

COMPARACIÓN DE SIETE DISEÑOS DE UNIDADES DE MUESTREO SECUNDARIAS EN INVENTARIOS FORESTALES

Efraín Velasco Bautista¹, Francisco Moreno Sánchez¹
y Ricardo Rodríguez Piña²

RESUMEN

El objetivo del diseño de encuestas por muestreo es obtener información para la estimación de uno o varios parámetros poblacionales a un costo mínimo. El muestreo por conglomerados, donde la unidad de muestreo es una colección o conjunto de elementos, proporciona más información por unidad de costo que aquellos diseños en donde se utilizan unidades de muestreo solas. Si bien es cierto que el muestreo por conglomerados en dos etapas es de gran utilidad en los inventarios forestales regionales o nacionales, en México existen pocos estudios sobre la mejor configuración de las Unidades de Muestreo Secundarias (UMS) dentro de las Unidades de Muestreo Primarias (UMP) en términos de mayor precisión. Es por esta razón que se consideró conveniente comparar siete diseños diferentes de UMS dentro de UMP circulares de una hectárea y así poder determinar cual proporciona estimaciones más precisas. Para tal efecto se generó aleatoriamente en ArcView Versión 3.1 una población teórica de árboles en una superficie de 114.6 ha. Al evaluar el número de árboles, el área basal y el volumen, se concluyó que los mejores diseños, en términos del menor error relativo de muestreo, fueron aquellos donde las UMS forman una cruz y el diseño donde las UMS forman una T horizontal, mientras que en el diseño donde las UMS forman una Y invertida, se presentó el error relativo de muestreo más alto.

Palabras clave: Error relativo de muestreo, estimador de razón, inventarios forestales, muestreo por conglomerados, unidad de muestreo primaria, unidad de muestreo secundaria.

Fecha de recepción: 21 de agosto de 2003.

Fecha de aceptación: 08 de noviembre de 2004.

¹ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF), INIFAP. Correo-e: velasco.efrain@inifap.gob.mx

² Dirección General de Investigación Forestal, INIFAP.

ABSTRACT

The objective of the design of surveys by sampling is to obtain information, for the estimation of one or several parameters from the population, in a minimum cost. The cluster sampling, where the sampling unit is a collection or cluster of elements, provides more information by cost unit than those designs in which single units of sampling are used. Although it is certain that the two-stage cluster sampling, is very useful in the regional or national forest inventories, in Mexico exists few studies about the best configuration of the secondary sampling units (UMS) into the primary sampling units (UMP) in terms of greater precision. It's by this reason that it was considered advisable to compare seven different designs from UMS into circular UMP of one hectare, and thus to be able to determine which design provides more precise estimations. For such effect was generated a theoretical randomly population of trees in Arc View 3.1, in an area of 114.6 hectares. When evaluating the number of trees, the basal area and the volume, concluded that the best design, in terms of the smaller relative error of sampling, were the designs five (the UMS in form of a cross) and design two (the UMS in form of horizontal T), whereas the design one (the UMS in form of inverted Y) presented the higher relative error of sampling.

Key words: Cluster sampling, primary sampling unit, secondary sampling unit, relative sampling error, ratio estimator, forest inventories

INTRODUCCIÓN

La ventaja principal del muestreo por conglomerados en relación al muestreo aleatorio simple es la obtención de una mayor cantidad de información por unidad de costo (Scheaffer *et al.*, 1987). El empleo de este tipo de muestreo es común en inventarios forestales tanto de carácter regional como nacional.

En el Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994 de México se empleó un diseño de muestreo por conglomerados, integrado por grupos de tres parcelas circulares de 1000 m² ubicadas geométricamente en forma de L. Tanto los conglomerados como las parcelas que los integran se encontraban distribuidos sistemáticamente. La distancia entre las parcelas estaba en función del tipo de ecosistema, así pues en bosques fue de 150 m, mientras que en selvas fue de 200 m (SARH, 1994).

Dentro de los trabajos del Inventario y Monitoreo de los Recursos Naturales de Jalisco, Talavera *et al.* (2001) evaluaron tres tamaños de conglomerado y de sitios de muestreo considerando el número de árboles, el área basal y la proporción de géneros. Los diferentes diseños evaluados fueron:

1. Conglomerados de 90 x 90 m con sitios circulares de 100 m² (se muestrearon seis sitios de 5.64 m de radio).

2. Conglomerados de 30x30 m con sitios circulares de 78.54m² (se muestrearon cinco sitios de 5 m de radio).
3. Conglomerados de 150x150 m con 25 cuadros de 30x30 m (se muestrearon cuatro sitios circulares de 1000 m² dispuestos en forma de Y invertida).

Estos autores concluyeron que el diseño marcado con el número tres (sitios dispuestos en forma de Y invertida) resultó ser el óptimo.

En otros países se han empleado diversas formas geométricas de unidades muestrales en conglomerados en inventarios forestales, por ejemplo en Canadá, cuatro unidades de muestreo circulares localizadas en dos líneas perpendiculares constituían un conglomerado (Prodan *et al.*, 1997).

Scott (1991) evaluó varias configuraciones de conglomerados en un estudio de optimización. Concluyó que un diseño donde las unidades muestrales (0.017 ha) generan una Y invertida es el óptimo. Indicó que hay un ahorro de 18% en costos y que un conglomerado de este tipo puede ser observado en un día. Siete atributos de interés forestal fueron considerados.

Los diseños de muestreo por conglomerados referidos en las líneas anteriores son en esencia, tal y como lo señalan Zarnoch y Bechtold (2000), diseños de Muestreo por Conglomerados en Dos Etapas, en donde las Unidades de Muestreo Primarias (UMP) están definidas por un área geográfica que engloba a las parcelas, y las Unidades de Muestreo Secundarias (UMS) son las parcelas.

Dada la topografía de las áreas forestales es probable que en la obtención de la información de campo existan lugares inaccesibles, por lo que aun cuando las UMP estén integradas teóricamente por un número fijo de UMS, en la realidad algunas UMP pueden tener un número menor de tales unidades, originándose entonces UMP de tamaños diferentes, por ello es que, para la estimación de los parámetros de interés es apropiado usar un Estimador de Razón, en el cual se utiliza información de una variable auxiliar (denominador) que se supone correlacionada con la variable en estudio (numerador).

Para el empleo de un estimador de razón, tanto para la variable de interés como para la variable auxiliar, se suman todos los datos de las UMS y se considera el dato al nivel de UMP. Por otro lado, usualmente no hay interés en la variabilidad entre las UMS en la rutina de cálculo de datos de inventario, de manera que la única fuente de variación considerada es entre UMP (Scott y Bechtold, 1995; Bechtold y Zarnoch, 1999). En inventarios forestales este método posee la ventaja de proporcionar la estimación del parámetro de interés directamente por hectárea, ya que como se verá más adelante, la variable auxiliar es precisamente el área muestreada a nivel de UMP.

Por otra parte, al considerar como estimador la media global por UMS, y si se

supone muestreo aleatorio simple en ambas etapas, y si además, la fracción de muestreo a nivel primario se ignora, la varianza estimada de este estimador puede expresarse solamente en términos de la variabilidad de las UMP (Cochran, 1993). Asimismo, si en la segunda etapa el muestreo es sistemático, la varianza estimada de ese estimador, también considera únicamente la variabilidad entre las UMP (Sukhatme y Sukhatme, 1970).

La distribución sistemática de las unidades de muestreo ha demostrado ser superior en la práctica respecto a la distribución aleatoria, y empleando los estimadores del muestreo aleatorio, los resultados satisfacen el nivel de precisión esperado, siempre que la población no sea periódica en cuanto al valor de la variable que se evalúa. Además, si la población bajo estudio es aleatoria, es decir, los elementos están distribuidos al azar, el muestreo sistemático es equivalente al muestreo aleatorio (Scheaffer *et al.*, 1987). Estas consideraciones son de gran importancia, puesto que aun cuando se use un diseño sistemático, se pueden usar los estimadores del muestreo aleatorio para la estimación de los parámetros de interés.

A pesar de la utilidad del muestreo por conglomerados en los inventarios forestales, en dos etapas básicamente, en México existen pocos estudios sobre la mejor configuración de las UMS dentro de las UMP. Es por esta razón que se consideró conveniente realizar el presente trabajo, cuyo objetivo fue el siguiente:

Comparar siete arreglos geométricos diferentes de UMS dentro de las UMP, en términos del error relativo de estimación, y así poder determinar cual diseño proporciona estimaciones más precisas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Existen al menos dos maneras para la comparación de diseños diferentes de las UMS dentro de las UMP. La primera se refiere al establecimiento en el bosque de varios arreglos geométricos de UMS dentro de las UMP en una serie de conglomerados, la medición de algunas variables tipo, y la obtención de la estimación y de su error relativo. La segunda forma se refiere a la generación de una población hipotética de árboles y de valores de algunas de sus características, en la cual se establezcan varias configuraciones de conglomerados, se obtenga la estimación y su error relativo. En ambos casos el mejor diseño será aquel que presente el menor error.

En el presente estudio se decidió emplear la segunda forma, ya que además de que se pueden conocer los parámetros de interés (valores poblacionales) con cierta facilidad, el método demanda poco tiempo relativamente. Además, la evaluación de nuevos diseños es también una característica de este procedimiento. Las actividades desarrolladas en el trabajo fueron las siguientes:

Selección del área de estudio

Con el propósito de tener un área de estudio base, a partir de una cobertura digital de Vegetación y Uso de Suelo del D. F. se seleccionó un polígono de 114.6 ha (Figura 1). La selección de esta superficie obedeció a que el número de UMP en ella generadas, fue suficiente para llevar a cabo el estudio.

Generación aleatoria de puntos (árboles) definidos por coordenadas X y Y

Se generó una población aleatoria de puntos definidos por coordenadas X y Y que dio un total de 15,735 en la superficie de 114.6 ha. Cada uno de ellos equivale a un árbol, lo que representó una densidad de 137 árboles por ha (Figura 2).

Generación de alturas y diámetros normales de los árboles

Si bien es cierto que la población de árboles es hipotética, el diámetro normal y la altura total de cada uno de ellos deben estar relacionados y dentro de ciertos rangos lógicos. Para la asignación de estas características a cada uno de dichos árboles se procedió de la siguiente manera.

De los 15,735 árboles que integran a la población, a 4,038 se les asignó un diámetro y una altura total real, proveniente de una medición realizada en 1989 en el Campo Experimental Forestal San Juan Tetla, INIFAP. La especie considerada fue *Pinus montezumae* Lamb. Para el resto de los árboles de la población el diámetro normal fue generado aleatoriamente, considerando el valor mínimo y el máximo de los diámetros reales, mientras que la altura total se obtuvo mediante una ecuación de regresión tomando como variable independiente a los diámetros generados aleatoriamente. Para obtener la ecuación de regresión se consideró como variable dependiente (y) a la altura total real y como variable independiente (x) al diámetro normal real. La ecuación resultante fue $y = -42.792 + 18.881 \ln(x)$ con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.84.

Obtención de los valores de los parámetros de interés

El área basal de cada árbol de la población se obtuvo suponiendo una forma circular del mismo a la altura de 1.30 m a partir del suelo. Para la obtención del volumen de cada árbol, al producto del área basal (m^2) por la altura (m) se le aplicó un coeficiente de 0.7. Mediante la suma de todas las áreas basales y volúmenes individuales se obtuvo el área basal total y el volumen total (parámetros), respectivamente. El número total de árboles fue de 15,735.

Definición del diseño de muestreo

Se usó un Diseño de Muestreo por Conglomerados en Dos Etapas, donde las

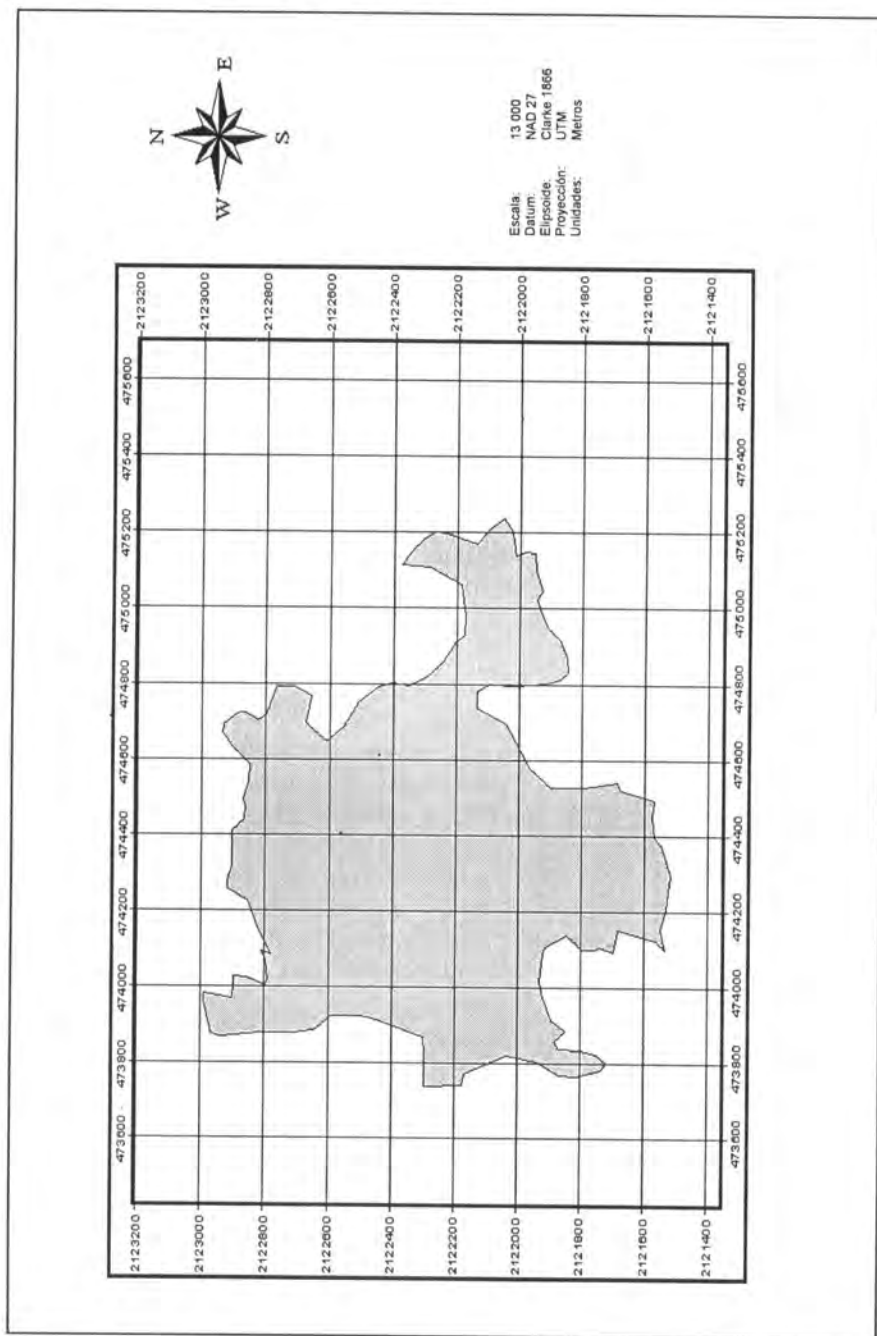


Figura 1. Área de estudio (114.6 ha).

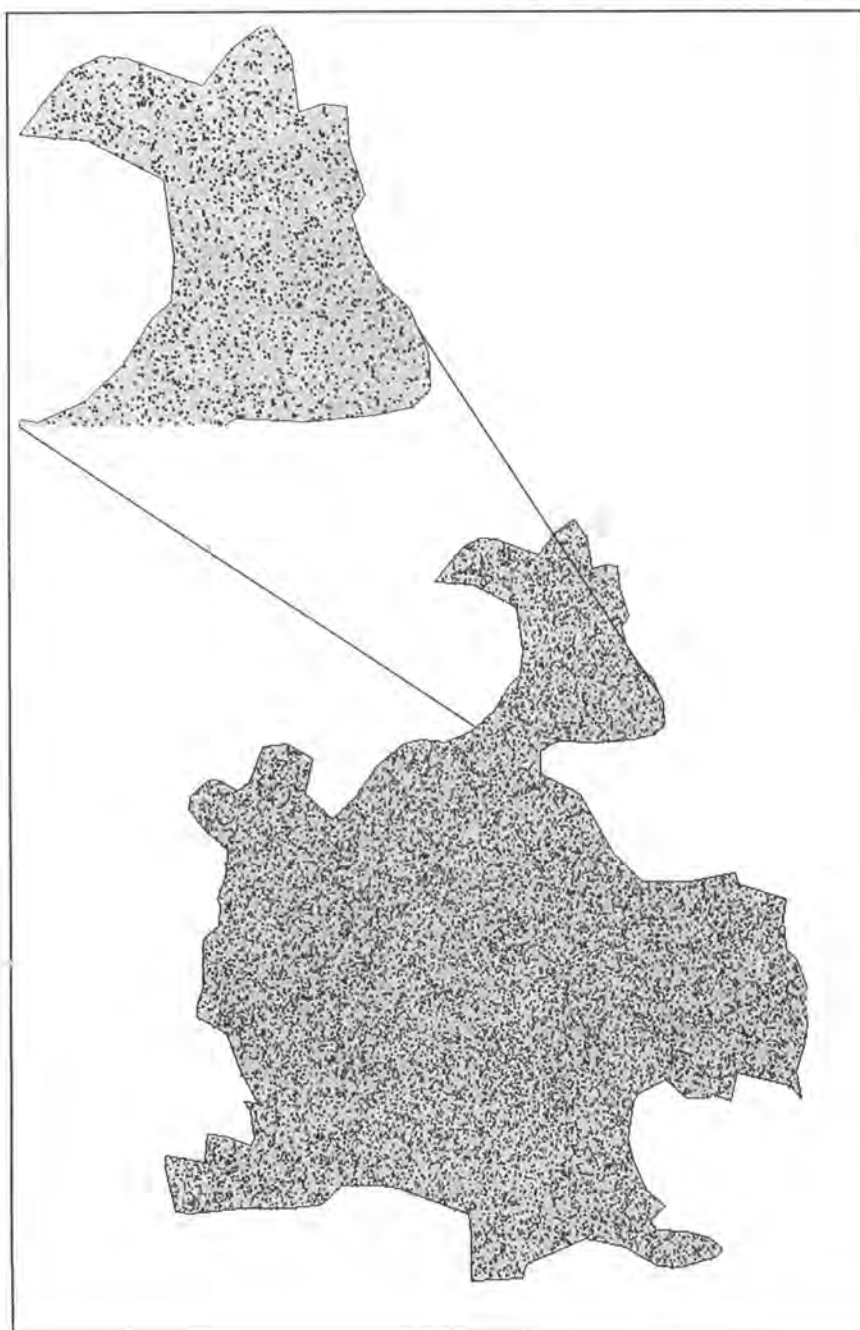


Figura 2. Árboles generados aleatoriamente.

UMP fueron seleccionadas al azar, mientras que las UMS siguieron un patrón espacial específico.

Generación del marco de muestreo y obtención de la muestra de UMP

Se tomó como UMP un área circular cuya superficie fuese de 1 ha (radio 56.42 m). Esto obedeció a que es relativamente sencillo construir el marco de muestreo de UMP en un área forestal determinada cuando se usan UMP de 1 ha, y que además probablemente no se gane mucha precisión al considerar UMP de mayor tamaño; de hecho, las parcelas grandes (plot) del Programa de Inventario Forestal y Análisis (FIA) y del Sistema de Vegetación Actual (CVS) de Estados Unidos son también de 1 ha (Schreuder y Geissler, 1999).

Los centros de las UMP estuvieron separados a una distancia de 112.84 m. Considerando un radio de 56.42 m se creó un círculo que delimitó cada UMP. El marco de muestreo estuvo integrado por 88 UMP perfectamente identificadas (Figura 3), a partir de las cuales se obtuvo una muestra aleatoria de tamaño 25 (Figura 4).

Generación de seis diseños de UMS dentro de las UMP

Tomando como referencia un diseño de cuatro UMS, circulares de 400 m² cada una, dispuestas espacialmente en forma de Y invertida dentro de una UMP de 1 ha (Figura 5a) (SEMARNAT, 2002) se generaron otros seis diseños (figuras 5b - 5g), algunos de los cuales, como el tres y el seis se han usado en la realidad. Ubicando geográficamente el centro de la UMP, mediante relaciones trigonométricas se determinaron espacialmente las UMS que caracterizan a cada diseño. Considerando un radio de 11.28 m a partir del centro de cada UMS, se generó un círculo que delimitó a dicha UMS. Todos los diseños se caracterizan porque las UMS se localizan a 45.14 m a partir del centro de la UMP, pero a diferentes azimuts.

Identificación de los árboles que pertenecen a cada uno de los siete diseños

Después de la delimitación de cada UMS se seleccionaron todos los puntos (árboles) comprendidos en cada una de ellas, es decir, aquellos individuos que estuvieran dentro de la distancia de 11.28 m, posteriormente estos árboles se asignaron a las diferentes UMS mediante la unión de sus respectivas bases de datos. Estas actividades se realizaron para los distintos diseños bajo estudio (Figura 6).

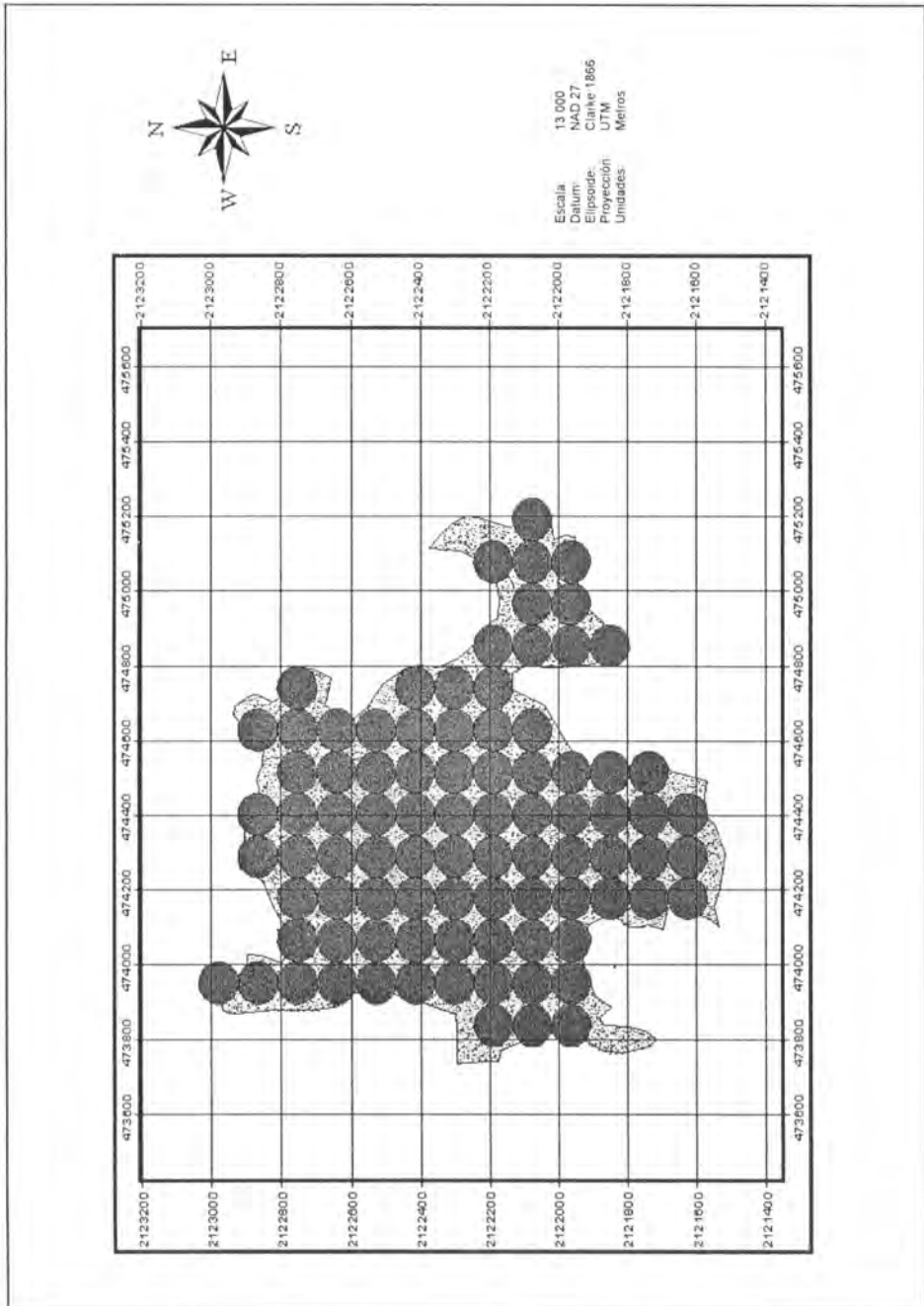


Figura 3. Marco de muestreo de UMP.

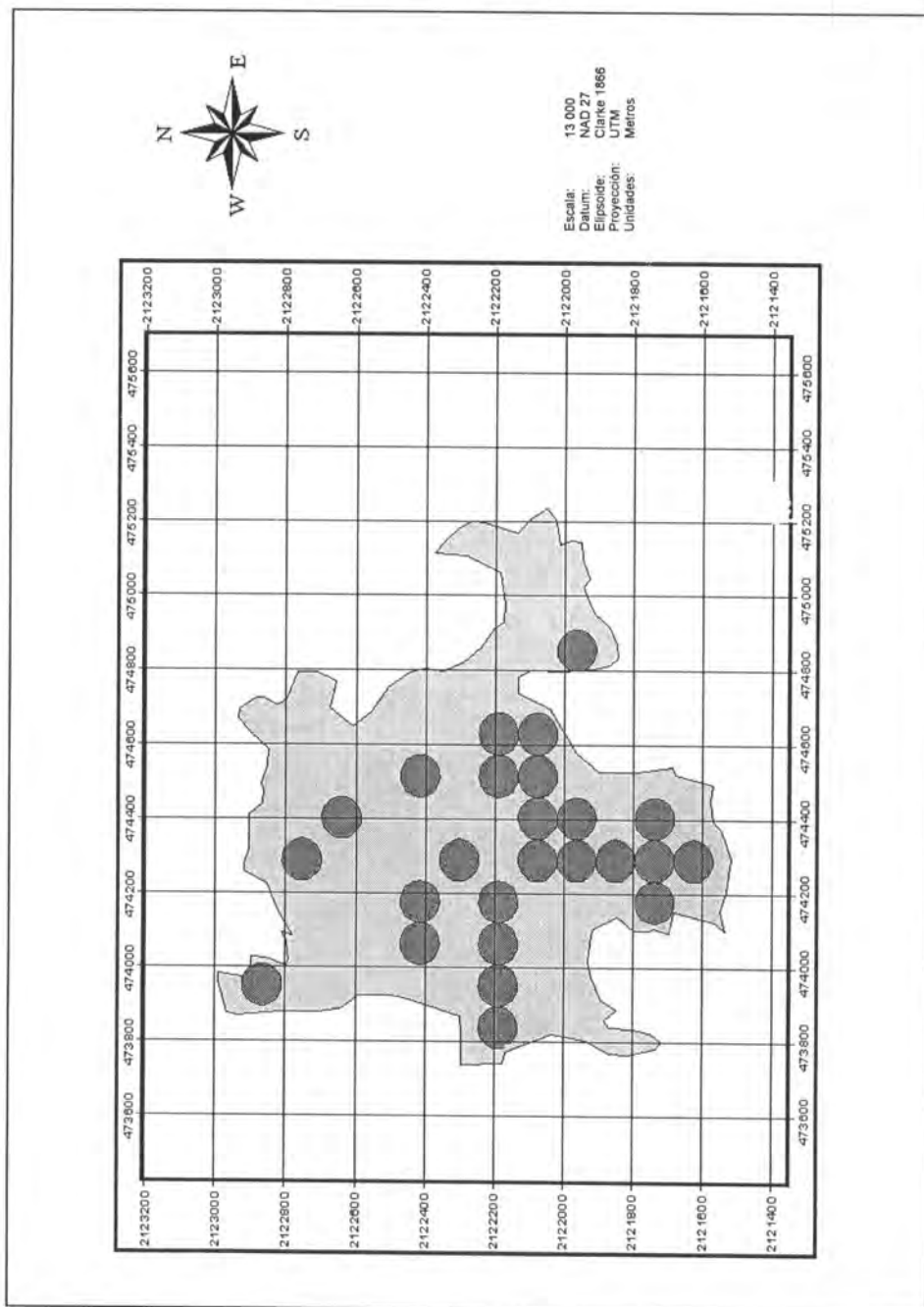


Figura 4. UMP seleccionadas aleatoriamente (muestra).

Figura 5. Diseños evaluados de UMS dentro de las UMP.

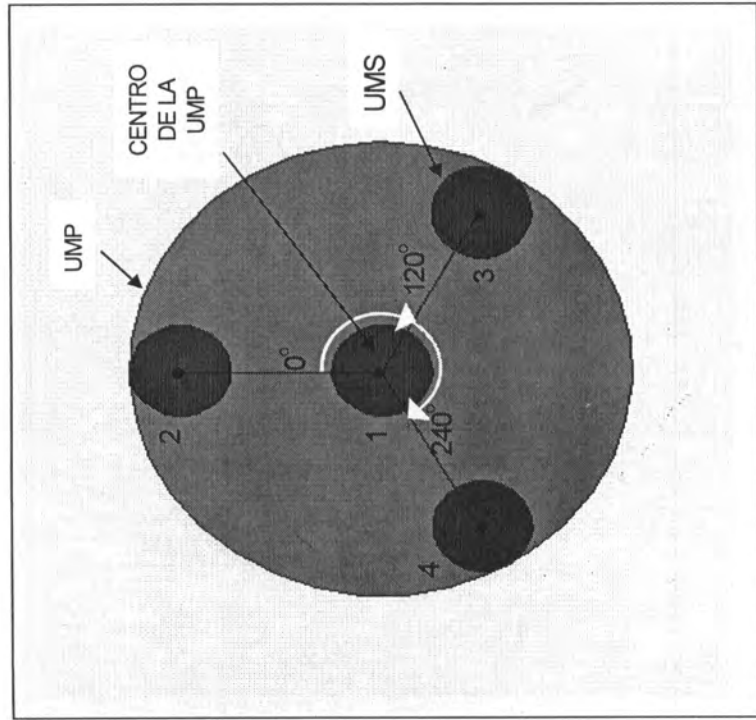


Figura 5a. Diseño 1 (Y invertida).

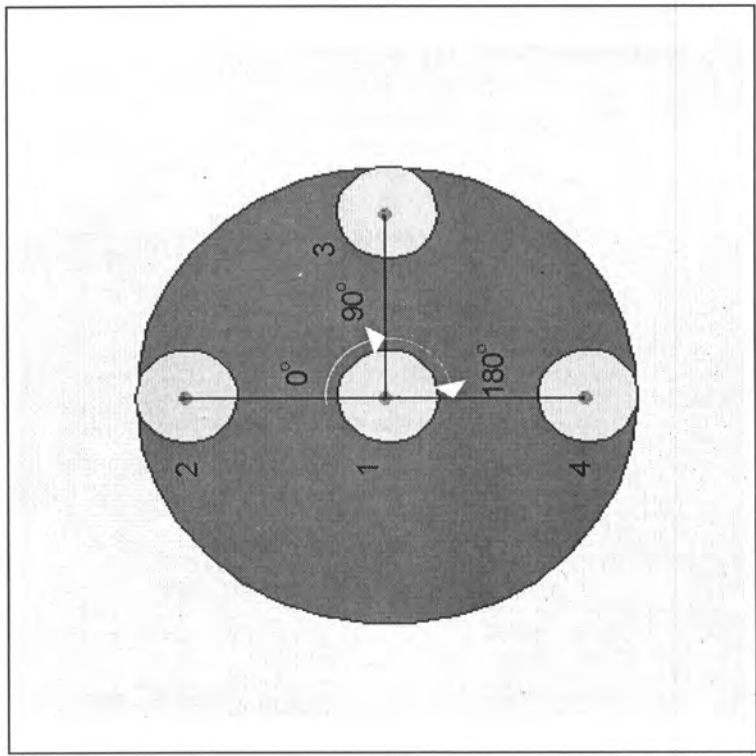


Figura 5b. Diseño 2 (T horizontal).

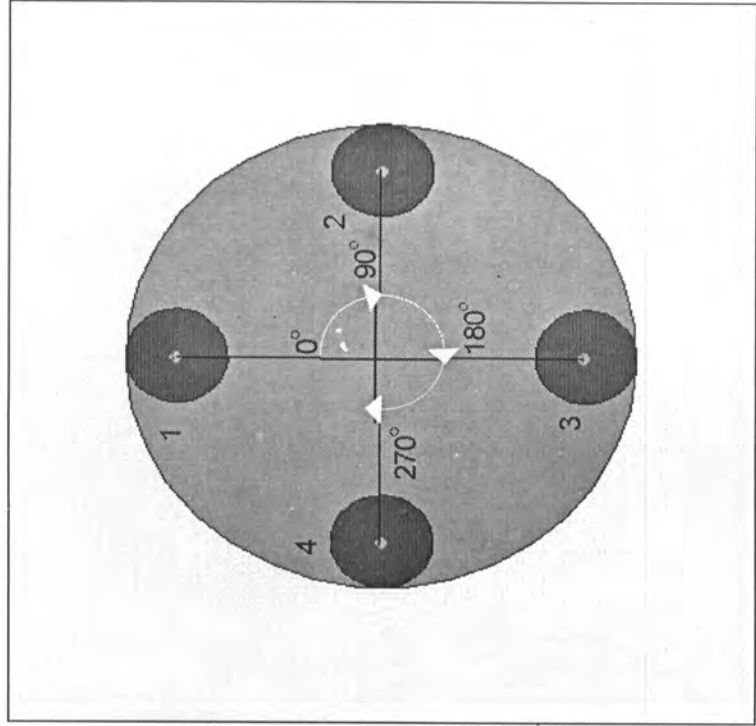


Figura 5c. Diseño 3 (cruz).

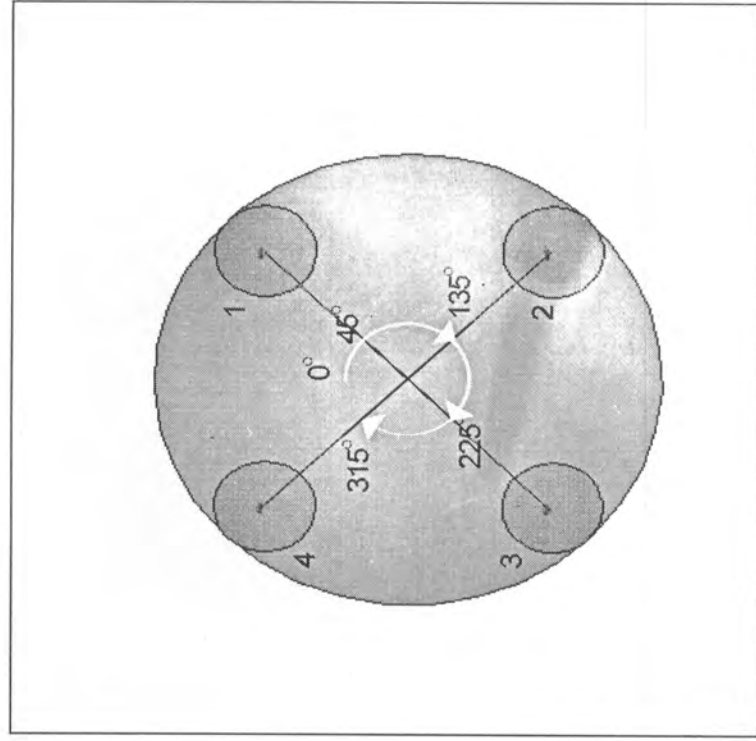


Figura 5d. Diseño 4 (X).

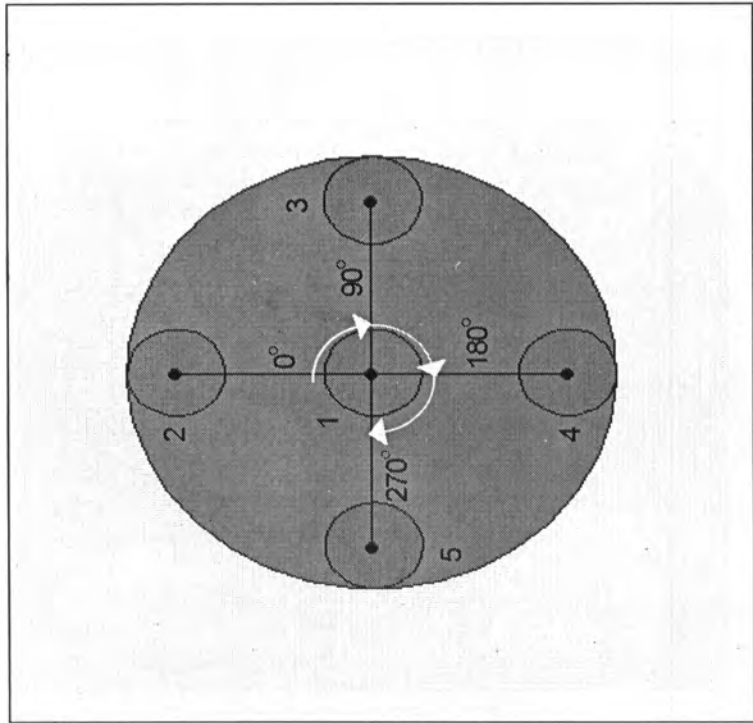


Figura 5e. Diseño 5 (cruz).

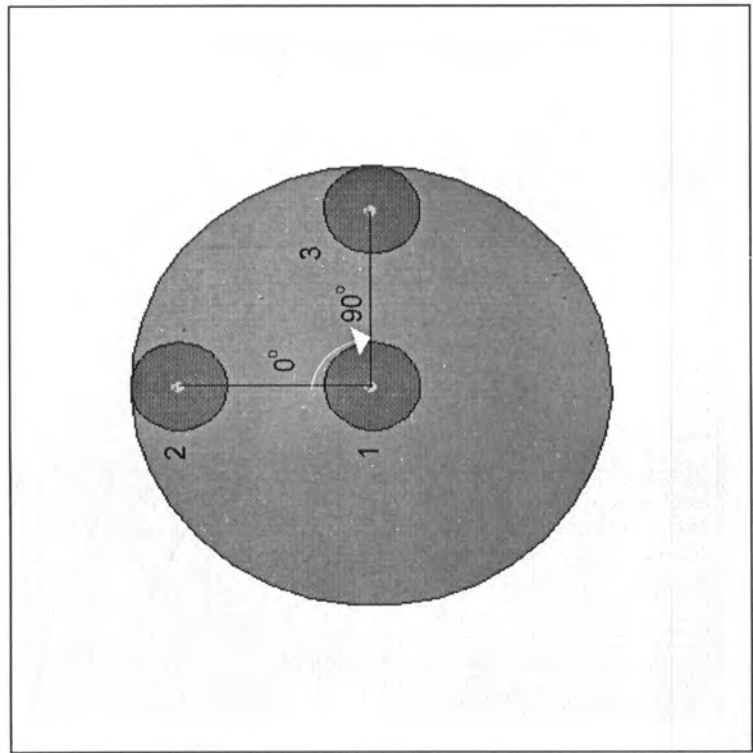


Figura 5f. Diseño 6 (L).

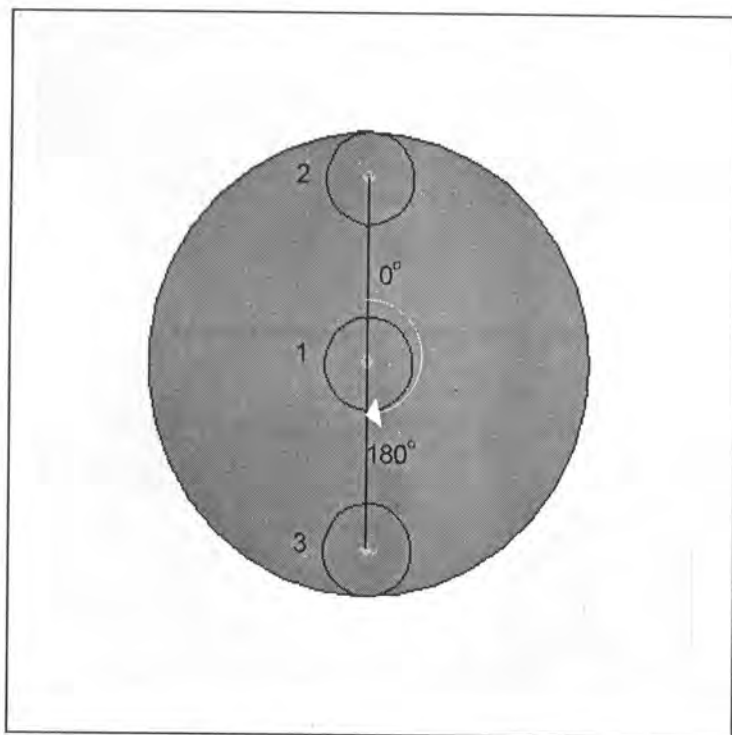


Figura 5g. Diseño 7 (línea).

Para la generación de la población hipotética de árboles, el marco de muestreo de las UMP y los diseños de UMS, así como la selección de los árboles incluidos en los diferentes diseños evaluados, se utilizó ArcView Versión 3.1.

Para la generación de las alturas y diámetros normales, la obtención de los valores de los parámetros y las estimaciones, se empleó SAS para Windows Versión 6.12 y Excel.

Obtención de estimaciones del total (para el número de árboles, área basal y volumen) y errores de muestreo relativos

Dada la configuración geométrica de las UMS en los diferentes diseños estudiados, la estimación del número de árboles, el área basal y el volumen total se puede obtener al menos de las tres maneras siguientes:

1. Adicionar los datos de las UMS, considerar el resultado a nivel UMP y utilizar un estimador de razón.

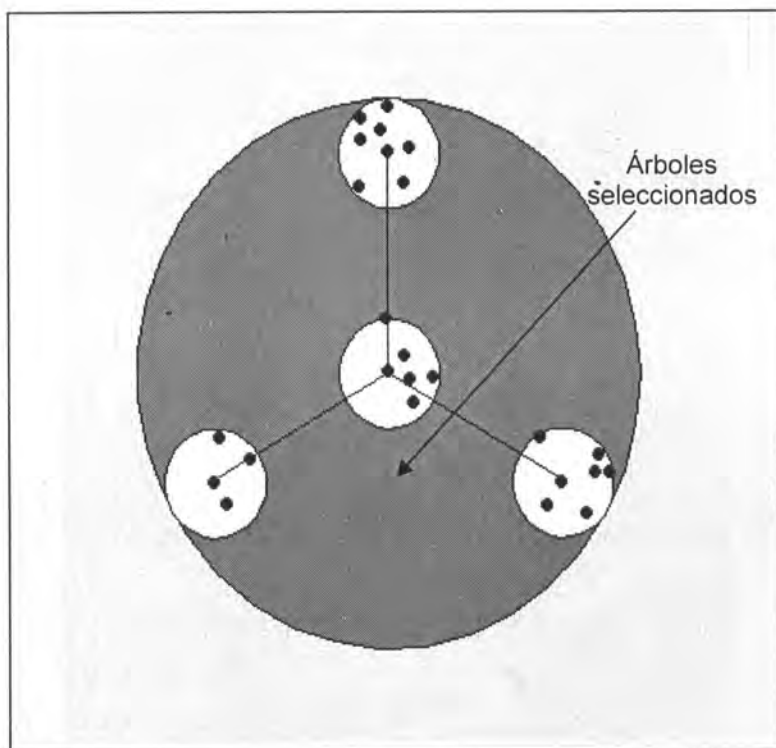


Figura 6. Árboles seleccionados en las UMS.

2. Adicionar los datos de las UMS, considerar el resultado a nivel de UMP y utilizar un estimador de media.
3. Considerar los datos a nivel de UMS y utilizar un estimador de media de medias.

Como en el presente estudio las UMP son del mismo tamaño, a primera vista parecería que la segunda y tercera formas son las más indicadas, sin embargo, al considerar como variable de interés el número de árboles, el área basal y el volumen, y como variable auxiliar el área muestreada, la primera forma tiene la ventaja de proporcionar la estimación directamente por unidad de superficie, permitiendo la estimación del total casi de manera inmediata. Por otra parte, el estimador de razón es insesgado, cuando se aplica a situaciones en donde las unidades de muestreo son iguales (Scheaffer *et al.*, 1987), y de hecho al ignorar el factor de corrección por finitud, mediante las tres maneras se obtienen los mismos errores de muestreo. Cochran (1993) indica que ignorar el factor de corrección

en la varianza estimada de un estimador de media de medias es útil cuando el submuestreo es sistemático.

Por lo anterior, para la estimación del número de árboles, el área basal y el volumen en las 114.6 ha se utilizó un estimador de razón, el cual de acuerdo con Cochran (1993) está dado por la siguiente expresión:

$$\hat{\theta} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i} * A = \hat{R} * A \quad (1)$$

Donde:

$$\hat{R} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i}$$

- $\hat{\theta}$ = Estimador para el número de árboles, el área basal o el volumen
- $y_i = \sum_{j=1}^m y_{ij}$ = Número de árboles, el área basal o el volumen de la UMP i
- y_{ij} = Número de árboles, el área basal o el volumen en la UMS j de la UMP i
- $x_i = \sum_{j=1}^m x_{ij}$ = Superficie muestreada (ha) de la UMP i
- x_{ij} = Superficie de la UMS j de la UMP i (0.04 ha)
- A = Superficie forestal objeto de estudio (114.6 ha)
- n = Número de UMP seleccionadas aleatoriamente (25)
- m = Número de UMS evaluadas en la UMP i (4)

La varianza estimada de (1) está dada por la siguiente expresión:

$$\hat{V}(\hat{\theta}) = A \left(\frac{1}{n(n-1)x^2} \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 + R^2 \sum_{i=1}^n x_i^2 - 2R \sum_{i=1}^n y_i x_i \right) \right) \quad (2)$$

Suponiendo normalidad, un intervalo de confianza para θ , al 95% de confiabilidad, basado en $\hat{\theta}$ será:

$$\hat{\theta} - 2 \left(\hat{V}(\hat{\theta}) \right)^{0.5} \leq \theta \leq \hat{\theta} + 2 \left(\hat{V}(\hat{\theta}) \right)^{0.5} \quad (3)$$

Donde:

$\hat{\theta}$ = Parámetro de interés o valor poblacional para el número de árboles, área basal o volumen.

El número 2 de la expresión (3) obedece a que en una distribución normal, el 95% de las observaciones está comprendido entre dos desviaciones estándar por arriba y por abajo de la media.

Un elemento importante para la comparación de los siete diseños evaluados fue el error relativo de muestreo, el cual de acuerdo con Pérez (2000) se define como la razón entre la desviación típica del estimador y su valor esperado, es decir, mediante el coeficiente de variación del estimador, cuya expresión es la siguiente:

$$CV \left(\hat{\theta} \right) = \frac{\left(V \left(\hat{\theta} \right) \right)^{0.5}}{E \left(\hat{\theta} \right)} \quad (4)$$

Donde:

$E(\hat{\theta})$ = Es la esperanza matemática del estimador $\hat{\theta}$

En este estudio se utilizó el error relativo estimado, puesto que en el denominador de la expresión anterior se utilizó el valor obtenido con (1) y en el numerador la varianza obtenida mediante (2).

Si la varianza del estimador $\hat{\theta}$ se considera como una medida que cuantifica la concentración de las estimaciones alrededor de su valor medio, resulta lógico que el diseño que presente el menor error relativo de muestreo sea el mejor.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presentan las estimaciones puntuales y por intervalo, obtenidas con un coeficiente de confiabilidad del 0.95, para cada variable evaluada en los diferentes diseños analizados. Es interesante observar, para esta muestra en particular, que para las tres variables bajo estudio, el intervalo de confianza en cada uno de los siete diseños comprende el parámetro o valor verdadero, el cual para el número de árboles es de 15,735, el área basal de 4,088.1 m² y el volumen de 106,230.1 m³.

En el cuadro anterior se observa que la amplitud del intervalo de confianza es diferente en los siete diseños analizados, para cada una de las variables estudiadas, misma que depende de la varianza del estimador, es decir, a mayor varianza, la amplitud del intervalo es también mayor.

Por otra parte, dado que el error relativo de muestreo varía directamente con la varianza del estimador, a una mayor amplitud del intervalo en general se tiene un mayor error relativo de muestreo, por lo que aquellos diseños con errores más pequeños serán mejores respecto a aquellos con errores más altos. En este sentido, a continuación se indican los mejores diseños considerando cada una de las variables objeto de estudio.

Para la variable número de árboles, los diseños cinco y dos, presentaron los errores relativos de muestreo más bajos, con valores de 3.4 y 3.8%, respectivamente. El resto de los diseños presentaron valores superiores al 4%, destacando el diseño tres con 4.7% y el diseño uno con 5% (Figura 7).

Para el caso del área basal, los errores relativos de muestreo menores se obtuvieron mediante el diseño cinco con 4.3% y el dos con 4.5%. Los errores de muestreo más altos se obtuvieron con los diseños siete y uno, con valores de 5.6 y 6.2%, respectivamente (Figura 7).

Nuevamente, para el caso del volumen, en términos del menor error relativo de muestreo sobresalió el diseño cinco con 4.6% y el dos con 4.9%. Los valores más altos, 6 y 6.6%, corresponden respectivamente a los diseños seis y uno (Figura 7).

Cabe señalar que las estimaciones puntuales, por intervalo y los errores relativos de muestreo, se obtuvieron empleando las expresiones (1), (3) y (4), respectivamente.

Cuadro 1. Estimaciones puntuales y por intervalo para el número de árboles, el área basal y el volumen para los siete diseños evaluados considerando $n = 25$ UMP.

Variable	Estadísticos	Diseños evaluados						
		1	2	3	4	5	6	7
No. de árboles	Límite inferior	14,026	14,789	14,118	14,328	14,539	14,293	14,859
	Límite superior	17,158	17,197	17,066	17,257	16,691	16,967	17,777
	Estimación puntual	15,592	15,993	15,592	15,793	15,615	15,630	16,318
Área basal (m ²)	Límite inferior	3,633.6	3,984.3	3,645.2	3,542.9	3,808.5	3,861.9	3,983.4
	Límite superior	4,662.3	4,769.2	4,479.8	4,244.0	4,518.4	4,819.0	4,980.1
	Estimación puntual	4,148.0	4,376.7	4,062.5	3,893.4	4,163.5	4,340.4	4,481.7
Volumen (m ³)	Límite inferior	93,340.0	103,284.6	94,006.9	90,259.2	98,313.3	99,862.7	103,112.0
	Límite superior	121,957.7	125,559.8	116,696.1	110,161.9	118,421.1	127,393.6	131,125.1
	Estimación puntual	107,648.9	114,422.2	105,351.5	100,210.5	108,367.2	113,628.2	117,118.6

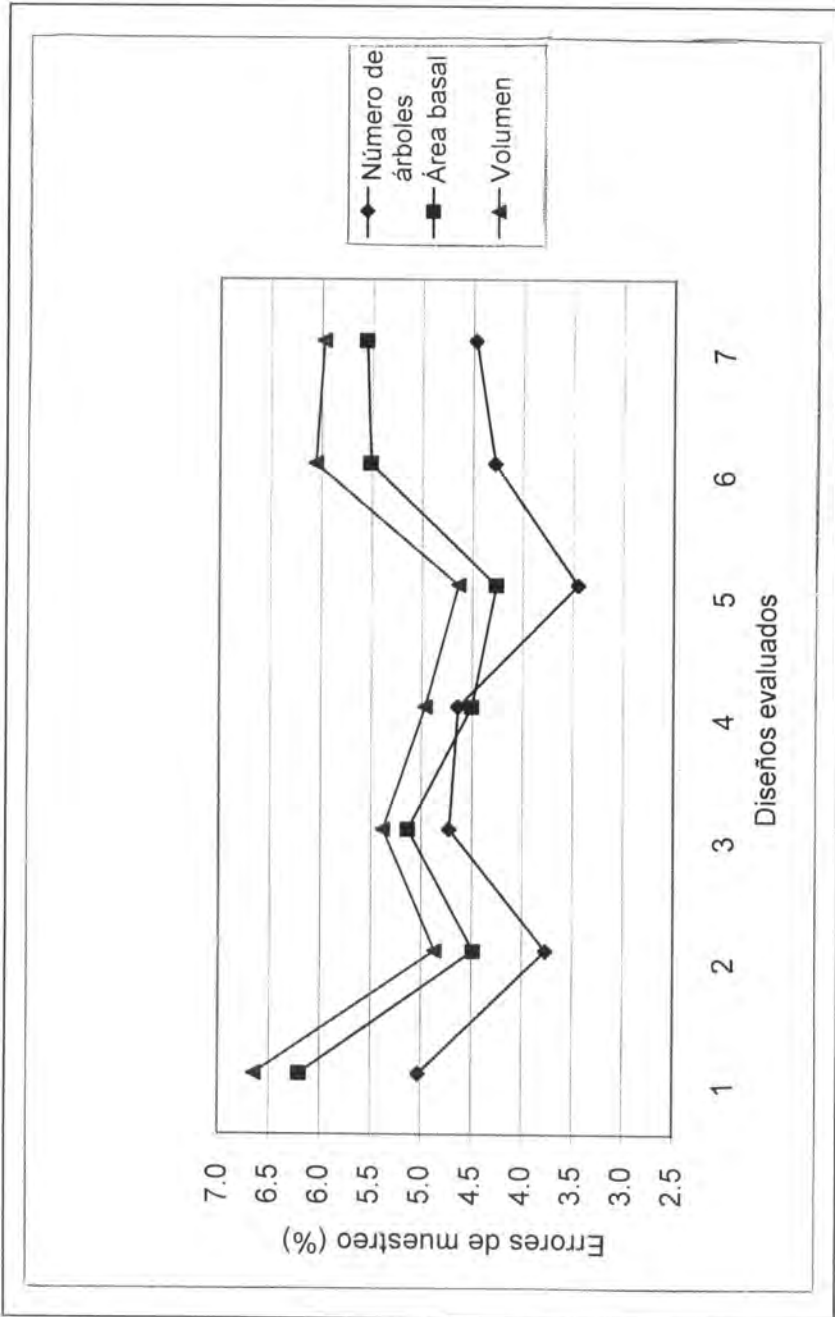


Figura 7. Errores relativos de muestreo para cada variable analizada por cada diseño evaluado.

Se puede observar que la configuración geométrica de las UMS en los diseños dos y cinco, influye para que éstos resulten ser los mejores en términos del menor error relativo de muestreo, de hecho, salvo por la UMS número cinco, del diseño cinco, pueden considerarse parecidos. La inclusión de esta unidad muestral contribuye en una reducción del error de muestreo en menos del 0.5%.

Los resultados de este estudio indican que el diseño uno, aquél en donde las UMS están dispuestas geoméricamente en forma de Y invertida, presenta el error relativo de muestreo más alto, es decir, no es el óptimo, lo cual no coincide con los resultados encontrados por Talavera *et al.* (2001). Esto se debe a que los diseños que ellos evaluaron incluyen UMS de varios tamaños, desde 78.32 m² hasta 1,000 m², inclusive la superficie real muestreada en el diseño de la Y invertida es de 4,000 m².

Es importante señalar que en ningún caso el error relativo fue superior al 7%, inclusive los diseños seis y siete, que son los que tienen el menor número de UMS, presentaron errores relativos de muestreo menores que el diseño uno, lo cual significa que no es tan grave el empleo de uno u otro modelo en una situación práctica.

En relación a lo anterior, al utilizar un diseño sencillo como el siete, no se pierde mucha precisión, sin embargo, se ahorra tiempo en el trazo de las unidades de muestreo en campo.

CONCLUSIONES

Considerando el número de árboles, el área basal y el volumen, los diseños con los errores relativos de muestreo menores, resultaron ser el cinco y el dos, mientras que el diseño con el valor más alto fue el número uno.

Dado que en ningún caso el error relativo de muestreo fue superior al 7%, desde el punto de vista estadístico no importa el empleo de uno u otro diseño, sin embargo, desde el punto de vista práctico, diseños como el uno, dos, cinco, seis y siete, son preferibles, ya que consideran la evaluación de la UMS ubicada en el centro de la UMP.

Se observa que los diseños seis y siete, aun cuando sólo tienen tres UMS, presentan errores relativos de muestreo menores que el uno, el cual contiene cuatro UMS.

En la precisión de la estimación, influye más la configuración geométrica de las UMS que el número de ellas, claramente con el diseño dos se obtienen estimaciones más precisas que con el uno, aun cuando ambos tengan cuatro UMS.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Dr. Miguel Acosta Mireles, investigador del Campo Experimental Valle de México del INIFAP, por haber proporcionado los datos de diámetros y alturas que se utilizaron como base en el presente trabajo.

Asimismo, de manera muy especial a los Doctores Hugo Ramírez Maldonado y Octavio Magaña Torres, de la Dirección General de Investigación Forestal del INIFAP, por sus atinadas sugerencias en la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- Bechtold, W. A. and S. J. Zarnoch. 1999. Field methods and data processing techniques associated with mapped inventory plots. *In*: Aguirre-Bravo, C. y C. Rodríguez F. (Comp.): North american science symposium: Toward an unified framework for inventorying and monitoring forest ecosystem resources. USDA-Forest Service. Fort Collins, USA. pp. 421-424.
- Cochran, W. G. 1993. Técnicas de muestreo. Compañía Editorial Continental. México. 513 p.
- Prodan, M., R. Peters, F. Cox y P. Real. 1997. Mensura forestal. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 561 p.
- Pérez L., C. 2000. Técnicas de muestreo estadístico. Teoría, práctica y aplicaciones informáticas. Alfaomega Grupo Editor. México. 603 p.
- Scheaffer, R. L., W. Mendenhall y L. Ott. 1987. Elementos de muestreo. Trad. por Rendón S., G. y J. R. Gómez A. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 321 p.
- Scott, C.T. 1991. Optimal design of a plot cluster for monitoring. *In*: Rennolls K. y G. Gertner (Eds.): The optimal design of forest experiments and forest surveys. IUFRO. The University of Greenwich. pp. 233-242.
- Scott, C.T. and W. A. Bechtold. 1995. Techniques and computations for mapping plot clusters that straddle stand boundaries. *For. Sci. Monogr.* 31:46-61.
- Schreuder, H. T. and P. H. Geissler. 1999. Plot designs for ecological monitoring of forest and range. *In*: Aguirre-Bravo, C. y C. Rodríguez F. (Comp.): North american science symposium: Toward an unified framework for inventorying and monitoring forest ecosystem resources. USDA-Forest Service. Fort Collins, USA. pp. 180-185.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1994. Inventario nacional forestal periódico 1992-1994. México. 81 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. Muestreo y procesamiento de información de campo del inventario nacional forestal 2000-2002. Primera etapa. Regiones hidrológicas Lerma-Santiago y Pánuco. México. 53 p.

- Sukhatme, P.V. and B. V. Sukhatme. 1970. Sampling theory of surveyys with applications. Iowa State University Press. USA. 452 p.
- Talavera Z., E., L. A. Alonso T., J. G. Flores G. y A. Martínez M. 2001. Efecto del tamaño del sitio en la precisión de inventarios forestales. Tu bosque 26:12-15.
- Zarnoch, S. J. and W. A. Bechtold. 2000. Estimating mapped-plot forest attributes with ratios of means. Can. J. For. Res. 30:688-697.