

Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación 16:54-77 1964

- 13 SAMANIEGO, V A and STERRINGA, J. T. Estudios sobre el barrenador *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Lep: Pyralidae) XXI. Un nuevo método para obtener oviposición en cautividad. Turrialba 23(3):367-370 1973.
- 14 SCHOENLEBER, L. G., WHITE, L. D. and BUTT, B. Flight mill system for studying insect behavior. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service 42: 164 1970
- 15 SLIWA, D. D. and BECKER, V. O. Studies on the shootborer *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Lep: Pyralidae) XX. Observations on emergence and mating of adults in captivity. Turrialba 23(3):352-356 1973
- 16 TILLMANN, H. J. Apuntes bibliográficos sobre *Hypsipyla grandella* Zeller. Boletín del Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación 16:82-92 1964

Un método fácil de ajuste por pendiente.

Summary. The need for slope correction when laying out circular plots is an important task in forest inventory. The traditional method, horizontal distance times the secant of the angle of inclination, is presented and a couple of disadvantages are seen. First, it is time consuming, and secondly, it introduces great possibilities of no sampling errors. An alternative method is developed which seems to be faster and easier.

La necesidad de información sobre los recursos forestales de Costa Rica ha impulsado el uso de técnicas que reduzcan en conteo y medición de los árboles para la determinación de sus características y que, a la vez, bajen los costos de tal operación. Estas técnicas pueden ser, en términos generales, de dos tipos: a) la escogencia, por conveniencia o juicio, de parcelas en determinadas áreas del bosque;

b) la elaboración de un diseño de selección de parcelas que obedezca a las técnicas apuntadas por el muestreo estadístico. En el primer caso, los resultados serán válidos sólo para la parcela en cuestión, mientras que en el segundo, los resultados del inventario pueden ser generalizados a la población con una confiabilidad conocida.

Las formas más comunes de parcelas en nuestro medio son los rectángulos, las fajas o líneas y los círculos; sin embargo, cualquiera que sea la forma, los límites deben ser bien definidos y dispuestos para evitar fuentes de error.

Uno de los errores más frecuentes que se observa en el trabajo de campo es la omisión del ajuste por pendiente cuando se está delimitando la parcela.

Estimación del ajuste

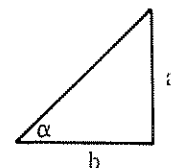
La información sobre el área en inventarios forestales se refiere generalmente al plano horizontal. Loetsch *et al.* (1) señalan que una parcela circular, ubicada sobre pendiente, resulta en una elipse de área menor si es proyectada al plano horizontal. Lo mismo sucede con otras formas si tienen mediciones paralelas a la dirección de la pendiente. Mediciones en el sentido perpendicular no son afectadas.

Existen diferentes métodos e inclusive instrumentos para corregir o ajustar distancias cuando se localizan en pendientes. En Costa Rica los dos métodos más frecuentes son: 1) el "banqueo": si la pendiente es leve (e.g. < 10%), la distancia es medida en secciones cortas que permitan la nivelación horizontal de la cinta; y 2) cuando la pendiente es grande, la distancia se mide siguiendo la inclinación del terreno y tomando aquella que resulta de la multiplicación de la distancia deseada por la secante del ángulo, en grados, de la pendiente. Existen tablas que son utilizadas en el campo para hacer estas correcciones. Estas tablas generalmente usan ángulos en grados como una de sus entradas; sin embargo, el personal de campo está más acostumbrado a trabajar en porcentajes de pendiente que en grados.

El porcentaje de pendiente está dado por el número de metros de variación vertical en 100 metros de distancia horizontal. Por lo tanto, si se da una distancia horizontal de 100 metros y un ascenso de 100 metros (lo que implicaría una pendiente del 100%) el ángulo se obtendría de la siguiente forma:

si $a = 100$ m y

$b = 100$ m



$$\tan(\alpha) = \frac{a}{b} = 100/100 = 1 \text{ entonces}$$

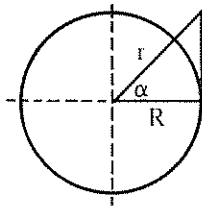
$$\alpha = \arctan(1) = 45 \text{ grados}$$

De esta sencilla relación trigonométrica se pueden convertir porcentajes a grados de pendiente.

$$G = \arctan(P) \quad (1)$$

donde G = ángulo en grados.
 P = porcentaje de pendiente en forma decimal

Como ahora se quiere corregir una distancia horizontal, se supondrá que esta distancia representa un radio fijo R de un círculo trigonométrico. El desplazamiento de R en el círculo determinará la inclinación y por consiguiente la distancia r será equivalente a las unidades de distancia horizontales deseadas:



En otras palabras, se necesita conocer la distancia r en la Figura 1, dados el ángulo de elevación (α) y la distancia horizontal R . La distancia r en la Figura 1 representa la secante del ángulo y determinará las siguientes relaciones:

$$r = \sec(\alpha) = 1/\cos(\alpha) \quad (2)$$

donde α es en grados

De la relación (2) se obtiene la siguiente ecuación para estimar la distancia sobre la pendiente dada la inclinación en porcentaje:

$$r = R/\cos(\arctan(P))$$

donde r = distancia corregida.
 R = distancia en unidades horizontales.
 P = porcentaje de inclinación

El inverso del coseno del ángulo de la inclinación indica el valor de ajuste de la distancia horizontal deseada

El Cuadro 1 representa la distancia corregida por pendiente dado el porcentaje de inclinación y la distancia horizontal deseada. Los valores de dicha tabla

fueron cotejados con aquéllos provenientes de una tabla presentada con grados de pendiente y los resultados fueron idénticos.

Para ilustrar la importancia de corregir por pendiente, supóngase que se ha escogido una parcela circular de 1/5 de hectárea ($R = 25.23$ m) como forma básica de la unidad muestral. Se supone además que la ubicación de la parcela presenta una inclinación de 40% en el lado más pronunciado y que no se hicieron ajustes en el campo. Este error implicaría que en lugar de tomar una parcela de 0.2 ha se tomaría una de 0.17 (error del 15% en área), lo cual sesgaría los resultados finales.

Para evitar errores de esta naturaleza se presentan a continuación los pasos necesarios para corregir, en el campo, distancias a ser medidas sobre terrenos inclinados:

- 1) determinar el porcentaje de pendiente. Esto se hace tomando lecturas tanto hacia arriba como hacia abajo del centro de la parcela sobre la inclinación más pronunciada.
- 2) usando el Cuadro 1, determinar la distancia corregida que corresponde a la distancia horizontal deseada y a la inclinación del terreno, y
- 3) medir esa distancia a lo largo de la pendiente. No deben hacerse correcciones en distancias perpendiculares a la dirección de la pendiente.

Limitaciones y una posible solución

El método descrito anteriormente, a pesar de que funciona perfectamente, presenta algunas desventajas: a) requiere mucho tiempo en terrenos muy quebrados ya que los ajustes serían numerosos y b) los límites de la parcela dependerán de las lecturas de inclinación que haga un miembro de la cuadrilla, existiendo por lo tanto el riesgo de errores no aleatorios.

Las parcelas circulares en el plano horizontal son proyectadas como elipses en el plano de inclinación. Las desventajas de estas figuras como parcelas de medición fueron ya apuntadas. Por lo tanto, es conveniente obtener una figura que reduzca el error no de muestreo y que permita una delimitación mucho más rápida y de menor costo. Esta figura podría ser un círculo de la misma área de la elipse, presentando la ventaja de que se tendría un radio fijo para ser rotado 360 grados sobre el terreno. Esto se podría obtener de la siguiente forma:

Definamos A_e = área de la elipse
 a = eje mayor de la elipse
 b = eje menor de la elipse
 A_c = área del círculo
 r = radio del círculo
 $A_{c'}$ = área del círculo igual al área de la elipse
 r' = radio del círculo c' .

El objetivo es entonces encontrar el radio r' que permita obtener c' . En otras palabras

$$A_c \equiv A_e = A_{c'} \quad (3)$$

o sea, que el área del círculo en el plano horizontal sea equivalente al área de la elipse sobre la pendiente y que ésta a la vez, sea igual al área de un nuevo círculo con radio en función de a y b ($r' = f(a, b)$)

Cuadro 1. Distancia corregida sobre pendiente.

% PEND.	DISTANCIA HORIZONTAL.																	
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
4	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65.1	70.1	75.1	80.1	85.1	90.1
8	5	10	15	20.1	25.1	30.1	35.1	40.1	45.1	50.2	55.2	60.2	65.2	70.2	75.2	80.3	85.3	90.3
12	5	10.1	15.1	20.1	25.2	30.2	35.3	40.3	45.3	50.4	55.4	60.4	65.5	70.5	75.5	80.6	85.6	90.6
16	5.1	10.1	15.2	20.3	25.3	30.4	35.4	40.5	45.6	50.6	55.7	60.8	65.8	70.9	76	81	86.1	91.1
20	5.1	10.2	15.3	20.4	25.5	30.6	35.7	40.8	45.9	51	56.1	61.2	66.3	71.4	76.5	81.6	86.7	91.8
24	5.1	10.3	15.4	20.6	25.7	30.9	36	41.1	46.3	51.4	56.6	61.7	66.8	72	77.1	82.3	87.4	92.6
28	5.2	10.4	15.6	20.8	26	31.2	36.3	41.5	46.7	51.9	57.1	62.3	67.5	72.7	77.9	83.1	88.3	93.5
32	5.2	10.5	15.7	21	26.2	31.5	36.7	42	47.2	52.5	57.7	63	68.2	73.5	78.7	84	89.2	94.5
36	5.3	10.6	15.9	21.3	26.6	31.9	37.2	42.5	47.8	53.1	58.5	63.8	69.1	74.4	79.7	85	90.3	95.7
40	5.4	10.8	16.2	21.5	26.9	32.3	37.7	43.1	48.5	53.9	59.2	64.6	70	75.4	80.8	86.3	91.5	96.9
44	5.5	10.9	16.4	21.9	27.3	32.8	38.2	43.7	49.2	54.6	60.1	65.6	71	76.5	81.9	87.4	92.9	98.3
48	5.5	11.1	16.6	22.2	27.7	33.3	38.8	44.4	49.9	55.5	61	66.6	72.1	77.6	83.2	88.7	94.3	99.8
52	5.6	11.3	16.9	22.5	28.2	33.8	39.4	45.1	50.7	56.4	62	67.6	73.3	78.9	84.5	90.2	95.8	101.4
56	5.7	11.5	17.2	22.9	28.7	34.4	40.1	45.8	51.6	57.3	63	68.8	74.5	80.2	86	91.7	97.4	103.2
60	5.8	11.7	17.5	23.3	29.2	35	40.8	46.6	52.5	58.3	64.1	70	75.8	81.6	87.5	93.3	99.1	105
64	5.9	11.9	17.8	23.7	29.7	35.6	41.6	47.5	53.4	59.4	65.3	71.2	77.2	83.1	89	95	100.9	106.9
68	6	12.1	18.1	24.2	30.2	36.3	42.3	48.4	54.4	60.5	66.5	72.6	78.6	84.7	90.7	95.7	102.8	108.8
72	6.2	12.3	18.5	24.6	30.8	37	43.1	49.3	55.5	61.6	67.8	73.9	80.1	86.3	92.4	98.6	104.7	110.9
76	6.3	12.6	18.8	25.1	31.4	37.7	44	50.2	56.5	62.8	69.1	75.4	81.6	87.9	94.2	100.5	106.8	113
80	6.4	12.8	19.2	25.6	32	38.4	44.8	51.2	57.6	64	70.4	76.8	83.2	89.6	96	102.4	108.9	115.3
84	6.5	13.1	19.6	26.1	32.6	39.2	45.7	52.2	58.8	65.3	71.8	78.4	84.9	91.4	97.9	104.5	111	117.5
88	6.7	13.3	20	26.6	33.3	40	46.6	53.3	59.9	66.6	73.3	79.9	86.6	93.2	99.9	106.6	113.2	119.9
92	6.8	13.6	20.4	27.2	34	40.8	47.6	54.4	61.1	67.9	74.7	81.5	88.3	95.1	101.9	108.7	115.5	122.3
96	6.9	13.9	20.8	27.7	34.7	41.6	48.5	55.4	62.4	69.3	76.2	83.2	90.1	97	104	110.9	117.8	124.8
100	7.1	14.1	21.2	28.3	35.4	42.4	49.5	56.6	63.6	70.7	77.8	84.9	91.9	99	106.1	113.1	120.2	127.3
104	7.2	14.4	21.6	28.9	36.1	43.3	50.5	57.7	64.9	72.1	79.4	86.6	93.8	101	108.2	115.4	122.6	129.8
108	7.4	14.7	22.1	29.4	36.8	44.2	51.5	58.9	66.2	73.6	81	88.3	95.7	103	110.4	117.7	125.1	132.5
112	7.5	15	22.5	30	37.5	45	52.6	60.1	67.6	75.1	82.6	90.1	97.6	105.1	112.6	120.1	127.6	135.1
116	7.7	15.3	23	30.6	38.3	45.9	53.6	61.3	68.9	76.6	84.2	91.9	99.5	107.2	114.9	122.5	130.2	137.8
120	7.8	15.6	23.4	31.2	39.1	46.9	54.7	62.5	70.3	78.1	85.9	93.7	101.5	109.3	117.2	125	132.8	140.6
124	8	15.9	23.9	31.9	39.8	47.8	55.8	63.7	71.7	79.6	87.6	95.6	103.5	111.5	119.5	127.4	135.4	143.4
128	8.1	16.2	24.4	32.5	40.6	48.7	56.9	65	73.1	81.2	89.3	97.3	105.3	113.3	121.3	129.3	137.3	145.3
132	8.3	16.6	24.8	33.1	41.4	49.7	58	66.2	74.5	82.8	91.1	99.4	107.6	115.9	124.2	132.5	140.8	149
136	8.4	16.9	25.3	33.8	42.2	50.6	59.1	67.5	76	84.4	92.8	101.3	109.7	118.2	126.6	135	143.5	151.9
140	8.6	17.2	25.8	34.4	43	51.6	60.2	68.8	77.4	86	94.6	103.2	111.8	120.4	129	137.6	145.2	154.8
144	8.8	17.5	26.3	35.1	43.8	52.6	61.4	70.1	78.9	87.7	96.4	105.2	114	122.7	131.5	140.3	149	157.8
148	8.9	17.9	26.8	35.7	44.7	53.6	62.5	71.4	80.4	89.3	98.2	107.2	116.1	125	134	142.9	151.8	160.8

Si se hace

$$r' = \sqrt{a \times b}$$

satisfacemos la relación (3), concluyendo de ésta forma con una figura de fácil disposición en el campo. El

Cuadro 2 permite obtener radios corregidos dados el porcentaje de pendiente y el área de la parcela circular deseada

Existen otros métodos para obtener correcciones por pendiente (1) Sin embargo, el método descrito

Cuadro 2. Radios ajustados para parcelas circulares.

% PEND.	AREA EN HECTAREAS									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
2	17.8	25.2	30.9	35.7	39.9	43.7	47.2	50.5	53.5	56.4
6	17.9	25.3	30.9	35.7	39.9	43.7	47.2	50.5	53.6	56.5
10	17.9	25.3	31	35.8	40	43.8	47.3	50.6	53.7	56.6
14	17.9	25.4	31.1	35.9	40.1	43.9	47.4	50.7	53.8	56.7
18	18	25.4	31.1	36	40.2	44.1	47.6	50.9	54	56.9
22	18.1	25.5	31.3	36.1	40.4	44.2	47.8	51.1	54.2	57.1
26	18.1	25.6	31.4	36.3	40.6	44.4	48	51.3	54.4	57.3
30	18.2	25.8	31.6	36.5	40.8	44.7	48.2	51.6	54.7	57.6
34	18.3	25.9	31.8	36.7	41	44.9	48.5	51.9	55	58
38	18.5	26.1	32	36.9	41.3	45.2	48.8	52.2	55.4	58.4
42	18.6	26.3	32.2	37.2	41.5	45.5	49.2	52.6	55.7	58.8
46	18.7	26.5	32.4	37.4	41.9	45.9	49.5	52.9	56.2	59.2
50	18.9	26.7	32.7	37.7	42.2	46.2	49.9	53.4	56.6	59.7
54	19	26.9	32.9	38	42.5	46.6	50.3	53.8	57.1	60.1
58	19.2	27.1	33.2	38.4	42.9	47	50.8	54.3	57.5	60.7
62	19.4	27.4	33.5	38.7	43.3	47.4	51.2	54.7	58.1	61.2
66	19.5	27.6	33.8	39.1	43.7	47.8	51.7	55.2	58.6	61.8
70	19.7	27.9	34.1	39.4	44.1	48.3	52.2	55.8	59.1	62.3
74	19.9	28.1	34.5	39.8	44.5	48.7	52.6	56.3	59.7	62.9
78	20.1	28.4	34.8	40.2	44.9	49.2	53.2	56.8	60.3	63.5
82	20.3	28.7	35.1	40.6	45.4	49.7	53.7	57.4	60.9	64.2
86	20.5	29	35.5	41	45.8	50.2	54.2	58	61.5	64.8
90	20.7	29.3	35.8	41.4	46.3	50.7	54.8	58.5	62.1	65.4
94	20.9	29.6	36.2	41.8	46.7	51.2	55.3	59.1	62.7	66.1
98	21.1	29.9	36.6	42.2	47.2	51.7	55.9	59.7	63.3	66.8
102	21.3	30.2	36.9	42.6	47.7	52.2	56.4	60.3	64	67.4
106	21.5	30.5	37.3	43.1	48.2	52.8	57	60.9	64.6	68.1
110	21.8	30.8	37.7	43.5	48.6	53.3	57.6	61.5	65.3	68.8
114	22	31.1	38.1	43.9	49.1	53.8	58.1	62.1	65.9	69.5
118	22.2	31.4	38.4	44.4	49.6	54.4	58.7	62.8	66.6	70.2
122	22.4	31.7	38.8	44.8	50.1	54.9	59.3	63.4	67.2	70.9
126	22.6	32	39.2	45.3	50.6	55.4	59.9	64	67.9	71.6
130	22.8	32.3	39.6	45.7	51.1	56	60.5	64.6	68.5	72.3
134	23.1	32.6	40	46.1	51.6	56.5	61	65.3	69.2	73
138	23.3	32.9	40.3	46.6	52.1	57.1	61.6	65.9	69.9	73.7
142	23.5	33.3	40.7	47	52.6	57.6	62.2	66.5	70.5	74.4
146	23.7	33.6	41.1	47.5	53.1	58.1	62.8	67.1	71.2	75.1
150	24	33.9	41.5	47.9	53.6	58.7	63.4	67.8	71.9	75.8

parece ser el más fácil de implementar en el campo, sin violar las restricciones impuestas por el muestreo estadístico en uso

Resumen

La necesidad de corregir por pendiente cuando se disponen parcelas circulares en el campo, es una tarea importante en inventarios forestales. Se presenta el método tradicional, multiplicación de la distancia horizontal por la secante del ángulo de inclinación, como también dos desventajas que muestra este método. Primero, requiere mucho tiempo en el campo y segundo, introduce una alta posibilidad de errores no aleatorios. Se presenta también un

método alternativo que parece ser más rápido y fácil que el tradicional

10 enero de 1985

E GUTIERREZ-ESPELETA*

* Profesor invitado en la Escuela de Estadística de la Universidad de Costa Rica

Literatura citada

I LOETSH F, F ZOHRER y K E HALLER
Forest Inventory Vol II pp 321-325 Munich
BLV Verlagsgesellschaft 1973