se refiere a la identificación del total de minerales de hierro oxidado y metálicos presentes, debido a la interferencia (superposición) de sus principales máximos de difracción, con aquellos que aparecen en el difractograma de polvos, que impiden su identificación.

3. Por sus características elementales y mineralógicas, este nuevo meteorito (litito, condrito L5), con un total contable de 12 elementos químicos identificados por espectrometría de fluorescencia de rayos X, contra 27 elementos de todo tipo detectados en el condrito L6 de Viñales (incluidos elementos de las llamadas "tierras raras", más Zirconio y Vanadio), a pesar de alguna similitud en lo general por su clasificación, no parecen tener relación alguna en cambio, en cuanto a su composición y origen en el sistema solar, a partir de dos grupos de asteroides pequeños, pero independientes entre sí.

Bibliografía

Di Cecco, V.E., Hyde, B.C., Tait, K.T., Nicklin, R.I., 2022. Determination of olivine fayalite–forsterite composition in ordinary chondrites by X-ray diffraction.

Fedkin, A.V., Grossman, L., 2006. The Fayalite Content of Chondritic Olivine: Obstacle to Understanding the Condensation of Rocky Material. Meteorites and the Early Solar System II, D. S. Lauretta and H. Y. McSween Jr. (eds.), University of Arizona Press, Tucson, 943 pp., p.279-294, 2006mess.book.279F.

Garcia, J., 2021. Petrografía de Ramón de las Yaguas, meteorito presuntamente caído en Cuba, 2021. Revista del Museo Canario de Meteoritos, Las Palmas, 5 pp.

Muñoz, Espadas, M.J., 2003. Mineralogía, texturas y cosmoquímica de cóndrulos en condritas H4, H5, L5 y LL5. Memoria Tesis doctoral. Universidad Complutense, Madrid. ISBN:84-669-1784-5.

Acerca del autor:

Efrén José Jaimez Salgado. Graduado de licenciatura en Geografía, Universidad de la Habana, 1989. Doctor en ciencias geográficas, 2008. Investigador Auxiliar del IGA, 2009. Secretario del Consejo Científico IGA (2010 – 2013). Profesor Auxiliar, Universidad de la Habana, 2013. Es uno de los autores de la obra científica titulada "Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba" (Instituto de Suelos, 1999). Tiene más de noventa publicaciones científicas hasta la fecha y otro número similar de publicaciones de divulgación. Ha trabajado como jefe de resultados y jefe de proyectos de investigación en temáticas de degradación de suelos, estudios de línea base ambiental y evaluación de impacto ambiental, así como diagnósticos ambientales empresariales. Desde 2011, ha liderado una nueva línea de I + D en el IGA, relacionada con peligros geológicos de origen kárstico y cartografía de sus escenarios de peligro, a escala 1: 25 000, provincias de Artemisa, La Habana, Cienfuegos, y Guantánamo. Ha participado en trabajos de riesgos de erosión y acarreo de sedimentos en embalses de Cuba y en el extranjero. Ha impartido numerosas conferencias sobre meteoritos de Cuba y del mundo y ha representado al IGA en este tema, en eventos nacionales e internacionales. En marzo de 2019, representó además al IGA, en el Registro Oficial del Meteorito de Viñales, en la "Meteoritical Society" (Write-up MB 108). Desde 2016, es miembro del Grupo de Dirección del IGA, al frente del Departamento de Geofísica y Geología Ambiental.