

Orientación de las excavaciones arqueológicas a partir del levantamiento de susceptibilidad magnética en el municipio de Guanabacoa, La Habana, Cuba

Oswaldo Rodríguez Morán¹, Orlando Carráz Hernández², Javier Ballote Álvarez³ y Lisette Roura Álvarez⁴.

¹ Ingeniero Geofísico. Máster en Geología Petrolera. Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular e Investigador Titular de la Universidad Tecnológica de La Habana, «José Antonio Echeverría», CUJAE, Ave 114 No. 11901, entre Ciclovía y Rotonda, Marianao, C.P. 19390, La Habana, Cuba, ORCID: 0000-0001-9153-4603, Correo electrónico: ormoran2016@gmail.com.

² Ingeniero Geofísico. Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular. Departamento de Geociencias de la Universidad Tecnológica de La Habana «José Antonio Echeverría», Cuba. Ave 114 No. 11901, entre Ciclovía y Rotonda, Marianao, C.P. 19390, La Habana, Cuba Correo electrónico: orlando@civil.cujae.edu.cu.

³ Ingeniero Geofísico. Profesor Instructor. Departamento de Geociencias de la Universidad Tecnológica de La Habana «José Antonio Echeverría», Cuba. Ave 114 No. 11901, entre Ciclovía y Rotonda, Marianao, C.P. 19390, La Habana, Cuba Correo electrónico: javiab93@gmail.com.

⁴ Arqueóloga. Doctora en Ciencias Históricas. Gabinete de Arqueología de la OHC. Profesora Asistente. Universidad de La Habana, Cuba. ORCID: 0000-0003-0323-9116. Correo electrónico: roura@patrimonio.ohc.cu, roura144@gmail.com.

RESUMEN

Investigaciones arqueológicas recientes corroboran la existencia de movimiento humano en el territorio de Guanabacoa, La Habana, Cuba, desde el siglo XVI hasta la primera mitad del siglo XVIII. Se pretende identificar la ubicación del antiguo cementerio de la primera iglesia en la llamada Manzana 1, el cual sería el lugar de enterramiento de la población india que habitaba el territorio. De esta forma se verificaría, mediante el estudio del ajuar asociado a los enterramientos, el hecho de la inmigración de individuos procedentes de La Florida. Las evidencias materiales revelarían, además, los procesos sociales, históricos y culturales acaecidos y las influencias que estos pudieron ejercer en la cotidianidad de los habitantes del poblado. La falta de trabajos arqueológicos de campo en Guanabacoa retrasan las investigaciones sobre el tema. El objetivo de esta

investigación es el de orientar las excavaciones arqueológicas en la zona de interés a partir del levantamiento de la Susceptibilidad Magnética. Como premisa fundamental se consideró como zonas de interés, las establecidas por dos modelos: uno que se expresa con valores mínimos de susceptibilidad magnética bajo un nivel de fondo y el otro con valores máximo sobre el nivel de fondo. Como resultado, se ofrece la cartografía de las áreas propuestas para los trabajos arqueológicos, la cual racionaliza las excavaciones.

Palabras clave: susceptibilidad magnética, enterramientos humanos, excavación arqueológica, fosfatos.

ABSTRACT

Recent archaeological investigations corroborate the existence of human movement in the territory of Gua-

nabacoa, Havana, Cuba, from the 16th century to the first half of the 18th century. It is intended to identify the location of the former cemetery of the first church in the so-called Manzanilla 1, which would be the burial place of the Indian population that inhabited the territory. This would verify, by studying the trousseau associated with the burials, the fact of immigration of individuals from Florida. The material evidence would reveal, in addition, the social, historical and cultural processes that occurred and the influences that they could exert on the daily lives of the inhabitants of the town. The lack of archaeological field work in Guanabacoa delays research on the subject. The objective of this investigation is to orient the archaeological excavations in the zone of interest from the lifting of the Magnetic Susceptibility. As a fundamental premise, those established by two models were considered as areas of interest: one that is expressed with minimum values of magnetic susceptibility under one background level and the other with maximum values over the background level. As a result, the mapping of the proposed areas for archaeological works is offered, which rationalizes the excavations.

Keywords: magnetic susceptibility, human burials, archaeological excavation, phosphates.

RESUMO

Investigações arqueológicas recentes corroboram a existência de movimento humano no território de Guanabacoa, Havana, Cuba, do século XVI à primeira metade do século XVIII. Pretende-se identificar a localização do antigo cemitério da primeira igreja na chamada Apple 1, que seria o local de enterro da população indiana que habitava o território. Isso verificaria, estudando o enxoval associado aos enterros, o fato da imigração de indivíduos da Flórida. As evidências materiais revelariam, além disso, os processos sociais, históricos e culturais ocorridos e as influências que eles poderiam exercer no cotidiano dos habitantes da cidade. A falta de trabalho de campo arqueológico em Guanabacoa atrasa a pesquisa sobre o assunto. O objetivo desta investigação é orientar as escavações ar-

queológicas na zona de interesse a partir do levantamento da Susceptibilidade Magnética. Como premissa fundamental, as estabelecidas por dois modelos foram consideradas áreas de interesse: uma que se expressa com valores mínimos de suscetibilidade magnética sob um nível de fundo e a outra com valores máximos sobre o nível de fundo. Como resultado, é oferecido o mapeamento das áreas propostas para obras arqueológicas, racionalizando as escavações.

Palavras-chave: suscetibilidade magnética, enterros humanos, escavação arqueológica, fosfatos.

INTRODUCCIÓN

Estudios históricos-arqueológicos recientes (Rodríguez, 2002; Roura, 2014; Roura *et al.*, 2017; Roura, 2018), constatan la presencia de descendencia indígena en el municipio Guanabacoa, La Habana, Cuba, hasta la primera mitad del siglo XVIII, así como la producción cerámica que mantuvieron como elemento comercializable en el núcleo urbano de La Habana. Las huellas de estas transacciones son identificables a través de artefactos exhumados en los contextos arqueológicos intervenidos en La Habana Vieja, utilizando para su fabricación los afloramientos de arcillas ubicados en el antiguo pueblo de indios Nuestra Señora de la Asunción. Pero en este también se asentaron indios procedentes de diversas regiones americanas, entre los que se destacan, por su número, los que arribaron desde tierras floridananas. Es conocido el intenso trasiego de personas e intercambio de mercancías entre La Florida y La Habana a partir del siglo XVI, y aunque evidencias arqueológicas halladas en varias zonas habaneras confirman lo anterior, no se han efectuado intervenciones sistemáticas en áreas guanabacoenses que permitan ahondar en tan significativa cuestión. Las investigaciones arqueológicas en la zona de interés (**Figura 1**) permitirá constatar la trascendencia histórica de la fundación de Guanabacoa como reserva india, las relevantes relaciones comerciales establecidas con individuos procedentes de La Florida, la importancia de estos factores en la conformación del etnos en la región habanera, y de la evolución del po-

blado-villa-municipio mediante la expansión urbana tomando como punto de partida la ubicación de la primera iglesia y cementerio (Roura *et al.*, 2019).

Según Larrúa (2014), en Roura *et al.* (2019), entre los siglos XVI al XVIII los floridanos llegaban en canoas a La Habana y desembarcaban en la Plaza de San Francisco con sus mercancías: carnes secas, pescados, tortugas, ámbar gris, cerámicas y pieles. Hacia 1580, el fuerte olor del pescado molestaba a los

vecinos y se les asignó un sitio al otro lado de la bahía para que efectuasen las ventas. Con el tiempo, algunos indios floridanos fueron a vivir allí y así nació el pueblo de Casablanca. Otros se asentaron en Guanabacoa, donde fundaron familias, desarrollaron el comercio, progresaron y los testamentos dan fe de que legaron a sus descendientes adornos de oro, piedras preciosas, telas y grandes sumas en monedas de oro y plata.

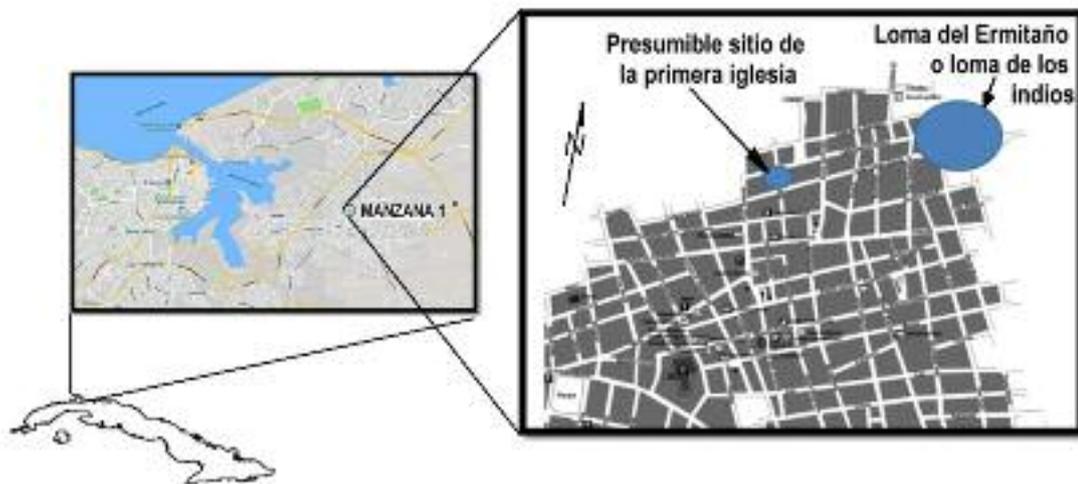


Figura 1. Ubicación de la zona de interés arqueológico.

Las técnicas geofísicas se han empleado históricamente para la investigación de las geoesferas o estructuras internas de la Tierra, donde las profundidades y dimensiones superan la resolución vertical de dichos métodos. No obstante, en el caso de estudios de zonas superficiales del subsuelo o de estructuras reducidas relacionadas con la actividad antrópica, se requiere una mayor resolución vertical de los métodos de prospección geofísica (Blanch, 2016). Estas características de heterogeneidad y de los fenómenos de atenuación de dichos medios entorpecen las prospecciones, de modo fundamental en los primeros metros de estudio. Los métodos geofísicos más apropiados para prospección arqueológica de alta precisión a gran escala son las mediciones magnéticas, el cual es de los primeros métodos geofísicos utilizados en la prospección arqueológica, la tomografía eléctrica y las mediciones de georadar. El objetivo de este artículo es el de orientar de forma ra-

cional las excavaciones arqueológicas a partir del levantamiento de susceptibilidad magnética (SM).

MATERIALES Y MÉTODOS

La susceptibilidad magnética es la medida de un material susceptible de ser magnetizado (Reynolds, 2011), de ahí que se puedan detectar anomalías en función de las diferencias de los contrastes debidos a este atributo. En la arqueología se emplea para detectar restos vinculados al fuego, basándose en el magnetismo del suelo (Scollar 1965; Mullins 1974; Graham 1976 en Díaz, 1993). La susceptibilidad magnética representa un método rápido, no solo en la adquisición de los datos, sino en el procesamiento posterior y por si fuera poco, es un método no invasivo (no destructivo) al objeto de investigación.

Según Molina (2016), la susceptibilidad magnética es una técnica emergente forense, la cual ha te-

nido éxito en varios ambientes simulados y con diferentes objetivos enterrados, además ha diferenciado muestras de suelo. Se ha utilizado poco independiente del incentivo de lo económico y práctico del método.

Las mediciones magnéticas son muy útiles para, identificar los minerales magnéticos del suelo (Vázquez *et al.*, 2018), pero también muestra su utilidad en la determinación de zonas de ausencia o bajos valores de susceptibilidad magnética, rodeados de valores mayores.

También, Fassbinder (2012) y Díez (1993) en Crespo *et al.* (2015) describe las causas de varios tipos de anomalías positivas de susceptibilidad magnética y asevera que: «también las hay negativas (referente a las anomalías de susceptibilidad magnética) –cuando el material de la estructura arqueológica presenta una susceptibilidad magnética inferior a la del suelo adyacente– que, por simple contraste, se prestan a una lectura similar».

Acerca de los referentes históricos de los indios naturales y floridanos en Guanabacoa, se tiene que la población que pertenecía a la jurisdicción de La Habana hasta 1743, se fundó en el año 1554 como pueblo de indios, en un entorno natural cuya altura máxima es de 73 msnm. La llamada Loma del Ermitaño o Loma del Indio, fue la zona en que originalmente se asentaron los indios naturales una vez establecida la reducción, y en el año 1586 fueron instalados por las autoridades religiosas, con el apoyo del gobierno colonial, a abandonar dichos predios para reinstalarse en los alrededores de la modesta iglesia que se había levantado en el área comprendida entre las actuales calles Raoul Suárez (Amenidad), Calixto García (Camposanto), Estrada Palma (Cerería) y Pepe Antonio (Las Damas), en la llamada Manzana no. 1 (Figura 1 y 2). A partir de entonces, los enterramientos de todos los fallecidos se efectuaron en el cementerio de la pequeña iglesia, que por sus reducidas dimensiones estuvo situada tanto en su interior, como en sus alrededores, tal y como sucedió en la Ermita de Potosí, templo que se levantara en el siglo XVII en las afueras de dicho poblado (Roura *et al.*, 2019).

Según Pringle *et al.* (2008), la susceptibilidad



Figura 2. Ubicación del Patio 2, lugar del levantamiento de susceptibilidad magnética.

magnética ha sido utilizada comúnmente en las búsquedas arqueológicas, y se ha reconocido que en las zonas de superficies quemadas, el óxido de hierro débilmente magnético, donde los minerales de hematita y goethita (por ejemplo) son transformados en minerales de magnetita de muy magnético y maghemita a través del calor y el fuego, esta premisa se denominará Modelo 1 (Figura 3). Un máximo de susceptibilidad magnética puede producirse además por la actividad biológica natural (Linford, 2004; Dalan, 2010; Bigman, 2014; Pringle *et al.*, 2015).

Otras influencias que provocan la transformación de minerales de débiles a energicamente susceptibles ocurre por la:

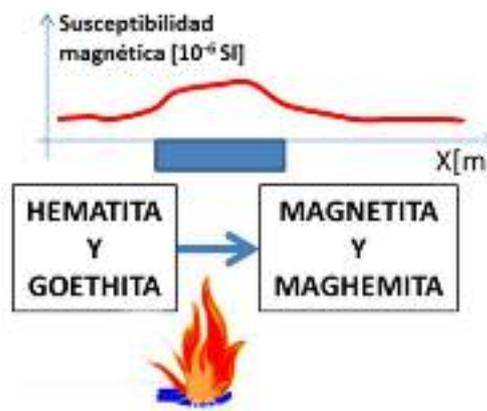


Figura 3. Esquema que muestra la transformación en minerales de magnetita de muy magnético y maghemita a través del calor y el fuego partir de los minerales de hematita y goethita (Modelo 1).

- Intemperie.
- Patogénesis.
- Metabolismo bacterial.
- Reducción química durante la descomposición de materia orgánica.
- Oxidación química debido al fuego.

Sobre la base de las premisas, que permiten utilizar al método de susceptibilidad magnética como detector de enterramientos humanos, Argote (2002), expresa que los suelos compactados por la ocupación humana o alterados por algún enterramiento funerario, también muestran cierta variación en los valores de fondo de la susceptibilidad magnética. Los entierros usualmente causan una oxidación local creando un vacío en el contenido de magnetita.

Según Binder *et al.* (2012), «...la prospección química ha permitido la detección de asentamientos arqueológicos y el despliegue de una serie de estudios sustentados en la premisa de que toda actividad humana genera alteraciones tanto físicas como químicas. En efecto, los análisis químicos para localizar/delimitar sitios y determinar “áreas de actividad”, cuentan ya con más de medio siglo de aplicación en el ámbito de la Arqueología».

Más adelante Binder *et al.* (2012) dice: «En el caso particular del fósforo, las investigaciones demostraron que es altamente estable, por lo que permanece depositado durante prolongados períodos. Cuando se descompone la materia orgánica se inicia la instancia de adición de fósforo al suelo en forma de fosfato, esto es, el fósforo de origen biológico (orgánico) forma fosfatos insolubles (minerales o fosfato inorgánico) [...]. Dado que artefactos y ecofactos contienen fósforo, como así también el propio ser humano (es decir, el tejido duro como los huesos y el tejido blando como la carne y la piel), éste se acumula y queda depositado. El fósforo orgánico ya depositado es transformado en inorgánico por microorganismos que lo mineralizan, al tiempo que disuelven el fósforo inorgánico emitiendo ácidos orgánicos y dióxido de carbono».

De acuerdo con Binder *et al.* (2012), hay un vínculo importante entre los fosfatos respecto a la de-

tección de inhumaciones clandestinas. Se revela un caso en Sudamérica. Se trata de la intervención realizada en Vallegrande (Bolivia) con el fin de determinar el lugar de entierro de Ernesto Che Guevara y de los miembros de la columna guerrillera cubano-boliviana bajo su mando. El equipo de investigación implementó técnicas geofísicas y geoquímicas. Con respecto a las segundas, se realizaron los análisis de *pH* y fosfatos de unas 1300 muestras. Aunque debido a una serie de inconvenientes (no vinculados con la técnica) la inhumación fue detectada a partir del trabajo con maquinaria pesada; una vez recuperados los restos óseos y materiales asociados, dicho equipo tomó 208 muestras del suelo en la fosa a intervalos de 0.25 m en el área de 12 m² que comprendía la misma. Las muestras fueron sometidas a análisis de fosfatos, *pH* y color de suelo. Esto permitió comprobar la potencialidad de localizar restos humanos empleando estas pruebas.

Según Iglesias-Santamarina (2019), los fosfatos de hierro forman parte de las familias de compuestos más conocidas del reino mineral. El ejemplo más sorprendente de un fosfato de hierro poroso lo constituye la cacoxenita $[AlFe_{24}(OH)_{12}(PO_4)_{17}(H_2O)_{24}] \cdot 51 H_2O$. Más adelante continúa diciendo «La naturaleza de estas uniones determina, no solo, la estructura del compuesto, sino también las interacciones magnéticas. Las interacciones de intercambio magnético dependen, entre otros factores, de los átomos a través de los que se unen los cationes, del ángulo de estos enlaces y del estado de oxidación. Generalmente, las interacciones entre orbitales *d* de los iones de hierro acoplados a través de grupos fosfatos son antiferromagnéticas débiles», esta premisa se denominará (Modelo II) (**Figura 4**).

Con objetivos centrados en la localización de restos humanos, Pérez *et al.* (1996), dicen que el modelo a esperar puede ser un medio caracterizado por la baja resistividad, baja susceptibilidad magnética, baja velocidad y tiempos altos de propagación de la onda reflejada, así como la poca diferenciación de las propiedades resistivas y de velocidades entre dos medios que puede ser uno solo. De esta forma, continúa diciendo Pérez *et al.* (1996), entonces se considera de hecho, una zona de enterramiento.

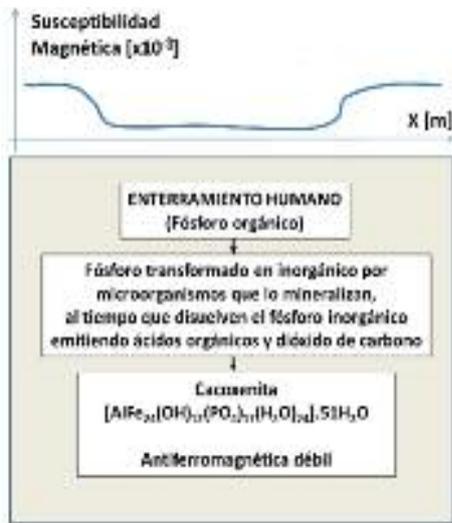


Figura 4. Diagrama del fundamento físico-químico para la utilización de los levantamientos de susceptibilidad magnética en la revelación de enterramientos humanos (Modelo 2).

Fueron trazados 8 perfiles, los cuales no cubrieron toda el área, por la presencia de árboles *et al.* elementos difíciles de remover del lugar (**Figura 4**). Los perfiles fueron trazados de norte a sur con 1 metro de separación y un espaciamiento entre puntos de 0.5 metros. El perfil 5 no se realizó pues coincidía con una alineación de árboles y varias barras metálicas de un garaje en desuso. En total se realizaron observaciones en 220 estaciones y 514 mediciones de control. En

cada una de las estaciones se realizaron entre tres y cinco determinaciones para lograr un valor promedio y más confiable. Las mediciones se realizaron con un kapámetro KT-10 S/C, de la firma TerraPlus, el cual posee una sensibilidad de 10^{-6} SI.

El sombreado en el esquema (a) de la **Figura 4**, representa una capa de hormigón de algunos pocos centímetros, que supondrá un apantallamiento a las mediciones de la susceptibilidad magnética.

El levantamiento se realizó en el horario comprendido entre las 10 am y las 2 pm. El suelo se encontraba un poco húmedo al comienzo de las mediciones, pues acontecieron lluvias al amanecer, pero al concluir el primer perfil, el suelo y hojas se encontraban perfectamente secas.

Se empleó un sistema de referencia relativo con centro (0, 0) en el punto ubicado en el extremo noreste del área (**Figura 5**). Considerando positivas los valores de Y hacia arriba y los valores de X hacia la derecha.

De modo general los pasos fundamentales del procesamiento fueron:

- 1) Por perfil:
 - Determinación de los valores ráfagas.
 - Estimación del Nivel de Fondo (NF).
 - Análisis estadístico de los valores de niveles de fondo.

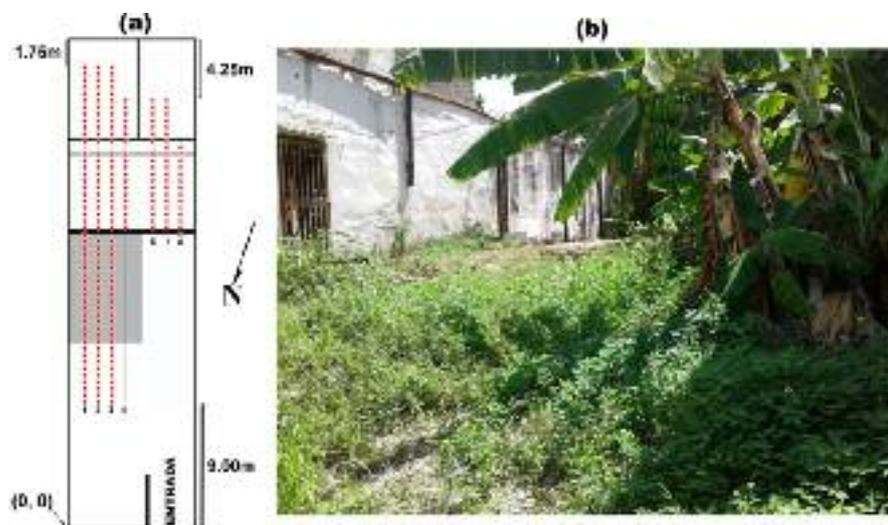


Figura 5. (a) Esquema de ubicación de los perfiles de medición en el levantamiento de susceptibilidad magnética en el área de interés. (b) Vista del Patio 2 desde la perspectiva de la entrada de acceso (Calle Estrada Palma).

- Normalización de los valores de la SM.
- Establecimiento del índice de trabajo.

2) Areal:

- Regionalización de la variable y mapa de isolíneas.
- Interpretación.

Determinación de los valores ráfagas. Una magnitud será considerada ráfaga con respecto a su entorno. Según Pardo *et al.* (2005), si la serie de datos secuenciales se ordena de forma creciente de sus valores, entonces, para que un valor de la serie no sea considerado como ráfaga debe cumplir la condición dada por la **Ecuación (1)**:

$$X_i - \frac{C_i X_i}{2} \leq X_{i-1} \leq X_i + \frac{C_i X_i}{2} \quad (1)$$

si

$$C_i = -0.0915 \log(X_i) + 0.5986 \quad (2)$$

Donde

X_{i-1} Valor de la serie al cual se evaluará como ráfaga o no.

X_i Sucesor de X_{i-1} de la serie ordenada de forma creciente.

C_i Coeficiente que dependerá de la magnitud de X_i y representará la magnitud que servirá para establecer un intervalo alrededor del valor del punto, para la clasificación de magnitud ráfaga.

La **Ecuación (2)** fue determinada a partir de una modelación experticia según Pardo *et al.*, (2005).

Estimación del Nivel de Fondo (NF). Después de eliminados los valores ráfagas, se utilizarán el 30% de los primeros valores de la serie de datos secuenciales ordenada de forma creciente para determinar el valor de fondo del atributo.

Análisis estadístico de los valores de niveles de fondo. Partiendo de los valores de NF de cada uno de los perfiles, se determinará si hay una independencia esta-

dística entre ellos. De esta forma se podrá generalizar los valores de NF o particularizarlo de forma local para algunos perfiles. Para ello se utiliza la **Ecuación (3)** para aplicar la prueba de significación a partir de las diferencias de las medias muestrales (Spiegel, 1971).

$$Z_{ij} = \frac{(\bar{x}_i - \bar{x}_j)}{\sqrt{(\frac{\sigma_i^2}{n_i} + \frac{\sigma_j^2}{n_j})}} \quad (3)$$

Donde:

- \bar{x}_i Valor del Nivel de Fondo del Perfil i.
- \bar{x}_j Valor del Nivel de Fondo del Perfil j.
- σ_i Varianza del Nivel de Fondo del Perfil i.
- σ_j Varianza del Nivel de Fondo del Perfil j.
- n_i Cantidad de valores para el cálculo del NF para el Perfil i.
- n_j Cantidad de valores para el cálculo del NF para el Perfil j.
- Z_{ij} Estadígrafo para la prueba de la diferencia de las medias entre los perfiles i y j.

Se establecieron las hipótesis de trabajo:

- Hipótesis básica ($H_0 : \mu_i = \mu_j$). Los NF de los perfiles i y j, poseen estadísticamente igual valor.
- Hipótesis alternativa ($H_1 : \mu_i \neq \mu_j$). Los NF de los perfiles i y j, poseen estadísticamente diferente valor.

Si para un nivel de confiabilidad α se tiene que: $Z_{\alpha/2}(\alpha/2) < Z_{ij} < Z_{1-\alpha/2}(1-\alpha/2)$, entonces la hipótesis básica es cierta, lo que significa que los NF de los perfiles i y j son iguales estadísticamente.

Si sucede que: $Z_{ij} < Z_{\alpha/2}(\alpha/2)$ o $Z_{ij} > Z_{1-\alpha/2}(1-\alpha/2)$, entonces la hipótesis básica es nula y se acepta la alternativa, lo que significa que los NF de los Perfiles i y j son diferentes estadísticamente.

Normalización de los valores de la SM. Con el establecimiento del valor del NF para cada perfil se calculan los valores de susceptibilidad magnética normali-

zados a partir del doble de NF menos uno, según la Ecuación (4).

$$SMn_i = \frac{SM_i}{NF} \quad (4)$$

donde

SM_i Valor de susceptibilidad magnética en la estación i-ésima.

NF Valor del Nivel de Fondo de los valores de la susceptibilidad magnética.

SMn_i Valor de susceptibilidad magnética normalizada (SMn) en la estación i-ésima.

Estos valores de susceptibilidad magnética normalizada son adimensionales y se obtienen a partir del cociente entre el logaritmo respectivo del valor medido en cada estación sobre el valor del Nivel de Fondo menos uno.

Las zonas donde la $SMn_i > 0$, se obtendrán los resultados a partir de las premisas establecidas por el Modelo 1. De lo contrario, las zonas donde $SMn_i < 0$, serán interpretadas bajo los presupuestos del Modelo 2. De esta forma los signos de los valores de la SMn facilitará la interpretación espacial sobre un modelo de búsqueda u otro.

Regionalización de la variable y mapa de isolíneas.

Para generalizar espacialmente los valores de la SMn se aplicó el método de la curvatura mínima, pues por experiencia de los autores, para este tipo de datos, este método realiza adecuadas interpolaciones.

Interpretación. Se establecerán resultados que

Perfiles	Nivel de Fondo [10-6 SI]
1	0.67
2	0.37
3	0.66
4	0.67
6	5.95
7	6.25
8	6.15

Tabla 1. Valores estimados del Nivel de Fondo de cada uno de los perfiles.

respondan a cada uno de los dos tipos de modelos, es decir tanto para anomalías positivas como para anomalías negativas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se procesaron los perfiles de susceptibilidad magnética (SM) y se obtuvieron los valores de ráfaga y Nivel de Fondo. La posición de los valores ráfagas pasarán a ser valores ausentes. En la **Tabla 1**, se muestran los valores obtenidos de los respectivos niveles de fondo de cada perfil.

Podrá apreciarse cada uno de los perfiles y la representación de los niveles de fondo en las **figuras 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12**, además, junto con las estaciones de los perfiles se ha colocado, entre corchetes, una simbología que representa de forma general las características del suelo en que se realizó la medición de la susceptibilidad magnética. Utilizaremos para designar la característica del suelo de la siguiente manera: Suelo (S), Muro de hormigón (M), Concreto (C), Suelo con piedras (P) y Ladrillo (L).

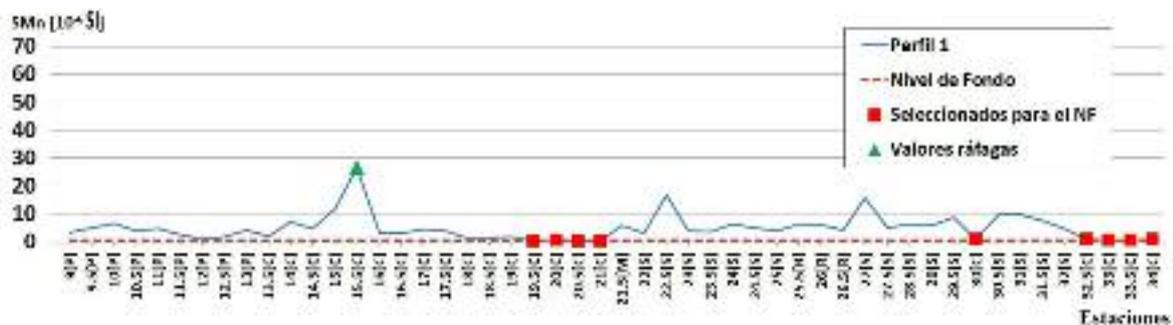


Figura 6. Perfil 1 de las observaciones de la susceptibilidad magnética.



Figura 11. Perfil 7 de las observaciones de la susceptibilidad magnética.



Figura 12. Perfil 8 de las observaciones de la susceptibilidad magnética.

A partir del 30 % de los valores de todo el perfil, de la secuencia de datos ordenados de forma creciente, se obtuvieron los valores de fondo de cada perfil. En la **Tabla 2** se muestran los resultados de la prueba de hipótesis para la comparación de las medias de las poblaciones mutuas de valores que llevaron a obtener los niveles de fondo de cada perfil, para un valor de $\alpha = 5\%$. Este resultado es apreciado en la **Figura 13**, donde los

niveles de fondo de los perfiles 1, 3 y 4 pertenecerán a una misma población, los NF de los perfiles 6, 7 y 8 otra población bien definida, y de forma independiente el NF del Perfil 2.

En la **Tabla 3** se generalizan los Niveles de Fondo para cada una de las tres poblaciones establecidas. Estos niveles de fondo serán los utilizados en obtener los valores de susceptibilidad magnética normalizada a partir de la **Ecuación (4)**.

Se utilizaron los niveles de fondo generalizados de la **Tabla 3** para calcular la susceptibilidad mag-

		PERFILES							
		1	2	3	4	6	7	8	
PERFILES	1		H1	Ho	Ho	H1	H1	H1	
	2			H1	H1	H1	H1	H1	
	3				Ho	H1	H1	H1	
	4					H1	H1	H1	
	6						Ho	Ho	
	7							Ho	
	8								Ho

Tabla 2. Resultados de la prueba de hipótesis para los NF de los perfiles.

Población	Perfiles	Nivel de Fondo
1	1,3 y 4	0.67
2	2	0.37
3	6, 7 y 8	6.12

Tabla 3. Valores generalizados del nivel de Fondo para cada una de las tres poblaciones estadísticamente establecidas para un $\alpha = 5\%$.

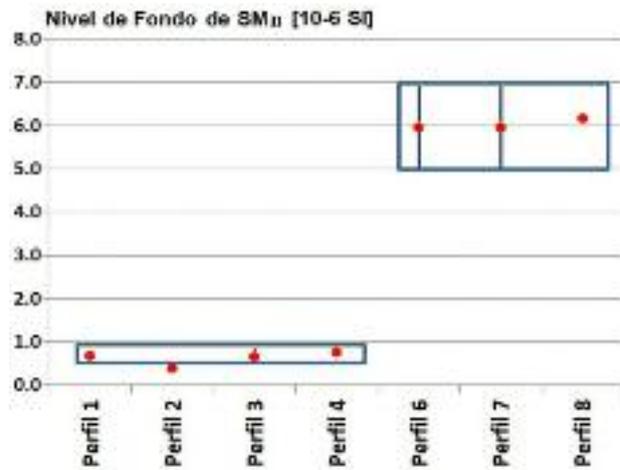


Figura 13. Gráfico de asociación de los NF en el que muestran las tres poblaciones estadísticamente independientes para un $\alpha = 5 \%$.

nética normalizada (SMn). Con la intención de establecer un indicador que asocie los valores de la SMn a las premisas del Modelo 1 y al Modelo 2 por separado, es que se elaboró un gráfico de barras para los valores del logaritmo de la SMn (**Figura 14**). Este gráfico de barras posee un valor mínimo de -1.281 y un valor máximo de 1.413, con un intervalo de clase de 0.108. Se aprecia en la **Figura 14**, tres poblaciones: la primera ubicada en el intervalo de -0.281 hasta -0.305, al cual se asociaría a posibles enterramientos humanos sobre la base de los presupuestos del Modelo 2. La segunda en el intervalo de -0.305 hasta 0.605, representa una población dudosa a partir de las causas que la generan. La tercera se establece en el intervalo de 0.605 hasta 1.413, asociada a probables enterramientos humanos a partir de las premisas del Modelo 1.

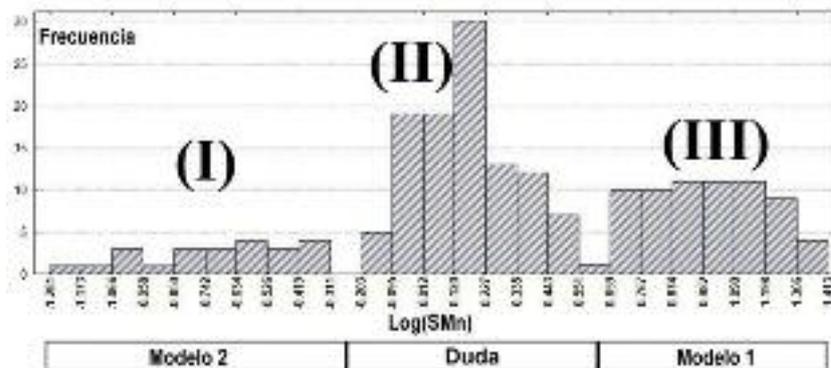


Figura 14. Gráfico de barras para los valores de SMn donde se expresan las poblaciones (I), (II) y (III).

Población	Media	Varianza	N
I	-0.745	0.061	20
II	0.155	0.038	110
III	1.007	0.040	65

Tabla 4. Valores de la media, varianza y cantidad de casos de cada una de las poblaciones de la **Figura 14**.

Estas poblaciones (I), (II) y (III) son independientes respecto a la media. Para la demostración de esta independencia en la **Tabla 4** aparecen los valores de la media, varianza y cantidad de casos para cada una de estas poblaciones.

La hipótesis básica ($H_0 : \mu_i = \mu_j$), refiere que las poblaciones comparadas son estadísticamente una misma población. La hipótesis alternativa ($H_1 : \mu_i \neq \mu_j$), refiere que las poblaciones comparadas no son estadísticamente una misma población.

A partir de la **Ecuación (3)** se calculó el estadígrafo para la prueba de la diferencia de las medias entre las poblaciones (I) y (II): $Z = 15.414$, y la Región Crítica se muestra a partir de $R_c (1-\alpha/2) = 2.576$, para un nivel de confiabilidad de $\alpha = 5 \%$. Por lo que se rechaza la hipótesis básica y se acepta la alternativa, de que las Poblaciones (I) y (II) son diferentes.

Para el caso de las poblaciones (II) y (III), $Z = 27.530$, y la Región Crítica se muestra a partir de $R_c (1-\alpha/2) = 2.576$, para un nivel de confiabilidad de $\alpha = 5 \%$. Por lo que se rechaza la hipótesis básica y se acepta la alternativa, de que las Poblaciones (II) y (III) son diferentes.

La **Figura 15** exhibe la regionalización de los valores del $\text{Log}(SMn)$, es decir, se georreferencian los resultados obtenidos en la **Figura 14**. La atenuación que de forma eventual provocaría la placa de hormigón, en apariencia no afecta a la variabilidad de los valores de SMn.

Se propone dirigir las excavaciones en las porciones del terreno establecidas para los Modelos 1 y 2, y desestimar los espacios definidos por la población de Duda. De forma especial, escavar en las áreas A y B señaladas en la **Figura 15**. Estas áreas contienen posibles fuentes asociadas al Modelo 1 y su contraste con la zona de Duda (área A) y el área B, asociada a los Modelo 1 y 2 y a la Zona de Duda. Esta propuesta responde a la posibilidad de contrastar los resultados de las excavaciones con las predicciones respecto a los dos modelos propuestos.

Resultados preliminares de la primera campaña de excavaciones.

Siguiendo el patrón propuesto, las primeras excavaciones se realizaron en el área A mediante una trinchera de 4 m x 2 m con diferentes profundidades de excavación (hasta aproximadamente 2 m) y revelaron la existencia de tres pisos o estratos culturales hasta llegar a una capa irregular de serpentinita. El piso 1 estaba compuesto de material de relleno descontextualizado de diferentes fuentes incluyendo fragmentos ferrosos irre-

gulares (**Figura 16**) y los pisos 2 y 3 con material provenientes de los siglos XIX y XVIII con cuantiosos restos cerámicos generalmente tipo Morro y México.

Las mediciones de susceptibilidad magnética realizadas a muestras de las cerámicas Morro y México utilizando el kapámetro portátil KT-10 S/C revelaron valores altos (**Tabla 5**) debidos presumiblemente a la presencia de abundantes minerales ferromagnéticos en la pasta original. Aunque estas mediciones son imprecisas, comparadas con las técnicas de laboratorio, arrojan resultados de interés que pudieran estar relacionados con las causas de algunas de las anomalías geofísicas presentes en el área de estudio.

CONCLUSIONES

La investigación bibliográfica concluye dos tipos de modelos con premisas opuestas para la localización de enterramientos humanos a partir de las mediciones de la susceptibilidad magnética: máximo relativo de valores de SMn (Modelo 1) y un mínimo relativo de valores de SMn (Modelo 2), ambos sobre una incidencia antrópica.

Se propuso un indicador a partir del logaritmo de la susceptibilidad magnética normalizada, el cual estará asociado indistintamente a los dos modelos establecidos: Modelo 1 y 2.

Otro resultado fue la regionalización del indicador propuesto en el área de interés y se propusieron

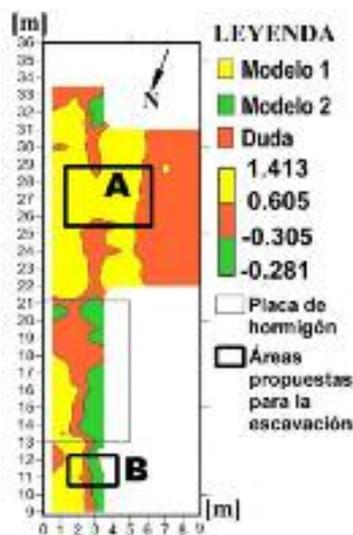


Figura 15. Regionalización de los valores del $\text{Log}(SMn)$, a partir de los resultados de la **Figura 14**.



Figura 16. Fotografías de las excavaciones A. Pisos estructurales. B. Algunos objetos ferrosos encontrados en los pisos 1 y 2. C. Restos de cerámicas encontrados en la excavación.

zonas para la excavación arqueológicas (A y B), lo cual representa una orientación racional de estos trabajos en el municipio de Guanabacoa y de esta forma, localizar posibles enterramientos humanos del siglo XVII.

Las anomalías de susceptibilidad magnética en sitios con un alto grado de antropización podrían tener otras fuentes o causas, además de los niveles de pedogénesis, los incendios o quemaduras de suelos o los enterramientos humanos, como la distribución irregular de artefactos cerámicos o ferrosos en el área bajo estudio.

Muestras	Media [10 ⁻⁶ SI]	Desviación Típica
Cóncava	2.58	0.17
Convexa	2.13	0.02
Serpentinita	5.28	0.20

Tabla 5. Valores de la media y desviación típica de las muestras de fragmentos de vasijas de cerámicas y roca serpentinita.

Los trabajos futuros de excavación arqueológica arrojarán más luz sobre la veracidad de los modelos propuestos. Se recomienda la aplicación a las muestras extraídas de cerámicas y rocas de otras técnicas de laboratorio no magnéticas (microscopía electrónica y óptica, espectroscopia Mössbauer, difracción de rayos x, análisis químicos, etc.) y magnéticas que pueden ayudar a investigar la composición magnética, los tamaños de los granos, así como la procedencia de los cerámicos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al Gabinete de Arqueología de la Oficina del Historiador de la Ciudad en La Habana, por el apoyo durante el levantamiento geofísico y al Dr.c Manuel Enrique Pardo Echarte, por la exhaustiva y rigurosa revisión del manuscrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Argote Espino, D. L., 2002, Caracterización geofísica de sitios arqueológicos: medio rural y urbano. Tesis para obtener el grado de Maestría en Ciencias (Ex-

ploración). Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geofísica. Posgrado en Ciencias de la Tierra. Sitio: https://www.academia.edu/11594528/Caracterizaci%C3%B3n_Geof%C3%ADsica_de_Sitios_Arqueol%C3%B3gicos_medio_rural_y_urbano (Consultado sep/2019).

Bigman, D., 2014, Mapping social relationships: geophysical survey of a nineteenth-century American slave cemetery. *Archaeol Anthropol Sci* (2014) 6:17–30. DOI 10.1007/s12520-013-0119-6.

Binder P. V.; Ataliva V., 2012, Indicios en la tierra: Inhumaciones y fosfatos. Una experiencia en Tucumán (Argentina). *Comechingonia. Revista de Arqueología*, Número 16, primer semestre 2012, pp. 167-184, Córdoba. ISSN 0326-7911. Sitio: https://www.academia.edu/4129445/Indicios_en_la_tierra_inhumaciones_y_fosfatos._Una_experiencia_en_Tucumán_Argentina_. (Consultado oct/2019).

Blanch Puertes L., 2016, Una nueva perspectiva del cartografiado del subsuelo para Restauración y Conservación del Patrimonio Histórico: Modelización y Catalogación de Registros de Georradar en Edificios Singulares Religiosos. Tesis Doctoral. Valencia, enero 2016. Sitio: <https://riunet.upv.es/handle/10251/61297> (Consultado sep/2019).

Crespo Díez M., Rodríguez Marcos J., A., Delibes de Castro G., Becker H., 2015, Prospección magnética en el recinto de fosos calcolítico de «el casetón de la era» (Villalba de los alcores, Valladolid): representación gráfica e interpretación. *Arqueología. BSAA Arqueología*, LXXXI, 2015, pp. 55-84. ISSN: 1888-976X. Universidad de Valladolid.

Dalan R.A., De Vore S.L., Clay R.B., 2010, Geophysical identification of unmarked historic graves. *Geoarchaeology* 25:572–601.

Díaz Vázquez, M., 1993, Aplicación de métodos físico-químicos en arqueología. *Espacio, Tiempo y Forma, Serie I, Prehistoria y Arqueología*, t. 6, págs. 249-262. Sitio: <http://e-spacio.uned.es/fez/eserv.php?pid=bibliuned:ETFSerie1-127F9A90-1503-F75A-00A1-1AA716B9AA63&dsID=Documento.pdf> (Consultado sep/2019).

- Graham I.**, 1976, The investigation of the magnetic properties of archaeological sediments. *Geoarchaeology*. London, Duckworth, págs. 49-63.
- Iglesias-Santamarina I.**, 2019. Modelización de la descomposición térmica de fosfatos metálicos. Tesis doctoral. Programa de Doctorado de Materiales. Universidad de Oviedo. Sitio: <http://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/1884>. (Consultado: sep/2019).
- Larrúa-Guédés, S.**, 2014, *Floridanos en Cuba, hispano-cubanos en La Florida*. Sitio: <http://www.elmonarquico.com/texto-diario/mostrar/416365/floridanos-cuba-hispano-cubanos-florida> (Consultado: sep/2019).
- Linford N.T.**, 2004, Magnetic ghosts: mineral magnetic measurements on Roman and Anglo-Saxon graves. *Archaeol Prospect* 11:167–180.
- Molina Gallego C. M.**, 2016, Metodología para la búsqueda de fosas a partir de la interpretación de anomalías en los datos obtenidos mediante la aplicación geofísica de alta resolución. Tesis presentada como requisito para optar al título de: Doctor en Geociencias. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Geociencias. Bogotá, D. C. Colombia. Sitio: <http://bdigital.unal.edu.co/52016/1/79404068>. 2016.pdf. (Consultado oct/2019).
- Mullins C. E.**, 1974, The magnetic properties of the soil their application to archaeological prospecting. *Archaeo-Physika*, 5: 143-7. https://www.academia.edu/3318697/MAGNETIC_SUSCEPTIBILITY_OF_THE_SOIL_AND_ITS_SIGNIFICANCE_IN_SOIL_SCIENCE_A_REVIEW. (Consultado sep/2019).
- Pardo, M, E., O. Rodríguez**, 2005, Algoritmo para determinar el Nivel de Fondo de Atributos con Estructura de Datos Secuenciales Lineales en La Tecnología Redox. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*. vol. 99.
- Pérez Martínez N., Sacasas León C., Cuevas Ojeda J. L., Pérez Lazo J., Fundora Granda M. J., Pérez A., Lufriú L., Rodríguez B., Prol Betancourt J. L., González Caraballo R., Olivera J.**, 1996, Metodología geofísica para la búsqueda de sitios de enterramientos humanos, no arqueológicos, de más de una década. Sitio: <http://busquedarestosche.cubasi.cu/fichas/geofisicos.pdf> (Consultado sep/2019).
- Pringle J.K., M. Giubertoni, N.J. Cassidy, K. Wisniewski, J.D. Hansen, N. Linford, R. Daniels**, 2015, The use of magnetic susceptibility as a forensic search tool, *Forensic Sci. Int.* 246 (2015) 31–42.
- Reynolds, J. M.**, 2011, *An introduction to applied and environmental geophysics*, 2nd ed., Wiley. [http://lib.iszf.irk.ru/An%20Introduction%20to%20Applied%20and%20Environmental%20Geophysics-Wiley%20\(2011\).pdf](http://lib.iszf.irk.ru/An%20Introduction%20to%20Applied%20and%20Environmental%20Geophysics-Wiley%20(2011).pdf) (Consultado sep/2019).
- Roura Álvarez L., Arrazcaeta Delgado R., Domínguez González I. S., Carr R. S.**, 2019, Indios naturales y floridanos en Guanabacoa. Proyecto de investigación arqueológica con excavación. Gabinete de arqueología. Oficina del historiador de La Habana.
- Scollar I.**, 1965, A contribution to magnetic prospecting in archaeology. *Archaeo-Physika* 1: 21-92. [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/\(SICI\)1520-6548\(199801\)13:1<3::AIDGEA_2>3.0.CO;2-9](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/(SICI)1520-6548(199801)13:1<3::AIDGEA_2>3.0.CO;2-9) (Consultado sep/2019).
- Spiegel M. R.**, 1971, *Teoría y problemas de estadística*. Editora Ciencia y Técnica. Instituto Cubano del Libro.
- Vázquez Castro G., Solís Castillo B.**, 2018, Magnetismo ambiental y cambio climático. Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. Sitio: http://www.ciga.unam.mx/publicaciones/images/abook_file/Magnetis-mo_ambiental_y_cambio_climatico.pdf (Consultado sep/2019).

Fecha de recepción: 20 de marzo de 2020
Fecha de arbitraje: 22 de marzo de 2020
Fecha de aprobación: 11 de julio de 2020