



# DEFINICIÓN DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA LA EXCAVACIÓN EN LOS RESCATES ARQUEOLÓGICOS

## *SAMPLE SIZE DEFINITION FOR RESCUE ARCHAEOLOGICAL EXCAVATION*

Luis Cornejo B.<sup>1</sup>

### Resumen

Se propone un método para definir el tamaño de la muestra en excavaciones arqueológicas de rescate, especialmente en el contexto de los Estudios de Impacto Ambiental en Chile, pero que puede ser aplicado en otros contextos. Esta propuesta se basa en métodos estadísticos estándar que consideran el tamaño del área a excavar, el nivel de confianza y el margen de error, ajustando este último según el tamaño del universo. Se introduce además el concepto de muestra ponderada, que adapta el tamaño de la muestra calculada según factores arqueológicos, como la densidad de restos, la presencia de rasgos, la calidad del contexto y las valoraciones patrimoniales. Esto permite una representación más precisa del sitio. También se destaca la importancia de una distribución homogénea de las unidades de excavación, evaluada mediante el coeficiente de variación, y se discute el tamaño óptimo de estas unidades según criterios prácticos y arqueológicos. El enfoque busca maximizar la recuperación de información valiosa, superar métodos estandarizados y adaptarse a la complejidad de cada sitio.

Palabras clave: muestreo, rescate arqueológico, SEIA.

### Abstract

*This paper proposes a method to define the sample size in archaeological rescue excavations, particularly within the context of Environmental Impact Studies in Chile (EIS), which can also be applied in other contexts. This method is based on standard statistical methods that consider the size of the area to*

1. Departamento de Antropología, Universidad Alberto Hurtado. <https://orcid.org/0000-0002-1348-2331>  
lcornejo@uahurtado.cl

*be excavated, the confidence level, and the margin of error, adjusting the latter according to the size of the universe. Additionally, the concept of a weighted sample is introduced, which adapts the calculated sample size based on archaeological factors such as artifact density, presence of features, context quality, and heritage values. This allows for a more accurate representation of the site. The importance of a homogeneous distribution of excavation units is also emphasized, evaluated using the coefficient of variation, and the optimal size of these units is discussed based on practical and archaeological criteria. The approach aims to maximize the recovery of valuable information, moving beyond standardized methods and adapting to the complexity of each site.*

*Keyword: sampling, archaeological Rescue, SEIA.*

---

**D**esde que la arqueología comenzó a utilizar métodos científicos para el estudio de los restos materiales se hizo evidente la necesidad de considerar los métodos de muestreo (p.e. Binford 1964; Spaulding 1953 Vescelius 1960), especialmente porque estos reducen costos, disminuyen el tiempo que toma la recolección de datos, permiten utilizar personal más especializado y facilitar el control del proceso, además de aumentar la precisión en los datos obtenidos (Cochran 1977: 15-16). Sin embargo, como señala Shennan (1992: 296), lo más habitual es que en uno de los aspectos más importantes de un diseño de muestreo, el tamaño de la muestra, sean las exigencias financieras las determinantes, lo cual, en el desarrollo de proyectos de investigación, tiene un sentido muy práctico. De hecho, la mayor parte del esfuerzo estadístico de la disciplina en este campo se ha concentrado en determinar el grado de efectividad de una muestra en representar el universo desde el cual proviene y distintos esquemas de muestreo (p.e. Mueller 1975; Orton 2000; Shennan 1992; VanPool y Leonard 2011). Drennan aborda la forma de estimar el tamaño de una muestra –aunque la mayor parte de su trabajo se centra en el muestreo de objetos– con solo una pequeña sección dedicada a las muestras de unidades de excavación (Drennan 2009; Drennan y Fernández 2019). Sin embargo, su propuesta se basa en métodos derivados del estudio de la media de una determinada variable, por ejemplo, la densidad, a través del error y la desviación estándar. Nosotros, como veremos más adelante, hemos preferido acudir a un método desarrollado específicamente para estos propósitos.

No obstante, en el campo de las definiciones que deben tomarse en los Estudios de Impacto Ambiental en Chile, así como en otros contextos con exigencias similares, donde es necesario considerar cuál es el tamaño de la muestra que se debe rescatar para lograr una adecuada representación del sitio arqueológico que será impactado por una determinada obra, este problema se vuelve central. Hasta ahora, la aproximación que se ha utilizado en Chile proviene del uso consuetudinario de ciertos valores, los cuales incluso se han materializado en documentos oficiales (Consejo de Monumentos Nacionales 2020: Anexo 5, Tabla 3.2), pero que no cuentan realmente con un respaldo que los justifique desde el campo en que se enmarca este problema, la probabilidad.

En este artículo, precisamente, pretendemos proponer un método para determinar el tamaño de la muestra en el caso específico de los rescates arqueológicos basándonos en la teoría y los métodos del muestreo estadístico, pero también en la ponderación necesaria de las características propias de los estudios arqueológicos. En relación con la etapa de planificación y ejecución de sondeos de caracterización, que generalmente antecede a la etapa de rescate, ya hemos realizado una propuesta previa referente al tamaño y la distribución de la muestra (Cornejo 2019a). Si bien el método aquí desarrollado se centra en los estudios donde se deben decidir muestras a ser rescatadas por medio de técnicas de excavación, los criterios expuestos pueden ser, con relativa facilidad, extrapolados a otros contextos.

## **El tamaño de la muestra desde el punto de vista probabilístico**

Si bien es de sentido común pensar que entre más grande la muestra mayor será la probabilidad de obtener una buena representación de Universo en estudio, es evidente que, por razones de adaptación a condiciones reales, en nuestro caso los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) en arqueología, se debe buscar un tamaño de muestra que, siendo representativo, sea también adecuado a las necesidades de tiempo, recursos y planificación, es decir, que equilibre la representatividad y la practicidad.

Para un primer acercamiento a este problema recurriremos a un algoritmo estándar utilizado en disciplinas que usualmente trabajan con grandes universos de los cuales se debe obtener una muestra, especialmente en casos donde la representatividad de esta es crítica, tal como la investigación médica (p.e. Otzen y Manterola 2017; Fernández-Matías 2023; Lai y Kelly 2011; Riley *et al.* 2020), pero también otro tipo de investigaciones, como la mercadotecnia o las encuestas de opinión (p.e. Fernández 2003).

Si bien existen variantes de la fórmula para ejecutar este algoritmo, una de las más comunes aplicable a los casos en que se conoce el tamaño de la población –en el nuestro la superficie del área que será impactada y donde se debe realizar el rescate– es la que se deriva de los estudios de Fisher (1925) y Neyman y Pearson (1933), y que se define según la Fórmula 1:

$$n = \frac{N^2 \sigma^2 Z^2}{e^2 (N-1) + \sigma^2 Z^2}$$

Fórmula 1

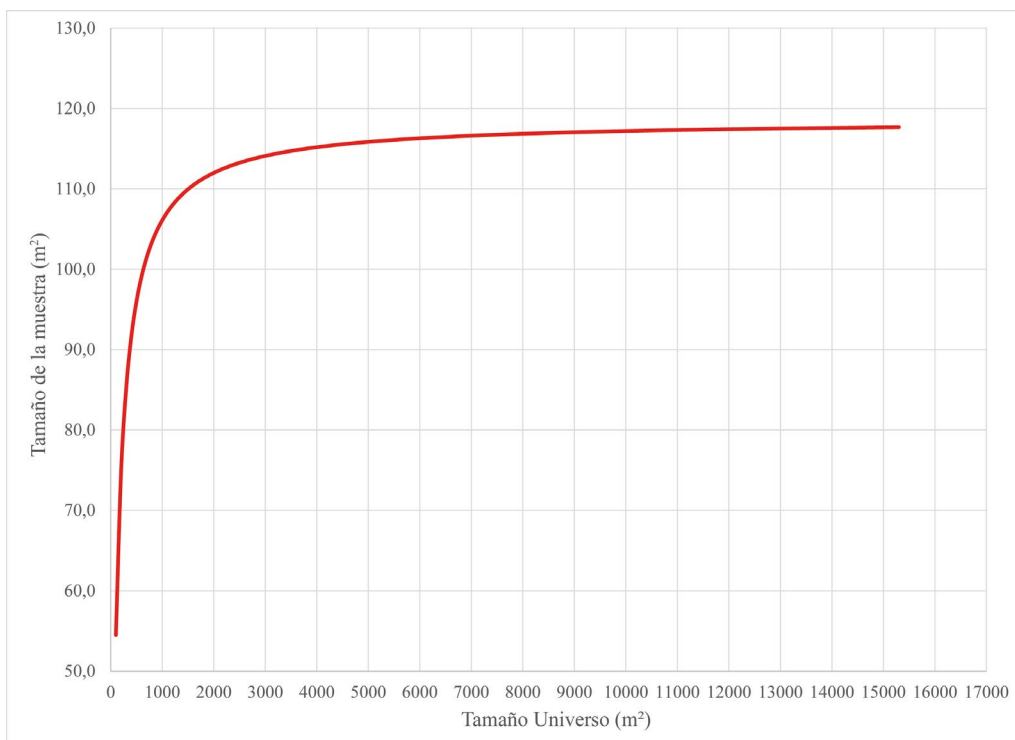
Donde  $n$  es el tamaño de la muestra y  $N$  es el tamaño del Universo.

$\sigma$  es la desviación estándar del Universo de estudio, valor que muchas veces no se conoce, en cuyo caso se utiliza por defecto un valor constante de 0,5. Así sucede en el problema que aquí estudiamos, dado que la información de que se dispone en el momento de planificar los rescates proviene de pozos de sondeo u otros estudios restringidos (p.e. recolecciones de superficie), que si bien cumplen su propósito de proyectar las condiciones subsuperficiales, habitualmente su densidad de restos no provee suficiente información como para usar confiadamente su valor de  $\sigma$ .

$Z$  es el nivel de confianza que esperamos que tenga la muestra ante el supuesto de que su variación tenga una distribución cercana a la normal en poblaciones de gran tamaño. Este se obtiene de la puntuación  $Z$  y queda a criterio del investigador determinar ese nivel de confianza, aunque generalmente se utiliza para mayor precisión 95 % de confianza ( $Z = 1,96$ ), cosa que replicaremos acá.

$e$  es el límite aceptable de error muestral, el cual generalmente se fija en un valor que varía entre 1 % (0,01) y 9 % (0,09), selección que queda a criterio del investigador de acuerdo con las características del tipo de objeto de estudio. En nuestro caso, dada la gran diversidad que presentan los datos arqueológicos nos parece adecuado utilizar 9 % de error aceptable, aunque, como veremos luego en situaciones en que el universo es mayor a 1.000 m<sup>2</sup>, utilizaremos límites de error muestral aceptables menores.

De esta manera, por ejemplo, para un área de 1.000 m<sup>2</sup> la aplicación de esta fórmula con los parámetros  $N = 1000$ ,  $\sigma = 0,5$ ;  $Z = 1,96$ ;  $e = 0,09$  indica que el tamaño de la muestra deberá ser 107. En términos operativos, si bien esta fórmula puede ser fácilmente resuelta manualmente o en una hoja de cálculo, existen hoy en la web varias calculadoras del tamaño de una muestra para la



**Figura 1.** Incremento logarítmico del tamaño de  $n$  para distintos tamaños de  $N$  estimados por la Fórmula 1.

realización de encuestas que son gratuitas y simples de operar y que se basan en esta fórmula<sup>2</sup>.

No obstante, este algoritmo genera el efecto de que, a medida que el tamaño del Universo ( $N$ ) aumenta, el valor de  $n$  no crece de manera proporcional, sino que experimenta un incremento de tipo logarítmico. Esto implica que, tras un ascenso significativo, el aumento se reduce progresivamente hasta alcanzar una tendencia a la estabilización. En nuestro caso eso quiere decir que la cantidad de  $m^2$  que debemos rescatar no crece significativamente pese a que aumenta el tamaño del Universo (Figura 1). Esto se debe a varias razones relacionadas con los principios estadísticos del muestreo (p.e. Kobayashi *et al.* 2012). De acuerdo con la Ley de los Grandes Números, en Universos más grandes la varianza, es decir, la variabilidad interna, tiende a disminuir haciendo que el tamaño de la muestra necesario para su buena representación sea menor. Esto significa que incluso con un tamaño del Universo muy grande, la muestra no necesita ser proporcionalmente grande para alcanzar el mismo nivel de precisión dado el margen de error y el nivel de confianza utilizado. A

2. <https://www.qualtrics.com/es/gestion-de-la-experiencia/investigacion/calcular-tomano-muestra/>; <https://es.surveymonkey.com/mp/sample-size-calculator/>; <https://www.questionpro.com/es/calculador-de-muestra.html>

la inversa, en Universos pequeños, los tamaños de la muestra son mayores ya que cada incremento adicional tiene un mayor impacto en la variabilidad de la muestra obtenida. Como veremos más adelante, estos dos efectos son muy apropiados para la resolución final de nuestro tema.

Para corregir este efecto que, en principio, puede considerarse indeseado dada la alta varianza de los datos arqueológicos, utilizaremos la posibilidad que existe en este algoritmo de definir cuál es el error muestral ( $e$ ) aceptable, y que inicialmente hemos fijado en 9 % (0,09), disminuyéndolo de manera progresiva en la medida que aumenta el tamaño del Universo. Para sistematizar esto podemos considerar en qué momento el incremento logarítmico del tamaño del Universo produce aumentos insignificantes en el tamaño la muestra, el cual podemos ubicar en el tamaño de universo de 1.000 m<sup>2</sup>, luego de cual el incremento es menor de 1 m<sup>2</sup>. De esta manera podemos utilizar rangos de cada 1.000 m<sup>2</sup> de tamaño del Universo para aumentar el valor de  $e$  (Tabla 1). Para valores del tamaño de Universo mayores a 5.000 m<sup>2</sup>, proponemos utilizar de manera estándar un  $e = 0,05$  para mantenernos dentro del rango que convencionalmente se utiliza para este parámetro.

| Tamaño del Universo (m <sup>2</sup> ) | Valores de $e$ |
|---------------------------------------|----------------|
| $\geq 1000$                           | 0,09           |
| $\geq 2000$                           | 0,08           |
| $\geq 3000$                           | 0,07           |
| $\geq 4000$                           | 0,06           |
| $\geq 5000$                           | 0,05           |
| $> 5000$                              | 0,05           |

**Tabla 1.** Valores de  $e$  para distintos rangos de tamaño (m<sup>2</sup>) del universo.

## Una muestra ponderada

En la medida que los restos arqueológicos tienen conductas complejas que se manifiestan de manera diferente en cada sitio arqueológico producto de los procesos de formación culturales y naturales, su historia ocupacional y la complejidad de las actividades ahí realizadas, es necesario ir más allá del simple cálculo realizado con el algoritmo antes descrito y establecer lo que llamaremos una Muestra Ponderada ( $n_p$ ) adecuada para cada sitio. Esto es así pues, en la secuencia de los trabajos de Estudios de Impacto Ambiental, previo al rescate se cuenta principalmente con información proveniente de pozos de sondeo y menor grado de información, como recolecciones de superficie

o estudios de otro tipo (p.e. registros de arquitectura o de arte rupestre), pero que pueden ser homologados con la información de los pozos de sondeo para lograr generar factores de ponderación de la muestra.

En primer lugar, debemos considerar que la densidad de restos varía en distintas áreas del sitio, lo cual es un factor central en la evaluación del contexto presente en cada lugar en particular (p.e. áreas de actividad, efecto de dispersión de restos desde el foco de la ocupación, etc.). Luego, la selección de una muestra debe considerar la presencia o la ausencia de rasgos (p.e fogones, estructuras, tumbas, etc.), ya que estos son especialmente útiles para obtener información sustantiva sobre las actividades del pasado. En términos más globales, es necesario considerar la calidad de la información presente en cada sitio y las distintas áreas que en ellos se reconozcan, lo cual vamos a entender aquí como el potencial de los restos de contener asociaciones, superposiciones y recurrencias significativas para el proceso de interpretar dichos restos (Cornejo *et al.* 2023). Esto implica, a la vez, la evaluación de factores de disturbación de los contextos (p.e. mezcla de materiales culturales de períodos distintos, alteraciones subactuales, etc.).

Por último, es necesario también considerar la posibilidad de que exista eventualmente, y para casos específicos, una valoración situacional que puede depender de aspectos como la singularidad del contexto en términos cronológicos, espaciales o temporales, una especial valoración de comunidades locales actuales u otras consideraciones patrimoniales.

Para materializar esto hemos construido el siguiente algoritmo que permite, partiendo de la muestra calculada ( $n$ ), considerar la influencia de dichos factores para determinar una muestra ponderada ( $n_p$ ). Este se expresa en la Fórmula 2:

$$n_p = n(\beta \Omega \alpha \Delta)$$

Fórmula 2

Donde  $n$  es la muestra estimada por la Fórmula 1,  $\beta$  es el factor derivado de la densidad de materiales arqueológicos,  $\Omega$  es la presencia o ausencia de rasgos,  $\alpha$  es la posibilidad de encontrar asociaciones, superposiciones y recurrencias significativas poco disturbadas y  $\Delta$ , una eventual valoración especial. Al ser esta una formula anidada, los distintos factores ponderados actúan como múltiplos del valor de  $n$  de acuerdo con los siguientes criterios.

El valor de  $n$  se entendería a partir de las áreas de densidad de restos posibles de identificar dentro del sitio estudiado, usualmente delimitadas por la interpolación a partir de la densidad ( $r/l$ ) de los pozos de sondeo. Estas áreas

de densidad se pueden categorizar de acuerdo con distintos cuantiles de la densidad estimada, aunque aquí proponemos la utilización de cuantiles o quintiles que han resultado ser adecuados para distintos casos que hemos estudiado (p.e. Cornejo 2019b, 2020, 2021, 2024). En la Tabla 2 podemos ver los factores de ponderación para las distintas áreas de densidad segregadas en cuantiles y quintiles.

| Quintiles         | Factores de ponderación | Cuantiles         | Factores de ponderación |
|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|
| Muy alta densidad | 1,0                     | Alta densidad     | 1,0                     |
| Alta densidad     | 0,8                     | Media densidad    | 0,75                    |
| Media densidad    | 0,6                     | Baja densidad     | 0,5                     |
| Baja densidad     | 0,4                     | Muy baja densidad | 0,25                    |
| Muy baja densidad | 0,2                     |                   |                         |

**Tabla 2.** Factores de ponderación para áreas de densidad definidas según cuantiles y quintiles.

En determinadas situaciones se podrían utilizar otros cuantiles (térciales, deciles, etc.), en cuyo caso la valoración de este factor deberá adaptarse al tipo de cuantil utilizado, distribuyendo proporcionalmente el factor de ponderación en consideración de la estructura de cuantiles seleccionada. Esta definición considera el hecho de que las probabilidades de registrar asociaciones, recurrencias y superposiciones está en relación lineal con la densidad de materiales arqueológicos, es decir, que en las áreas más densas tendrán mayor posibilidad de registrarse dichas características, mientras que en las áreas de menor densidad estas probabilidades serán menores.

El valor de  $\Omega$  se refiere a la presencia de rasgos. Este factor asume el valor 1,0 cuando en el lugar no se presentan rasgos estructurados (p.e. restos de arquitectura, sepulturas, fogones, etc.), por lo cual no es necesario un incremento en el tamaño de la muestra. Por otro lado, en el caso de existir rasgos en el área en cuestión se debe fijar un incremento de la muestra para lograr una mejor representación del espacio con rasgos. En este caso proponemos un incremento de 30 %, valor que creemos es razonable para reflejar una mejora sustancial en la calidad de la información aportada por la presencia de rasgos, sin ser tan elevado como para que resulte exagerado. De esta manera, tal factor sería de 1,3.

El valor de  $\alpha$  se obtendrá de los criterios que hemos propuesto previamente para evaluar la calidad de la información arqueológica presente en un determinado sitio (Cornejo *et al.* 2023). Para poder considerar aquí estos criterios se

propone una escala de valoración que, manteniendo el juicio de la investigadora(or), tal como se señala en el texto referido, propone ciertos ejes. Para ello se deberá considerar como Muy Poco Probable encontrar contextos arqueológicos que no tengan asociaciones, recurrencias y/o superposiciones reconocibles, en que exista una baja densidad relativa, un alto índice de variación interna, pero no exista ninguna determinación entre las frecuencias de los distintos materiales arqueológicos y esté presente un alto grado de disturbación que se manifiesta en la mezcla entre materiales de distinta cronología (p.e. histórico/subactual o prehispánico/histórico).

En el otro extremo, será Muy Probable el encontrar contextos con asociaciones, recurrencias y superposiciones reconocibles cuando haya una densidad relativa alta, no haya una variación interna muy grande, exista un importante índice de determinación entre los distintos tipos de materiales arqueológicos y no se advierta la presencia de disturbación. Otras combinaciones de los criterios de evaluación propuestos darán paso a valoraciones de Probable y Poco Probable. En la Tabla 3 se presentan los factores que se asignan a estas distintas ponderaciones de la calidad de la información presente en el lugar.

| Probabilidades    | Factores de ponderación |
|-------------------|-------------------------|
| Muy probable      | 1,0                     |
| Probable          | 0,75                    |
| Poco probable     | 0,5                     |
| Muy poco probable | 0,25                    |

**Tabla 3.** Factores de ponderación de la probabilidad de existencia de asociaciones, recurrencias y superposiciones.

Por último, el valor de  $\gamma$ , que se aplicará eventualmente en condiciones especiales, tendrá un factor de 1,3 que, al igual que en el caso de la presencia de rasgos, implica un aumento de un 30 %, que resulta en un incremento razonable. En el caso que no exista alguna valoración situacional este factor tendrá un valor de 1,0.

De esta manera, un área de 1.000 m<sup>2</sup>, cuyo  $n = 107$  que se define como de Alta Densidad ( $\beta = 1,0$ ), sin rasgos ( $\Omega = 1,0$ ) y con una Probable posibilidad de encontrar asociaciones, recurrencias y superposiciones y una pequeña disturbación ( $\alpha = 0,75$ ), y que no tiene ninguna valoración especial ( $\Delta = 1,0$ ), tendrá una muestra ponderada ( $n_p$ ) de 79,5 m<sup>2</sup> con una proporción de la muestra de 8,0 % (Caso 1 en Tabla 4). Por otro lado, la misma área de Alta Densidad ( $\beta = 1,0$ ) de 1.000 m<sup>2</sup>, pero con presencia de rasgos ( $\Omega = 1,3$ ), una Muy Probable presencia de asociaciones, recurrencias y superposiciones no

disturbadas ( $\alpha = 1,0$ ) y una Valoración Situacional específica ( $\Omega = 1,3$ ), tendrá una  $n_p$  de 180,8 m<sup>2</sup> y una fracción de la muestra de 18,8 % (Caso 2 en Tabla 4). Otras opciones para esta hipotética área de 1.000 m<sup>2</sup> se pueden observar en la Tabla 4.

| Caso | $\beta$ | $\Omega$ | $\alpha$ | $\Delta$ | $n_p$ | Muestra (%) |
|------|---------|----------|----------|----------|-------|-------------|
| 1    | 1,0     | 1,0      | 0,75     | 1,0      | 79,5  | 8,0         |
| 2    | 1,0     | 1,3      | 1,0      | 1,3      | 180,8 | 18,8        |
| 3    | 0,75    | 1        | 1        | 1        | 80,3  | 8,0         |
| 4    | 1       | 1,3      | 1        | 1        | 139,1 | 13,9        |
| 5    | 0,75    | 1,3      | 1        | 1        | 104,3 | 10,4        |
| 6    | 0,5     | 1,3      | 0,5      | 1        | 34,8  | 3,5         |
| 7    | 0,25    | 1,3      | 0,25     | 1        | 8,7   | 0,9         |
| 8    | 0,25    | 1,3      | 0,25     | 1,3      | 11,3  | 1,1         |
| 9    | 1       | 1        | 1        | 1,3      | 139,1 | 13,9        |
| 10   | 0,75    | 1        | 0,75     | 1,3      | 78,2  | 7,8         |
| 11   | 0,5     | 1,3      | 0,5      | 1        | 34,8  | 3,5         |
| 12   | 0,25    | 1,0      | 0,25     | 1        | 6,7   | 0,7         |

**Tabla 4.** Ejemplos del tamaño de la Muestra Ponderada ( $n_p$ ) y el % de muestra resultante para un área de 1.000 m<sup>2</sup> con distintos valores de los factores de ponderación.

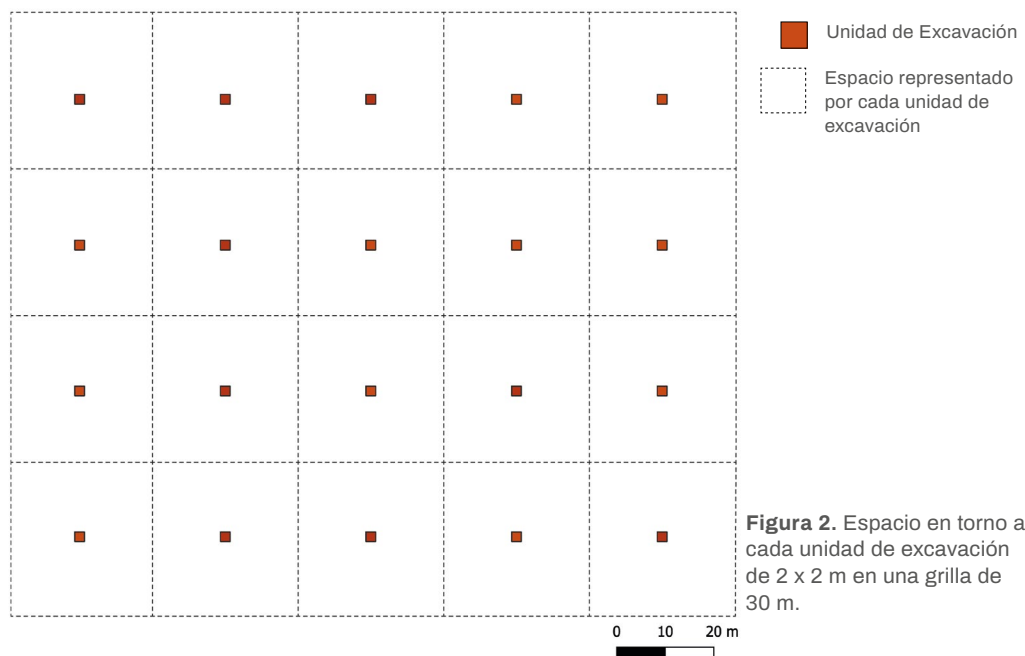
## La distribución de la muestra

No toda la probabilidad de representar adecuadamente un determinado Universo por medio de una muestra depende de su tamaño, ya que si está mal distribuida puede no resultar representativa. Tal situación está compuesta de dos factores distintos pero relacionados: la homogeneidad de la distribución de las unidades de excavación y su tamaño. Como ya dijimos, si bien acá ponemos énfasis en unidades de excavación, estos mismos criterios pueden aplicarse a otras unidades de registro (p.e. recolecciones de superficie).

### La distribución de las unidades

Un primer paso que habitualmente se utiliza para lograr esto es la segregación de áreas distintas dentro del sitio; en nuestro caso, áreas de densidad, lo que implica de entrada un esquema de muestreo Estratificado, aunque en este caso no será proporcional como corresponde a la definición de este esquema de muestreo (Gallardo y Cornejo 1986). Posterior a esto se debe abordar el problema de cómo distribuir las unidades que serán excavadas para ejecutar

el rescate. Para esto es posible partir del principio de que la mejor distribución es aquella en la que cada unidad de excavación representará una porción similar de espacio a su alrededor y, por lo tanto, que su distancia será similar. Esto se cumple, por ejemplo, en un espacio hipotético rectangular (Figura 2) donde se distribuyen unidades de excavación de 2 x 2 m en una grilla de 30 x 30 m. Así cada unidad tiene a su alrededor la misma cantidad de superficie y la distancia entre cada unidad y su vecina más cercana es la misma (30 m),

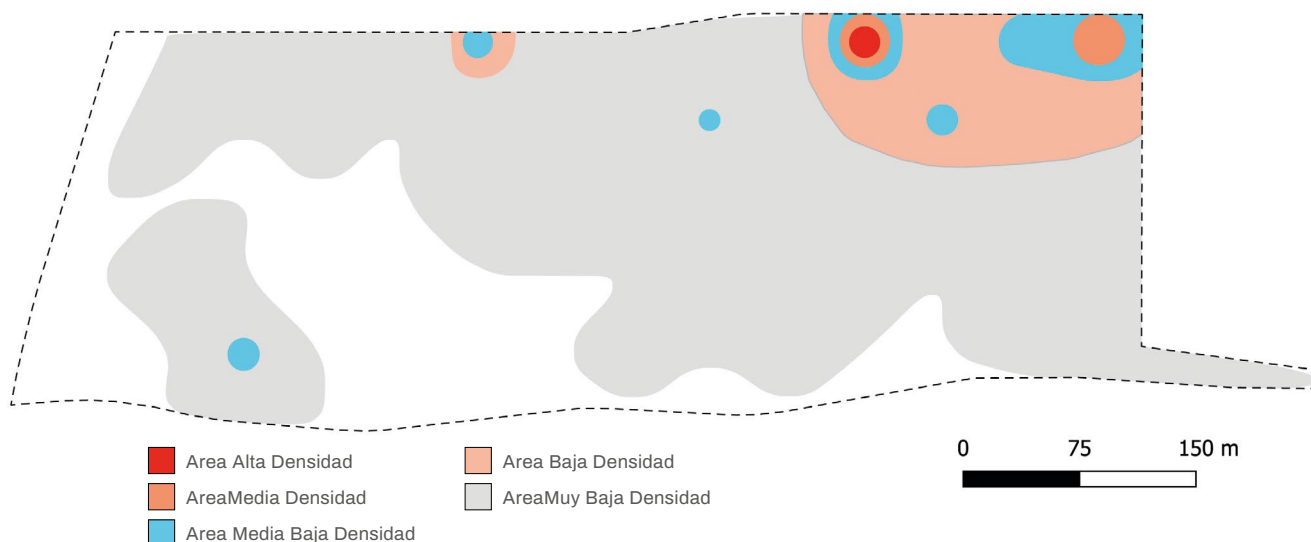


**Figura 2.** Espacio en torno a cada unidad de excavación de 2 x 2 m en una grilla de 30 m.

medida desde el centroide de cada unidad de excavación. Esto representaría una distribución homogénea ideal.

En la realidad, sin embargo, es común que las áreas de densidad dentro de un sitio no tengan una forma ortogonal, sino que serán en muchos casos polígonos irregulares, incluso de superficies no continuas, tal como el ejemplo presentado en la Figura 3. A la vez, dentro de estas áreas es posible que existan construcciones actuales, ductos de servicios u otros obstáculos, además de los mismos pozos de sondeos realizados previamente, y será más difícil que una grilla ortogonal estricta logre ajustarse de manera de lograr el tamaño de la muestra y el principio de la mejor distribución de ella.

En esos casos la simple distribución de las unidades de excavación de manera ortogonal no será posible ya que se deberán hacer ajustes en la localización a ciertas o todas las unidades para intentar mantener la distancia regular



**Figura 3.** Áreas de densidad interpoladas a partir de pozos de sondeo de la ocupación alfarera del sitio Talleres y Cocheras L7 de Metro (elaborado a partir de Cornejo 2021).

entre estas y lograr que la muestra ponderada definida para cada área tenga la distribución lo más homogénea posible. Para sistematizar esta variación es necesario definir un margen de tolerancia para que cada unidad de excavación represente un área más o menos similar. La manera más simple de definir este margen de tolerancia es considerando la variabilidad en la distancia entre cada unidad y su vecina más cercana, medidas desde el centroide para evitar la variación posible de los distintos puntos de sus vértices, por medio de la relación entre la media ( $\bar{x}$ ) de las distancias y su desviación estándar ( $\sigma$ ), valor que se expresa con el Coeficiente de Variación (Formula 3) que representa la proporción de la variación interna de un conjunto expresada, en este caso, en porcentaje:

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100$$

Fórmula 3

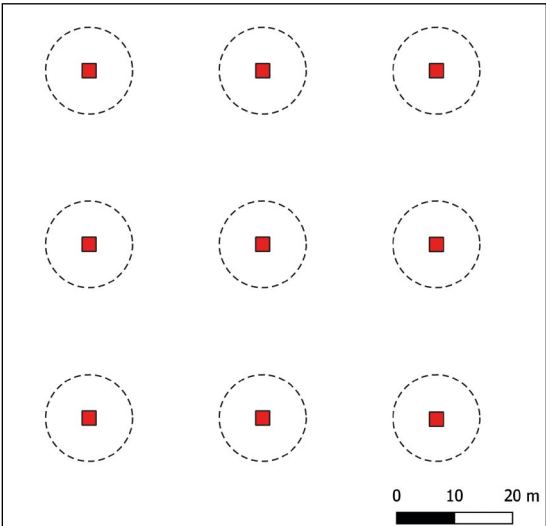
En el caso hipotético presentado previamente, en que las unidades están distribuidas a una distancia constante de 30 m, entonces  $\bar{x}$  será 30 y  $\sigma$  será 0, por lo cual el valor de  $C_v$  será también 0, lo que indica que la distribución de las unidades es completamente homogénea. El valor de  $C_v$  crece a partir de ahí hasta llegar a un valor igual, o incluso superior, a 100 cuando existen diferencias entre las distancias, razón por lo cual se obtendrá una  $\sigma$  mayor y, en consecuencia, un  $C_v$  también mayor a 0. Estos valores de  $C_v$  los podemos calificar en rangos de tolerancia como los presentados en la Tabla 3, los cuales irían des-

de casos cuyo valor es menor o igual a 25 %, situados en la categoría de Muy Baja variación, que representa casos donde la distribución de las unidades de excavación sería cercana a la distribución homogénea ideal, hasta valores mayores que se encuentran en la categoría de Muy Alta variación, donde la distribución de las unidades de excavación sería completamente heterogénea, con una variación por sobre el 100 %.

| Categoría          | $C_v$        |
|--------------------|--------------|
| Muy Baja variación | 0 – 25 %     |
| Baja variación     | 25,1 – 50 %  |
| Media variación    | 50,1 – 75 %  |
| Alta variación     | 75,1 – 100 % |
| Muy Alta variación | > 101 %      |

**Tabla 5.** Categorización de los valores de  $C_v$  para evaluar la grilla de muestreo.

De esta manera, proponemos aquí definir como un rango aceptable para asegurar la mejor representación del entorno de las unidades de excavación la categoría de Muy Baja variación, es decir con menores o iguales a 25 %. Este valor máximo de variación aceptable en la distancia entre las unidades más cercanas podemos representarlo como un *buffer* en torno a la ubicación ideal totalmente homogénea y dentro del cual se podría encontrar a cada unidad. Así, por ejemplo, en una grilla ideal de 30 m las variaciones en la ubicación se encontrarán en un buffer máximo de 7,5 m (Figura 4), que correspondería a un máximo de 25 % de variación.

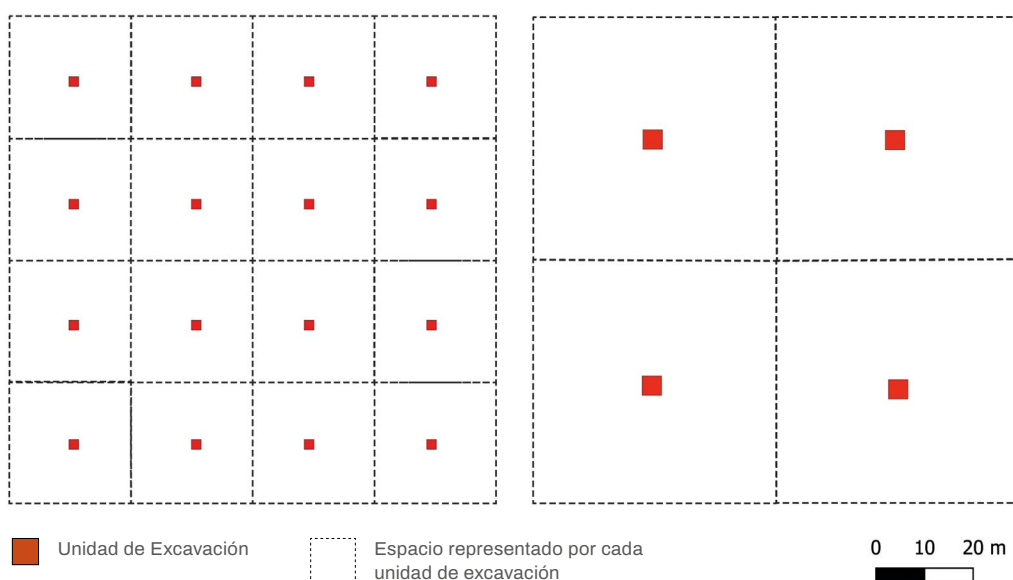


**Figura 4.** Buffer de 7,5 m ( $C_v=25\%$ ) para la variación de unidades a partir de una grilla ideal de 30 m.

- Unidades de 2x2 m.
- Buffer de error de 7,5 m.

### El tamaño de las unidades

El segundo aspecto de la distribución de la muestra está determinado por el tamaño de las unidades de excavación. Esta decisión se relaciona con la distribución de la muestra, ya que una muestra ponderada que se distribuya en unidades pequeñas producirá el efecto de que el área que representa cada unidad en su entorno será menor, mientras que, si la misma muestra ponderada se distribuye en unidades mayores, el área que representará en su entorno será también mayor. Por ejemplo, en un área de 1.000 m<sup>2</sup> de superficie, en la cual se debe muestrear un total de 64 m<sup>2</sup>, podemos ver claramente (Figura 5) las diferencias en el área representada en el entorno de cada unidad con la muestra distribuida en 4 unidades de 4 x 4 o 16 unidades de 2 x 2 m, siendo el entorno de las primeras de 2.522 m<sup>2</sup> y de las segundas de 538 m<sup>2</sup>. Así, *a priori*, se podría concluir que los tamaños de unidades menores lograrán una mejor representación del Universo con una muestra ponderada cualquiera, ya que el área que cada unidad de excavación representará será menor y, por lo tanto, se tendrá una imagen del conjunto más fina.



**Figura 5.** Diferencia en el área representada por cada unidad para unidades de 2 x 2 m y 4 x 4 m.

Si bien lo anterior es cierto, también se debe considerar que el tamaño de la unidad de excavación debe estar en relación con la profundidad a la que se estima se encuentran los primeros restos depositados, lo cual repercute en la visibilidad óptima que se debe tener en el frente de excavación, en las posibilidades de maniobra de quien excava, así como en consideraciones de

seguridad. A la vez, esto debe ponerse a la luz de las complejidades de la estructura de los contextos arqueológicos cuando en ellos se encuentran rasgos delimitados (cfr. Sharer y Ashmore 1979), tales como fogones, entierros, estructuras o tumbas.

Generalmente, los pozos de sondeo, tarea previa a las excavaciones de rescate, entregan información como para estimar la matriz de densidad de restos con cierta precisión (Cornejo 2019a), pero, en relación con la presencia y las características básicas de los rasgos, así como sobre su distribución, generalmente no resultan adecuados, en especial cuando los rasgos son discontinuos. Este es un tema no menor ya que por lo general los rasgos contienen información con una mayor probabilidad de representar asociaciones, recurrencias o superposiciones de interés (Cornejo *et al.* 2023). Dicha probabilidad está relacionada con el tamaño de la unidad de excavación, ya que una unidad más pequeña tendrá menos probabilidad de detectar o lograr delimitar un rasgo, mientras que las unidades de mayor tamaño tendrán mayor probabilidad de hacerlo.

De hecho, como podemos ver en la Figura 6, el área de las unidades de excavación no crece linealmente al incrementar el tamaño de sus lados, sino que lo hace de manera potencial para que, por cada incremento en el borde de una unidad, su área crezca al cuadrado ( $y = x^2$ ), lo que significa que aumentar el tamaño de las unidades tiene un gran beneficio en el frente de excavación y en la probabilidad de representar mejor los rasgos que en ella se encuentren.

## Palabras finales

El proceso de elegir una muestra para ser rescatada de un sitio arqueológico en el Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) implica una serie de decisiones que determinarán qué parte del patrimonio arqueológico se conservará y cual se perderá. La metodología aquí expuesta pretende poner énfasis en la necesidad de que esta toma de decisiones se sitúe en un marco referencial claro y documentado, y que se base en los métodos estadísticos derivados de la teoría del muestreo, campo al cual sin duda este problema pertenece, pero considerando criterios arqueológicos ampliamente conocidos y que permiten evaluar la calidad de la información arqueológica presente en el sitio en cuestión (Cornejo *et al.* 2023).

A este algoritmo le hemos llamado Muestra Ponderada precisamente en el sentido de ponderar en la respuesta la pregunta de cómo, cuánto y dónde excavar en un determinado caso varios factores que tienen el potencial de hacer del rescate arqueológico en el Sistema de Evaluación Ambiental una actividad

que garantiza recuperar la información arqueológica más valiosa presente en los sitios que serán intervenidos. A la vez, este método pone también de manifiesto que el rescate arqueológico debe ser fruto de un trabajo razonado y analítico, que considera las particularidades de cada caso, y no un mecanismo estandarizado, que se adapta realmente poco a la complejidad del registro arqueológico.

*Agradecimientos:* Se agradece los muchos comentarios recibidos por el equipo de Metro S.A. en el desarrollo de estas ideas, especialmente a Consuelo Carracedo L. Se agradece también a Lorena Sanhueza R. los comentarios hechos al manuscrito. Se agradece también los comentarios emitidos por los evaluadores que ayudaron a mejorar el manuscrito.

## Referencias citadas

- Binford, L. 1964. A Consideration of Archaeological Research Design. *American Antiquity* 29(4): 425-441.
- Cochran, W. G. 1977. *Sampling Techniques*. John Wiley & Sons, Nueva York.
- Consejo de Monumentos Nacionales. 2020. *Guía de procedimiento arqueológico*. Consejo de Monumentos Nacionales, Santiago.
- Cornejo, L. 2019a. Evaluación de los métodos de muestreo probabilísticos en la caracterización de sitios arqueológicos por medio de sondeos subsuperficiales. *Chungara, Revista de Antropología Chilena* 51(3): 427-442.
- Cornejo, L. 2019b. Metodología para una propuesta de rescate en el sitio Conjunto Huechuraba. Informe profesional para CEHP. Manuscrito.
- Cornejo, L. 2020. Propuesta de rescate para sitio HP-1 (Proyecto "Desarrollo Inmobiliario Macro Pilauco II, Etapa 1, Lote A"). Informe profesional para CEHP. Manuscrito.
- Cornejo, L. 2021. Análisis y propuesta de rescate de Talleres y Cocheras. Proyecto Línea 7. Informe profesional elaborado para Metro S.A. Manuscrito.
- Cornejo, L. 2024. Evaluación y propuesta de rescate de PE Linares. Proyecto Línea 9. Informe profesional elaborado para Metro S.A. Manuscrito.
- Cornejo, L., M. J. Figueroa y C. Carracedo. 2023. Toma de decisiones en la implementación de rescates arqueológicos: Remplazando cantidad por calidad. *Boletín de la Sociedad Chilena de Arqueología* 54: 202-226.
- Drennan, R. D. (2009). *Statistics for Archaeologists: A Common Sense Approach*. Springer, Nueva York.

- Drennan, R. D., y González Fernández, V. 2019. *Estadística para arqueólogos: Un enfoque de sentido común*. Ediciones Uniandes-Universidad de los Andes. Bogotá.
- Fernández, I. 2003. El diseño del tamaño muestral en estudios de mercado. *Esic Market* 114: 65-76.
- Fernández-Matías, R. 2023. El cálculo del tamaño muestral en ciencias de la salud: Recomendaciones y guía práctica. *Journal of Move and Therapeutic Science* 5(1): 481-503.
- Fisher, R. 1925. *Statistical Methods for Research Workers*. Oliver & Boyd, Edimburgo.
- Gallardo, F. y L. Cornejo 1986. El diseño de la prospección arqueológica: Un caso de estudio. *Chungara, Revista de Antropología Chilena* 16-17: 409-420.
- Kobayashi, H., B. Mark y W. Turin. 2012. *Probability, Random Processes, and Statistical Analysis: Applications to Communications, Signal Processing, Queueing Theory and Mathematical Finance*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Lai, K. y K. Kelley. 2011. Accuracy in Parameter Estimation for Targeted Effects in Structural Equation Modeling: Sample Size Planning for Narrow Confidence Intervals. *Psychological Methods* 16(2): 127-148.
- Neyman, J. y E. Pearson. 1933. The Testing of Statistical Hypotheses in Relation to Probabilities a Priori. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* 29(4): 492-510.
- Mueller, J. (ed.). 1975. *Sampling in Archaeology*. University of Arizona Press Tucson.
- Orton, C. 2000. *Sampling in Archaeology*. Cambridge University Press, Nueva York.
- Otzen, T. y C. Manterola. 2017. Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *International Journal of Morphology* 35(1):227-232.
- Riley, R., J. Ensor, K. Snell, F. Harrell, G. Martin, J. Reitsma, K. Moons, G. Collins y M. Van Smeden. 2020. Calculating the Sample Size Required for Developing a Clinical Prediction Model. *British Medical Journal* 368: 1-12
- Sharer, R. y W. Ashmore 1979. *Fundamentals of Archaeology*. Benjamin, Cummings, California.
- Shennan, S. 1992. *Arqueología cuantitativa*. Crítica, Barcelona.
- Spaulding, A. 1953. Statistical Techniques for the Discovery of Artifact Types. *American Antiquity* 18(4): 305-313.
- VanPool, T. y R. Leonard. 2011. *Quantitative Analysis in Archaeology*. Wiley-Blackwell, Oxford.
- Vescelius, G. 1960. Archaeological Sampling: A Problem in Statistical Inference. En: *Essays in the Science of Culture, in Honor of Leslie A. White*, editado por G. Dole y R. Carneiro, pp. 457-470. Crowell, Nueva York.