

***Teoria y Aplicaciones del Sistema de Muestreo de Probabilidad
Proporcional a la Prediccion (3P) *****

***Traduccion y Adaptacion: Ing. Ftal. Francisco Andres CARABELLI
Catedra de Dasometria y Ordenacion Forestal
Departamento de Ingenieria Forestal
Facultad de Ingenieria - Universidad Nacional de la Patagonia***

Junio 1993

***** Basado en el Apunte "3P Sampling. A Simple Introduction", preparado
por el Dr. Kim ILES, Nanaimo. British Columbia, Canada. Diciembre de 1992.***

INDICE

<i>INTRODUCCION.....</i>	<i>3</i>
<i>LA MECANICA DEL INVENTARIO.....</i>	<i>3</i>
<i>CALCULO DEL VOLUMEN DEL INVENTARIO.....</i>	<i>4</i>
<i>ESTADISTICAS QUE EMPLEA EL SISTEMA.....</i>	<i>5</i>
<i>Error de muestreo.....</i>	<i>5</i>
<i>Problemas de Sesgo.....</i>	<i>7</i>
<i>Tablas de Existencias.....</i>	<i>8</i>
<i>Tablas de Rodal.....</i>	<i>8</i>
<i>Estratificación.....</i>	<i>9</i>
<i>Area de Relevamiento.....</i>	<i>10</i>
<i>SELECCION DE LOS ARBOLES MUESTRA.....</i>	<i>10</i>
<i>El término K+Z</i>	<i>12</i>
<i>RECIENTES MEJORAS A LOS METODOS DE MUESTREO 3P.....</i>	<i>13</i>
<i>FLUJO DEL PROCESO 3P.....</i>	<i>16</i>
<i>Antes del Inventario.....</i>	<i>16</i>
<i>Trabajo de Campo.....</i>	<i>17</i>
<i>Trabajo de Gabinete.....</i>	<i>17</i>
<i>Bibliografía de Consulta.....</i>	<i>18</i>

APUNTES SOBRE LA TEORIA Y APLICACIONES DEL SISTEMA DE MUESTREO DE PROBABILIDAD PROPORCIONAL A LA PREDICCIÓN (3P)

INTRODUCCION

El Muestreo 3P significa "Probabilidad Proporcional a la Predicción". lo cual quiere decir que los árboles se eligen para el muestreo con una frecuencia proporcional a su volumen predicho. La idea de este muestreo de carácter probabilístico fue introducida por Leo Grosenbaugh. La principal ventaja del muestreo 3P es la altísima precisión de la respuesta obtenida, a un costo bajo y con un pequeño tamaño de muestra. La razón por la que esta precisión puede lograrse es que aunque los operarios tengan poca experiencia pueden estimar los volúmenes de los árboles o bien algo proporcional a estos con un razonable grado de exactitud.

Kim Iles, quien posee una larga experiencia en la práctica de este sistema y al que hemos seguido en esta exposición en forma muy estricta, nos advierte que la facilidad de su implementación no debe hacernos cometer el error de creer que podemos medir volumen maderable o volumen de madera, como él lo llama. Expresa que este es sólo el uso más reciente de una larga lista de usos y es justamente el uso más frecuente de este sistema en la silvicultura.

La filosofía del sistema radica en la consistencia de las estimaciones por un lado y en la exactitud de las mediciones por el otro. En efecto, en una primera fase no nos importa cuan lejos estamos de la respuesta correcta. Lo que realmente interesa es que la estimación sea consistentemente alta o consistentemente baja pero no que la hagamos variar arbitrariamente en uno u otro sentido. En una segunda fase del proceso, se crea una razón de corrección [valor medido/valor estimado]. Estas dos respuestas dependen por supuesto una de otra. Si la estimación tiende a ser alta -es decir, a sobrestimar-, la razón será baja y viceversa, pero juntas darán la respuesta correcta.

Entonces, la idea básica del muestreo 3P es:
Primero: un grupo completo rápido de estimaciones.
Segundo: Creación y aplicación de una razón de corrección.

Desde un punto de vista estadístico esta misma filosofía se resume en:

- a) estimar muchas veces para reducir el error de muestreo.
- b) medir unas pocas veces para eliminar el sesgo.

LA MECANICA DEL INVENTARIO

Cómo se hace el inventario usualmente?

En una primera fase se hace una rápida estimación para cada árbol, en el área de inventario. Esto significa llevar la cuenta de qué árboles han sido estimados y usualmente se hace

con líneas de hilo o marcas temporales. Esto hace que, en el presente, el uso del muestreo 3P esté restringido a 3 situaciones básicas:

- 1) Inventarios de pequeña superficie, donde el acceso a cada árbol no significa un problema.
- 2) Inventarios de marcación, donde igualmente hay que ir a cada árbol.
- 3) Inventarios "100%", política a la que actualmente está abocado al Comité de Manejo de Tierras de Estados Unidos.

La clave de esta fase es la VELOCIDAD. Las estimaciones deben hacerse rápidamente y luego registrarse en forma inmediata. Si se invierte mucho tiempo y esfuerzo en cada árbol, el sistema pierde mucho de sus ventajas. El volumen del árbol puede estimarse en CUALQUIER unidad, dado que estas unidades se suprimen en la segunda fase. Grosenbaugh denominó KPI al volumen estimado.

En una segunda fase algunos árboles se seleccionan para ser cuidadosamente medidos. La decisión de medir un árbol se toma, usualmente, inmediatamente después de estimar el volumen del árbol. Las unidades que se usen para medir estos árboles muestra determinarán las unidades para el volumen de todo el inventario. Es esencial tener cuidado en esta etapa porque los patrones usados y la precisión con la que son aplicados son luego extendidos a toda la superficie. Normalmente, el número de árboles muestra es pequeño por lo tanto hay tiempo suficiente para hacer correctamente las mediciones. Para cada árbol muestra se calcula la siguiente razón de corrección:

$$R_i = \left[\frac{\text{Volumen medido}}{\text{Volumen estimado}} \right]$$

CALCULO DEL VOLUMEN DEL INVENTARIO

Las razones de corrección individuales se promedian para formar la razón de corrección del inventario. Si la estimación se ha hecho "bien", estas razones estarán muy cercanas entre sí, lo cual no quiere decir que estén próximas a 1. Es completamente válido que sean muy altas o bajas pero el técnico debe ser consistentemente alto o bajo, es decir sobrestimador o subestimador.

El volumen del inventario se calcula como:

$$\text{Vol. Invent.} = \left[\begin{array}{l} \text{Suma de estimaciones de} \\ \text{todos los árboles en el} \\ \text{área} \end{array} \right] * \left[\begin{array}{l} \text{Razón de corrección} \\ \text{promedio} \end{array} \right]$$

$$V = \left[\begin{array}{c} N \\ \sum_{i=1} (KPIi) \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} n \\ \sum_{i=1} (Ri) \\ \hline n \end{array} \right]$$

La obtención del volumen de un inventario 3P es así de simple. En la práctica se pondrá en evidencia que la mayoría de los árboles muestra tienden a ser grandes. Esto quiere decir que los árboles son seleccionados para el grupo muestral en proporción a sus volúmenes estimados. En otras palabras, si los árboles de la clase diamétrica 40-50 cm constituyen el 20% del volumen del rodal, entonces aproximadamente 20% del número de árboles muestra estará en un tamaño entre 40-50 cm de dap.

ESTADISTICAS QUE EMPLEA EL SISTEMA

Cuán buena es la respuesta?

Esta pregunta tiene dos partes:

1) Cuán buena es la respuesta si se ha hecho todo bien y sólo la posibilidad de tener una mala muestra está atentando contra nosotros? Esto es simplemente una cuestión estadística.

2) Cuán propensos estamos a cometer un error en el procedimiento y a tener dicho error oculto que las estadísticas no mostrarán? Esta es una cuestión práctica que concierne a cualquier sistema de inventario.

Error de muestreo

El volumen del inventario es igual a la suma de todas las estimaciones por la razón de corrección promedio. Nosotros sabemos que la suma es correcta simplemente porque hemos ido a cada árbol en el área de inventario, por lo tanto sabemos que esta parte de la ecuación no tiene error de muestreo. La única parte en duda es la razón de corrección promedio. Entonces, estaremos tan seguros del volumen final como lo estemos de esta razón de corrección.

Si esta se conoce dentro de $\pm 5\%$, nuestro volumen de inventario se conoce dentro de $\pm 5\%$.

Todas las estadísticas dependen, en consecuencia, de las razones de los árboles muestra.

Es importante dar respuesta a las siguientes preguntas:

1) Cuán variables son las razones en si mismas?

Esto nos dirá que tan bien ha sido hecho el trabajo de estimación, y posteriormente será útil en el cálculo de los tamaños de muestras.

2) Cuán variable es el promedio de estas razones?

Esto nos dirá cuán bueno es nuestro inventario y se espera que mejore en tanto aumente el número de mediciones de árboles muestra.

Calcularemos el primer estadístico como la "Desviación Estandar" de las razones de corrección. La fórmula es:

$$DS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{n-1}}$$

o bien:

$$DS = \sqrt{\frac{\sum (R_i)^2 - \frac{\left[\sum_{i=1}^n R_i \right]^2}{n}}{n-1}}$$

Este valor se expresa a menudo como un porcentaje del promedio y se conoce como "Coeficiente de Variación" (CV). La fórmula es:

$$CV = (DS/\bar{R}) * 100\%$$

Si fuera de 20% (valor que es razonable para el muestreo 3P), significaría, toscamente hablando, que 2/3 de las razones de corrección caen dentro de 20% de la razón promedio. Este valor "2/3" (68% es más correcto) viene de las áreas que integran la "curva normal" estadística.

El Coeficiente de Variación es groseramente constante para cualquier tamaño de muestra, toda vez que no podemos esperar mejorarlo sobre razones de corrección individuales tomando más de ellas. Cuanto más pequeño se vuelva este valor mejor habrá sido hecho el trabajo de estimación y menor será el número de árboles que deben ser medidos cuidadosamente. Es muy importante tener esto presente.

El segundo estadístico a calcular es el "Error Estandar" que algunas veces se denomina "Error de Muestreo". Este describe cuán variable es la razón de corrección promedio.

$$ES = DS/n$$

Como puede observarse este valor disminuirá a medida que aumente el número de mediciones. Cuanto más se muestree (si estamos haciendo bien las cosas) mejor será la respuesta promedio. El ES también se expresa a menudo como un valor porcentual.

$$ES\% = (ES/\bar{R}) * 100\%$$

Si el ES es de 2% esto significa (nuevamente hablando toscamente) que estamos (2/3 o, 66%) seguros que nuestra razón de corrección promedio está en un entorno de 2% de la respuesta verdadera. En un inventario 3P esto quiere decir que estamos 66% seguros que el volumen estimado del inventario en el rodal está dentro de $\pm 2\%$ del que hubiéramos obtenido midiendo cada árbol en el rodal tan cuidadosamente como lo hicimos con los árboles muestra. Si deseamos estar 95% seguros de que incluimos la respuesta correcta deberíamos usar el "valor de t" (usualmente alrededor de 2 veces el error de muestreo). En este ejemplo diríamos que estamos 95% seguros que el promedio verdadero está dentro de $\pm 4\%$ de la respuesta que encontramos con nuestro inventario.

Problemas de Sesgo

Estas estadísticas nos dicen el alcance de un posible error debido a efectos aleatorios cuando todo el trabajo se ha hecho correctamente. Pero, qué errores somos capaces de contabilizar debido a cosas que estamos haciendo incorrectamente? Seguramente, debemos haber perdido árboles durante el inventario, o hemos estimado algunos dos veces. Esta es generalmente una pequeña consideración y probablemente nos dé un error más pequeño que aquel que tenemos en el área de medición durante inventarios normales ("convencionales"). El único problema de sesgo serio sucede usualmente durante la medición de los árboles muestra, especialmente en la asignación de volúmenes de calidad inferior debido a defectos internos. Debemos recordar que la respuesta del inventario 3P brinda el volumen del rodal como si hubiéramos medido todos los árboles del mismo modo en que hemos medido los árboles muestra. Si hay un sesgo en la medición del árbol muestra, éste se expandirá a todos los árboles.

Los primeros ensayos de inventario 3P utilizaron un Dendrómetro Optico Barr & Stroud para el conjunto de mediciones de alta precisión, pero aún así permanecían los problemas de evaluación de daños y defectos internos. Estos problemas llevaron a la Agencia de Manejo de Tierras de Oregon al uso del "Inventario Apeo, Trozado y Clasificación". En resumen, si deseamos conocer el verdadero volumen del árbol debemos apearlo, trozarlo de acuerdo con las prácticas corrientes y clasificar los rollizos.

Tablas de Existencias

La idea básica es que el número de árboles muestra refleja la proporción de volumen en cada clase. Si 1/3 de los árboles muestra está en la clase de 35-40 cm, entonces aproximadamente 1/3 del volumen del área se halla en esta clase de tamaño. En fórmula:

$$\frac{\text{Nº de árboles muestra en la clase X}}{\text{Nº total de árboles muestra}} * (\text{Volumen Total Area}) =$$

= Volumen en la clase X

Tablas de Rodal

Dado que conocemos el volumen en cada clase diamétrica podemos fácilmente encontrar el número de árboles. Primero, debemos encontrar el volumen promedio de los árboles en esa clase de tamaño. Usualmente los árboles muestra 3P son la fuente de información. Luego, el número de árboles en la clase se calcula como:

$$\frac{\text{Volumen de la clase}}{\text{Volumen del árbol medio de la clase}} = \text{Nº de árboles en esa clase}$$

No deberían esperarse excelentes resultados con este método, dado que tenemos pocos árboles muestra. Si una tabla de rodal o de existencias es de real importancia, deberíamos considerar tomar otra variable o parcelas de muestreo de área fija para adicionar al inventario 3P. Si el estimador está usando el dap en sus estimaciones de los volúmenes de árboles individuales, puede registrarlos durante el inventario. Este camino permitirá obtener automáticamente una tabla de rodal. Esta no es una forma teóricamente correcta de crear una tabla de rodal, pero con una muestra de tamaño pequeño los resultados serán probablemente superiores. Podemos corregir esta "tabla de rodal estimada" comparando los valores de dap estimados y reales para los árboles muestra y chequeando si el estimador ha sido consistentemente alto o bajo.

Si se desea tener respuestas más precisas con el muestreo 3P existen dos chances:

- 1) Medir más árboles muestra (esta es la única opción con la mayoría de los sistemas de muestreo).
- 2) Hacer un mejor trabajo de estimación de los volúmenes de árboles. Por "mejor" se entiende más consistente.

Estratificación

Existe una buena razón para no haber discutido este tema hasta el momento. En el inventario 3P en el cual se usa una estimación consistente, se elimina toda consideración de variación entre árboles. Esto ocurre porque el único aspecto que nos concierne es la razón de corrección entre volumen medido y estimado. Alguna gente podría decir que en el muestreo 3P "cada árbol es su propio estrato". Dado que estamos tratando con razones en lugar de volúmenes de árboles, sólo necesitaríamos la estratificación cuando esperamos que algunas razones difieran como un grupo de otras que conformarían otro grupo. Hay unas pocas situaciones en que esto podría ocurrir o donde deseáramos estratificar por otra razones además de la precisión estadística. Estas situaciones podrían ser:

1) Para separar especies. Esto significa tener un registro de la suma de estimaciones para cada especie. Usualmente, también queremos tener las razones muestrales separadas por especie dado que estas razones pueden tener un promedio diferente que aquellas de otras especies. Esto permite hacer varios inventarios 3P al mismo tiempo.

2) Por la intervención de distintos estimadores. Grupos de razones de corrección pueden también diferir porque hay varias personas adivinando el KPI, por lo que podríamos considerar las estimaciones y los árboles muestra de cada individuo como un estrato particular. Esta situación se presentó en una experiencia local realizada en el área de Lago Fontana, Pcia. del Chubut y se optó por considerar tantos estratos como distintos individuos habían efectuado las estimaciones y mediciones.

3) Por falta de consistencia en la estimación. Puede ocurrir que el estimador no sea muy consistente en un rango de diámetros, entonces podrían considerarse como estratos a grupos de clases diamétricas. En otras palabras, un estimador puede ser altamente consistente (aunque siempre sobrestime o subestime) en el grupo de clases comprendido entre 20-50 cm de dap, pero puede tener serias dificultades para mantener la consistencia en el grupo de clases entre 51-90 cm de dap. También puede ocurrir con clases de altura. De todos modos, cuando las distintas medidas que pueden ser estimadas de un árbol deben ser estratificadas por estas razones, es una admisión que el procedimiento de estimación debe ser mejorado.

4) Por realización de un inventario 100%. Para especies raras o situaciones especiales podemos tener árboles "seguros de ser medidos". Cada uno de estos es cuidadosamente medido y los cálculos se realizan separadamente para el inventario 3P. Esto también se efectúa donde aparecen árboles más grandes que el valor "K".

Area de Relevamiento

Uno de los aspectos más atractivos del inventario 3P es que no se basa en la superficie de la región a ser inventariada. Las respuestas que se obtienen no están basadas en la hectárea, pero dan el volumen del área directamente. Esto sirve para eliminar una fuente de error como así también los costos adicionales de determinar la superficie.

SELECCION DE LOS ARBOLES MUESTRA

Uno de los modos de seleccionar los árboles muestra en forma proporcional a su tamaño estimado es comparar el estimado con un número aleatorio. Grosenbaugh hizo esta sugerencia en el primer trabajo que escribió sobre este sistema. El método dibuja un número aleatorios entre 1 y algún límite superior (llamado $K+Z$) por convención) cuando se visita cada árbol. El árbol es seleccionado para muestreo si su volumen Estimado es Mayor o Igual que el número Aleatorio. Se sugiere considerar las iniciales resaltadas como regla nemotécnica de fácil aplicación en el campo (EMIA). Este camino de probabilidad de selección es proporcional a la predicción del volumen del árbol.

Supongamos que $K+Z$ (el término usado para denominar el número aleatorio más grande) es 100. Un árbol con un estimado de 20 tiene una chance de 20% de ser mayor o igual que algún número aleatorio tomado de este rango de 0 a 100. Un volumen estimado de 40 tiene dos veces esta probabilidad de ser muestreado. La probabilidad presente de cualquier árbol de ser seleccionado para su cuidadosa medición es:

$$\left[\frac{KPI_i}{K+Z} \right] = \left[\frac{\text{Estimación para el árbol}}{N_{\text{aleatorio más grande posible}}} \right]$$

Cómo se calcula y controla el tamaño de la muestra ?

El próximo problema es cómo calcular el tamaño de la muestra y cómo usarlo para determinar $K+Z$. Como un ejemplo, asumamos que el coeficiente de variación para nuestras razones de corrección, obtenido de anteriores inventarios, ha sido de 20% y que continuará siendo aproximadamente el mismo en futuros inventarios. La fórmula usual para calcular el tamaño de la muestra es:

$$E\% = (CV * t) / \sqrt{n} \quad \text{o} \quad n = (CV * t)^2 / E\%^2$$

Si a un 95% de intervalo de confianza ($t \approx 2$) queremos tener un error de muestreo de $\pm 6\%$, el tamaño deseado de la muestra será:

$$n = 20\%^2 * 2^2 / 6\%^2 = 44.4 \text{ árboles muestra}$$

En consecuencia deberíamos elegir un número aleatorio máximo de modo tal que podamos seleccionar 45 árboles durante el inventario. Como están estos relacionados? vimos que la chance de selección estaba dada por $(KPI_i/K+Z)$ para cada árbol en el área. En una serie de comparaciones la chance de selección de un árbol se iría sumando a medida que fuéramos avanzando.

$$\left[\frac{KPI1}{K+Z} \right] + \left[\frac{KPI2}{K+Z} \right] + \left[\frac{KPI3}{K+Z} \right] + \dots + \left[\frac{KPI \text{ último árbol}}{K+Z} \right] = ne$$

donde ne es el tamaño esperado de la muestra.

Usemos algunos números para ejemplificar: de un inventario de 5 árboles, con $K+Z$ igual a 100 tendremos:

$$\begin{aligned} \Sigma (KPI_i/K+Z) &= 12/100 + 24/100 + 80/100 + 37/100 + 8/100 = \\ &= 1.61 \text{ árboles muestra} \end{aligned}$$

Esto significa que la comparación entre estos 5 volúmenes estimados y números aleatorios entre 1 y 100 y usando nuestra regla de selección (EMIA) nos conduciría a tomar dos de ellos como árboles muestra.

En términos generales, la fórmula de interés es:

$$ne = \left[\frac{N \sum_{i=1} KPI}{K+Z} \right]$$

Si conocemos que tamaño de muestra queremos y el valor aproximado de ΣKPI antes del inventario, podemos calcular el número $K+Z$ que necesitamos. Entonces, a partir de la fórmula anterior tenemos:

$$K+Z = \frac{\text{Suma esperada de estimaciones}}{ne} = \left[\frac{\Sigma KPI}{ne} \right]$$

Para un inventario, necesitaríamos tantos números aleatorios como árboles hay en la superficie de relevamiento, dado que cada número aleatorio será usado sólo una vez.

El término K+Z

Una simple modificación al procedimiento ayudaría a simplificar el trabajo de campo. Supongamos que sabemos que ningún árbol tendrá un volumen estimado mayor que 90. De este modo, también sabemos que cualquier número aleatorio mayor que 90 rechazará el árbol para ser utilizado como muestra, cuando ambos resulten comparados el estimado con el aleatorio. Podríamos ahorrar algo de tiempo haciéndole decir a la computadora cuando ocurriría esta situación. Así, podría imprimir un símbolo especial (digamos *) en todos los casos que un aleatorio fuera mayor de 90 y evitaríamos hacer muchas comparaciones. Llamaremos "K" al máximo valor estimado del árbol. Habrá, en consecuencia "Z" números aleatorios con valores entre K y el máximo número aleatorio. Cada uno de estos será reemplazado por nuestro símbolo especial *. Este es el modo en que el término "K+Z" viene a ser usado para el máximo número aleatorio y explica claramente la significancia del valor "Z" que otros autores (Bell J. Dillworth J.: 1990) denominan "el número de chances de exclusión de la variable estimada xi por encima del valor "K". Entonces, la escala por la cual los números aleatorios son seleccionados luce como:

(K)	(K+Z)
1 2 3 4 5 6 7 890	* * * * * **
K posibles números de ser comparados con volúmenes de árboles para <u>posible</u> selección	Con los símbolos * sabemos que los árboles <u>no habrían sido</u> muestreados

"K+Z"

Representa el rango de aleatorios que son elegidos para controlar el tamaño de la muestra

Qué ocurre si K es pobremente estimado?

Si el valor de K es sobrestimado (mayor que el mayor valor de KPI presente en el área) no hay problema. El único efecto es que tendremos que comparar unos pocos números aleatorios más con los valores KPI. Desde un punto de vista estadístico, esta situación no causa problemas.

Si el valor de K es subestimado (tiende a ser menor que alguno/s de los valores KPI) tenemos problemas. El efecto es que los árboles más grandes serán considerados con igual probabilidad, en lugar de serlo con una probabilidad proporcional a su KPI lo que sí produce problemas estadísticos. Si esto sucede, la situación se puede manejar de dos modos:

- 1) Considerar a todos los árboles con un KPI mayor que K como árboles "seguros de ser medidos" y manejarlos como un inventario separado y convencional de 100%. Sus KPI no deben incluirse en el inventario 3F.

2) Llevar una pequeña lista adicional, creada para usar el mismo valor $K+Z$, pero con todos los números aleatorios (sin símbolos especiales) y emplearla sólo en caso de tener que estimar un KPI mayor que el valor K de nuestra primera lista.

Control exacto del tamaño de la muestra

Normalmente no tenemos el tamaño exacto de la muestra que queremos. Si tener un tamaño de muestra exacto es realmente importante, existe un modo de asegurarlo. Podemos usar un valor de tamaño esperado de la muestra superior al que pretendemos y eliminar, en forma aleatoria los árboles muestra precedentes. Este método es teóricamente correcto, pero significa que debemos marcar los árboles muestra para encontrarlos posteriormente. No hay un modo simple de adicionar árboles a la muestra sin tener que repetir el inventario entero, por lo tanto conviene tener un número mayor de ellos y no uno menor.

Qué sucede si la predicción de la suma de estimaciones es incorrecta?

En este caso el único problema es que se ve afectado el tamaño esperado de la muestra. Si nuestra predicción es menor el tamaño de la muestra será demasiado bajo (dado que nos quedaremos sin árboles antes de lo que esperábamos). En la mayoría de los casos conviene estar a cubierto y predecir en forma conservadora la suma de estimaciones, dirigida a lograr unos pocos árboles muestra extra, los que eventualmente pueden eliminarse.

RECIENTES MEJORAS A LOS METODOS DE MUESTREO 3P

Uno de los problemas prácticos más grandes en el muestreo 3P es el de la estimación del volumen de cada árbol en el área. La mayoría de los artículos y explicaciones sobre este muestreo, establecen que cada árbol "debe ser visitado". Esto no es estrictamente cierto, y es una de esas afirmaciones "casi verdaderas" que ocasionalmente ciega a los investigadores. Lo que debe obtenerse es la suma de las estimaciones, lo cual representa una pequeña pero vital diferencia. Cómo podemos obtener la suma de las estimaciones sin adicionar todos los individuos? No existen métodos realmente buenos para hacer esto en la actualidad, pero al menos ésta es la pregunta correcta.

Existen intentos recientes. Uno de ellos plantea usar las áreas de terreno como la suma de las estimaciones (porque es fácil de medir) y asignar una porción de la superficie de terreno a cada árbol. El método sugerido consiste en formar un polígono alrededor de cada árbol con un determinado equipo de reglas. Estos polígonos cubren completamente el área, pero no se superponen. Mediante diseños de distinto peso se trata de permitir que las áreas de los polígonos se vuelvan

proporcionales a los volúmenes de los árboles, para luego usar estas áreas poligonales como valores KPI.

Esto permite que el muestreo 3P se practique en áreas muy extensas, dado que no es necesario visitar cada árbol. Para elegir un árbol muestra en forma proporcional a su volumen estimado, se elige un punto en el área y se muestrea el árbol dentro de aquel polígono. Actualmente, estos polígonos presentan razones de corrección variables ($CV \approx 70\%$) y requieren el uso de tamaños de muestra alrededor de 10 veces superiores a aquellos usados normalmente en el muestreo 3P y comparables a las parcelas de área fija y variable.

Es posible que con una buena estratificación esto pueda ser reducido ligeramente y posiblemente pueda lograrse un mejor diseño que permita usar a la base de terreno como suma de las estimaciones. Lógicamente, el paso es equivalente a ir de un sistema de inventario que mide promedio de volumen por árbol (lo que significa que deben contarse todos los árboles para conseguir el volumen total del inventario) a un sistema que mide volumen por parcela (donde sólo se necesita el área de terreno para conseguir el volumen del inventario).

Si esto puede ser bien hecho, le permitirá al sistema 3P operar sobre extensas superficies de terreno y eliminar gran parte de los tiempos y costos involucrados. Desafortunadamente, la separación de especies con este sistema no parece práctica.

Otro problema de menor importancia es cómo elegir los árboles muestra con el menor esfuerzo y aún poder usar tablas de volumen locales con el máximo poder predictivo. Muchos inventarios son realizados usando DAP² o tablas de volumen, pero no es conveniente tanto calcular el valor de KPI en el campo, como memorizarlo. Afortunadamente, este problema se resuelve fácilmente.

Consideremos el ejemplo usando $DAP^2 = KPI$. Cuando la computadora toma el número aleatorio para compararlo contra el KPI, hagámosle imprimir la raíz cuadrada de aquel número aleatorio. Así, en el campo, sólo es necesario comparar el DAP contra un número de la lista. Los DAP se registran por clase diamétrica, pero no son cuadratizados y sumados hasta llegar a la oficina.

Podemos preferir usar el volumen de nuestra tabla local como KPI, pero sin la molestia de averiguarlo en cada caso. En esta situación, hay que almacenar la tabla local de volumen en la computadora, considerar el número aleatorio creado como el volumen del árbol e imprimir el DAP asociado. En el campo sólo se compara el DAP del árbol con el número de la lista. Se guarda una cuenta de los DAPs y los valores de KPI se averiguan más tarde en la oficina. Esta técnica simplifica el trabajo de campo a la vez que hace más consistentes las estimaciones. Además, si la estimación de diámetros es razonablemente buena, se origina automáticamente una tabla de rodal.

Otro uso prometedor del muestreo 3P se halla en la actualización de la información de parcelas de muestreo permanentes. En lugar de remedir todas las parcelas permanentes, el crecimiento es estimado en cada una, luego se hace una selección 3P de parcelas y solamente algunas son remedidas. Probablemente, un método muy similar al muestreo 3P, llamado "muestreo por listas" es más deseable en esta aplicación.

Se han hecho varios intentos para utilizar el muestreo 3P en aplicaciones a gran escala. Estos se clasifican, groseramente, en dos categorías:

1) Usar el 3P para "limpiar" un inventario convencional barato y "sucio". Una aplicación mostrará la idea. En cada punto de parcela variable se hace un rápido recorrido con un prisma y se estima el número total de trozas de los árboles contados. Este es el valor de KPI para ese punto. Sobre la base de estos valores KPI se elige un punto ocasional para la exacta medición, lenta, cuidadosa y cara de los árboles contados con el prisma. El concepto es que se pueden usar más puntos porque de este modo (usando este sistema) son enormemente más baratos y el incremento de variabilidad es menor.

2) Usar el 3P como una etapa en un inventario multietápico. Usualmente se usa para "medir" un rodal de madera el cual es usado como una "parcela" en un sistema de muestreo más grande. Esto permite la estimación de rodales a partir de fotos aéreas dentro de límites de terreno fácilmente establecidos, seguidos por el uso del muestreo 3P para "medir" estas áreas.

Queda todavía un gran esfuerzo de trabajo por hacer para que el sistema 3P sea más práctico para los dasómetros de campo.

FLUJO DEL PROCESO 3P

Antes del Inventario

■ ■ Decida que valores medidos son importantes, para que patrones de medición y para que precisión estadística (E% y valor de t)



■ ■ Asegúrese que los árboles muestra pueden ser exactamente medidos para esos valores



■ ■ Decida cuán rápidamente se puede estimar algo que podría estar consistentemente relacionado con aquel valor medido



■ ■ Estime la variabilidad de la razón de corrección [valor medido/valor estimado]. El Coeficiente de Variación de la razón es la forma más conveniente



■ ■ Calcule el tamaño esperado de la muestra mediante la fórmula:

$$n = (CV * t)^2 / E\%^2$$



■ ■ Prediga cual será la suma de todas las estimaciones del inventario



■ ■ Calcule el valor K+Z por la fórmula:

$$K+Z = \Sigma KPI / ne$$

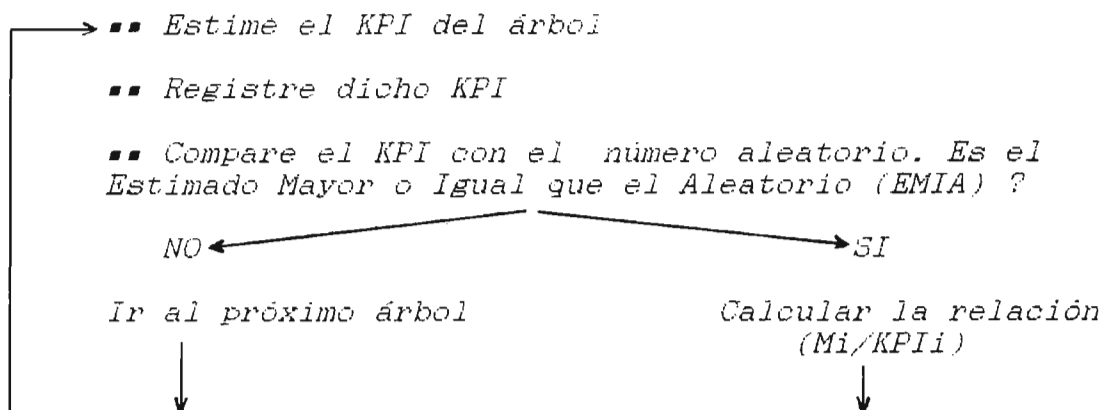


■ ■ Genere números aleatorios desde 1 a K+Z. Usted necesita uno de estos números para cada estimación que haga durante el inventario

OPCIONAL: acuerde que los números aleatorios mayores que el mayor valor KPI sean impresos con un caracter especial. Esto ahorrará tiempo en el campo.

Trabajo de Campo

•• Determine algún modo de visualizar y registrar los árboles de modo de visitarlos sólo una vez



Continuar hasta que cada árbol en el área ha sido visitado.

Trabajo de Gabinete

•• Cuál es el volumen del área?

$\Sigma KPI * \text{Razón de corrección promedio} = \text{Volumen del área}$

•• Cuál es el error de muestreo ?

Usted estará tan seguro del volumen del inventario como lo esté de la razón de corrección promedio. El error estandar porcentual le dará la precisión del inventario

•• Construya una tabla de existencias. Base este cálculo en el porcentaje de árboles muestra encontrados en cada clase durante el inventario

•• Construya una tabla de rodal, derivada de la tabla de existencias dividiendo a esta por el volumen del árbol medio en cada clase

•• Chequee el CV para ver si la estimación es consistente. Observe cuales razones son demasiado diferentes para detectar problemas.

Puede el estimador estar mejor entrenado?

Ayudaría la estratificación?

Bibliografía de Consulta

BELL J. F. 1990. Teoría del Muestreo 3P. De Log Scaling and Timber Cruising. O.S.U. Book Stores. Inc. Corvallis, Oregon. Pp. 204-219. Traducción del Ing. Ftal. Francisco A. Carabelli, Centro de Investigaciones Forestales. UNPat. 16 pp.

CARABELLI F.A. 1993. Aplicación Experimental del Sistema de Muestreo 3P en un bosque de Lengua (*Nothofagus pumilio*) en la Provincia del Chubut. Inédito. 12 pp.

ILES K. 1992. Apuntes del Curso de Postgrado "Inventario Forestal". Asentamiento Universitario S.M. de los Andes. Univ. Nac. del Comahue. 11 pp. Neuquén.

ILES K. 1992. 3P Sampling. A Simple Introduction. 45 pp. Canadá.