



Vivir Mejor

Guía para la evaluación de existencias de sotol (*Dasyliroton cedrosanum* Trel.) en poblaciones naturales del Estado de Coahuila

Antonio Cano Pineda, Oscar U. Martínez Burciaga, Carlos A. Berlanga Reyes, E. Edith Villavicencio Gutiérrez, y David Castillo Quiroz



GOBIERNO FEDERAL

SAGARPA

inifap

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

www.gobiernofederal.gob.mx

www.sagarpa.gob.mx

www.inifap.gob.mx



inifap
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Centro de Investigación Regional Noreste
Campo Experimental Saltillo
Saltillo, Coahuila, Septiembre de 2011
Folleto Técnico No. 43 ISBN: 978-607-425-593-5



Vivir Mejor

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

Lic. Francisco Javier Mayorga Castañeda
Secretario

MSc. Mariano Ruiz-Funes Macedo
Subsecretario de Agricultura

Ing. Ignacio Rivera Rodríguez
Subsecretario de Desarrollo Rural

Ing. Ernesto Fernández Arias
Subsecretario de Fomento a los Agronegocios

MSc. Jesús Antonio Berumen Preciado
Oficial Mayor

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Dr. Pedro Brajcich Gallegos
Director General

Dr. Salvador Fernández Rivera
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

MSc. Arturo Cruz Vázquez
Coordinador de Planeación y Desarrollo

Lic. Marcial A. García Morteo
Coordinador de Administración y Sistemas

Centro de Investigación Regional Noreste

Dr. Sebastián Acosta Núñez
Director Regional

Dr. Jorge Elizondo Barrón
Director de Investigación, Innovación y Vinculación

M. C. Nicolás Maldonado Moreno
Director de Planeación y Desarrollo

M. A. José Luís Cornejo Enciso
Director de Administración

M. C. Gustavo J. Lara Guajardo
Director de Coordinación y Vinculación en Coahuila

Campo Experimental Saltillo

Gustavo J. Lara Guajardo
Director de Coordinación y Vinculación en Coahuila

Isaac Sánchez Valdez
Jefe de Operación

Rocío del Carmen Núñez García
Jefa Administrativa

INVESTIGADOR

MARÍA DEL ROSARIO ZÚÑIGA ESTRADA
JUAN M. COVARRUBIAS RAMÍREZ
ISAAC SANCHEZ VALDEZ

FRANCISCO J. CONTRERAS DE LA REE
EMIGDIO MORALES OLAI
JOSE ANTONIO VAZQUEZ RAMOS
SERGIO J. GARCIA GARZA
VICTOR MANUEL PARGA TORRES
DAVID SÁNCHEZ ASPEYTIA
ANTONIO CANO PINEDA

DAVID CASTILLO QUIROZ

OSCAR MARES ARREOLA

EULALIA EDITH VILLAVICENCIO
GUTIÉRREZ
CARLOS ALEJANDRO BERLANGA REYES

OSCAR ULISES MARTÍNEZ BURCIAGA

CARLOS RÍOS QUIROZ
PEDRO HERNÁNDEZ ROJAS
EUTIMIO DE JESÚS CUELLAR
VILLARREAL
LUÍS MARIO TORRES ESPINOSA
AUBERTO REYES ROSAS

RED DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

AGUA Y SUELO
AGUA Y SUELO
FRIJOL Y OTRAS
LEGUMINOSAS DE GRANO
FRUTALES CADUCIFÓLIOS
FRUTALES CADUCIFOLIOS
FRUTALES CADUCIFOLIOS
HORTALIZAS
HORTALIZAS
HORTALIZAS
MANEJO FORESTAL
SUSTENTABLE
MANEJO FORESTAL
SUSTENTABLE
MANEJO FORESTAL
SUSTENTABLE
MANEJO FORESTAL
SUSTENTABLE
MANEJO FORESTAL
SUSTENTABLE
MODELAJE

OVINOS Y CAPRINOS
OVINOS Y CAPRINOS
PASTIZALES Y RECURSOS
FORRAJEROS
SANIDAD VEGETAL
TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA

**Guía para la evaluación de
existencias de sotol (*Dasyliirion
cedrosanum* Trel.) en poblaciones
naturales del Estado de Coahuila**

M. C. Antonio Cano Pineda *
M. C. Oscar Ulises Martínez Burciaga*
M. C. Carlos Alejandro Berlanga Reyes*
M. C. Eulalia Edith Villavicencio Gutiérrez*
M. C. David Castillo Quiroz*

*Investigadores del Campo Experimental Saltillo

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,
Agrícolas y Pecuarias
Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina
Delegación Coyoacán, C.P. 04010 México D. F.
Teléfono (55) 3871-8700

**Guía para la evaluación de existencias de sotol (*Dasyllirion
cedrosanum* Trel.) en poblaciones naturales del Estado de
Coahuila**

ISBN: 978-607-425-593-5
Primera Edición 2011
No. de Registro INIFAP/CIRNE: F-83

No está permitida la reproducción total o parcial de esta
publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier
medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros
métodos, sin el permiso previo y por escrito de la Institución.

REVISIÓN TÉCNICA

Ing. J. Trinidad Sáenz Reyes
Biol. Alberto Arredondo Gómez

Comité Editorial del CIRNE

Presidente

Dr. Jorge Elizondo Barrón

Secretario

Ing. Hipólito Castillo Tovar

Vocales

M. C. Antonio Cano Pineda
Dr. Jesús Loera Gallardo
Dr. Raúl Rodríguez Guerra
Dr. Antonio Palemón Terán Vargas
M. C. Nicolás Maldonado Moreno
Dr. Jorge Urrutia Morales

FOTOGRAFÍAS

M. C. Antonio Cano Pineda

DISEÑO Y FORMACIÓN

M. C. Antonio Cano Pineda

CÓDIGO INIFAP

MX-0-310604-46-03-15-09-43

Esta publicación se terminó de imprimir en el mes de Noviembre del 2011 en los talleres de:

Imprenta Sánchez.
Nueva España 514
Fraccionamiento Urdiñola
Saltillo, Coahuila, C. P. 25020
Tel: (844) 414 61 51
Su tiraje consta de 500 ejemplares

CONTENIDO

	Pág.	
1	Introducción	1
2	Distribución y descripción de la especie	2
3	Uso y aplicación de la tarifa de producción de sotol	5
	3.1 Forma de medición de las variables	5
4	Muestreo	8
	4.1 Sistema de muestreo	8
	4.1.1 Consideraciones	8
	4.1.2 Muestreo con cuadrantes en punto central	9
	4.1.3 Muestreo simple aleatorio	15
	4.1.4 Muestreo sistemático	22
5	Conclusiones	24
6	Literatura citada	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Forcípula de aluminio utilizada para medir el diámetro en piñas de sotol.	6
2	Medición del diámetro en piñas o cabezas de sotol.	8
3	Representación gráfica de selección de transecto, puntos y cuadrantes.	10
4	Criterios para la selección de planta a medir por cada cuadrante.	11

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
1	Tarifa de producción para sotol (<i>Dasyllirion cedrosanum</i> Trel.) en el estado de Coahuila. INIFAP-Campo Experimental Saltillo.	7

GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DE EXISTENCIAS DE SOTOL (*Dasyliirion cedrosanum* Trel.) EN POBLACIONES NATURALES DEL ESTADO DE COAHUILA



Centros Nacionales de Investigación Disciplinaria, Centros de Investigación Regional y Campos Experimentales

1.- Introducción

De la superficie total del país poco más del 60% se encuentra constituido por zonas áridas, donde se estima la existencia de cerca de 25,000 especies conocidas, muchas de las cuales poseen potencial de aprovechamiento (Rzedowski, 1983).

Desafortunadamente, pocas de estas especies se han estudiado y es hasta años recientes cuando se han iniciado esfuerzos por conocer sus características y propiedades con propósitos de domesticación o manejo en poblaciones naturales.

Para los habitantes de las zonas áridas y semiáridas, el sotol (*Dasyliirion cedrosanum* Trel.) constituye un recurso natural de gran valor, ya que se usa como forraje para el ganado (Vázquez, 2001), construcción de cercas, elaboración de cestería (Bogler, 1994) y es utilizado para la elaboración de una bebida alcohólica llamada "sotol"; a causa de ésta última, se presenta un aprovechamiento desordenado que ha provocado una drástica disminución de sus poblaciones en algunos estados como Chihuahua y Durango (Cruz, 2002).



- Sede de Centro de Investigación Regional
- Centro Nacional de Investigación Disciplinaria
- Campo Experimental

Villavicencio G. E. E y H. Franco L. 1992. Guía para la evaluación de existencias de palma samandoca (*Yucca carnerosana*) en el estado de Coahuila. Folleto Técnico No. 2. CIRNE-INIFAP. Campo Experimental La Saucedá. Saltillo, Coah. México. 18 p.

Zárate L. A. 2003. Inventario de las poblaciones de sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.) en el estado de Coahuila. Secretaría de Fomento Agropecuario del estado de Coahuila. Saltillo, Coah. México. 29 p.

En los últimos años, en el estado de Coahuila ha surgido el interés de producir a escala industrial el tradicional "sotol", tal situación ha aumentado el número de solicitudes para su aprovechamiento y se prevé que en el futuro inmediato se incremente aún más, con la consecuente sobreexplotación del sotol (Zárate, 2003).

El Programa de Manejo Forestal Simplificado, que exige la SEMARNAT de acuerdo a los artículos 56 y 57 del Reglamento de la Ley Forestal vigente, debe incluir entre otra, información de las existencias del recurso, ya sea en el ejido, localidad o predio particular que solicita el aprovechamiento. Esta información permite a las autoridades, evaluar si procede la autorización de aprovechamiento del recurso natural (SEMARNAT 2005, Sáenz y Castillo, 1992 y Villavicencio y Franco, 1992)

En base a lo anteriormente expuesto, el presente documento pretende ejemplificar, de manera sencilla, los procedimientos que pueden utilizar los Prestadores de Servicios Técnicos Forestales para calcular las existencias de sotol, utilizando algunos sistemas de muestreo y una tarifa de producción, generada para esta especie por el INIFAP (Cano *et al.*, 2005).

2.- Distribución y descripción de la especie

Las plantas del género *Dasyllirion* son nativas del Desierto Chihuahuense y existen referencias de que han sido utilizadas

como alimento desde hace 7,000 años (Bell y Castetter, 1941).

En la actualidad, el sotol constituye una nueva opción productiva para los pobladores de las zonas áridas y semiáridas, debido al potencial que posee para su industrialización como bebida alcohólica con calidad similar a la del tequila y del mezcal, razón por la cual el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial otorgó la protección a la denominación de origen Sotol a los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango (IMPI, 2002). Del sotol se puede extraer también azúcar inulina que es valiosa en la industria farmacéutica (Ibave *et al.*, 2001); por consiguiente, esta especie es considerada una de las prioridades de investigación nacional (SEP-CONACYT, 2001). NOTA: Lo señalado con éste color, no corresponde a éste apartado. Hay que ponerlo en Introducción.

El género *Dasyllirion* está constituido por plantas grandes y deciduas que se encuentran en zonas áridas y altas del suroeste de América y norte de México. Este género está compuesto por plantas con hojas fibrosas y con bordes aserrados de 1-3 cm de ancho, y alrededor de 1 m de longitud con espinas pequeñas y encorvadas en los bordes que parten de un tallo central formando una especie de corona (Bogler, 1994).

Algunas especies son semi-arborescentes y desarrollan pequeños tallos leñosos por debajo de la corona. Todas las especies de *Dasyllirion* son policárpicas y producen un escapo floral con flores unisexuales. El género *Dasyllirion* se encuentra a veces en poblaciones muy grandes, cubriendo amplias

Sáenz R. J. T. y D. Castillo Q. 1990. Tarifa de predicción del rendimiento de orégano (*Lippia graveolens* H. B. K.) para el municipio de General Cepeda, Coahuila. Memorias. 1ª Reunión Nacional sobre Orégano; URUZA, UACH, ANCF, SAGAR, INIFAP. Bermejillo, Durango, México. pp.13.

Sáenz R. J. T. y D. Castillo Q. 1992. Guía para la evaluación del cortadillo en el estado de Coahuila. Folleto Técnico No. 3. CIRNE-INIFAP. Campo Experimental La Saucedá. Saltillo, Coah. México. 13 p.

Sáenz R. J. T. y E. E. Villavicencio G. 1993. Guía para la evaluación de orégano en el estado de Coahuila. Folleto Técnico No. 6. CIRNE-INIFAP. Campo Experimental La Saucedá. Saltillo, Coah. México. 16 p.

SEMARNAT. 2005. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y su Reglamento. pp. 198-202. México

SEP-CONACYT. 2001. Prioridades del sector agropecuario y forestal para la formulación de proyectos integrales. Compilación. Sistema de Investigación Francisco Villa. Delegación Regional Norte Centro. Chihuahua, Chih. 153 p.

Vázquez Q. S. 2001. Combinación y concentración de reguladores de crecimiento para el enraizamiento de sotol (*Dasyllirion Leiophyllum* Engelm. Ex. Trelase) *in vitro*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. Delicias, Chih. 51 p.

- Gutiérrez R. E. y J. S. Sierra T. 1992. Modelos de regresión para estimar producción de forraje en cinco arbustos del Desierto Chihuahuense *En: Resúmenes. Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. INIFAP, SARH. Chihuahua, Chih. México. 394 p.*
- Henrickson J. y M. C. Johnston. 1977. A flora of the chihuahuan desert region. Edition 1.2 vol 2. L.A. U.S.A. 127 p.
- Ibave F. J., J. L. Ibave, M. G. López e I. Díaz de la Garza. 2001. Generación de tecnologías para la extracción de Inulina y su estudio prospectivo de mercado. *In: Memorias . III Foro Estatal Sivilla-Chihuahua. SEP CONACyT Gob. del Edo. de Chihuahua, Chih. pp. 177-179.*
- IMPI. Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. 2002. www.impi.gob.mx/web/docs/marco/sotol.htm. (Consultado Mayo de 2009)
- Ludwig J. A., J. F. Reynolds and P.D. Whitson. 1975. Size-biomass relationships of several Chihuahuan Desert Shrubs. *The American Midland Naturalist. 94 (2): 451-461.*
- Meza S. R. 1997. Ecuaciones para estimar la fitomasa de *Atriplex canescens*. *Ciencia Forestal. México. INIFAP. (22): 27- 40.*
- Rzedowski J. 1983. *Vegetación de México. Ed. Limusa S. A. México. 432 p.*

extensiones, con miles de plantas que constituyen un gran espectáculo escénico (Bogler, 1994).

En el estado de Coahuila, el sotol es una especie que se distribuye en el matorral desértico rosetófilo y matorral crasirosulifolio espinoso, tipos de vegetación característicos del área biogeográfica conocida como Desierto Chihuahuense (Zárate, 2003), aunque también se encuentra en regiones semiáridas de las zonas de transición (Vázquez, 2001). Mientras que Bogler (1994) reporta para México un total de 14 especies de sotol, Henrickson y Johnston (1977) sólo admiten la presencia de nueve de éstas. No obstante, los mismos autores coinciden en que el número de especies reportadas para Coahuila son cinco: *Dasyilirion texanum*, *D. cedrosanum*, *D. leiophyllum*, *D. stewartii*, con las variedades *D. stewartii* var. *stewartii*; *D. stewartii* var. *glaucum* y *D. heterocanthum*.

Dasyilirion cedrosanum Trel., suele distribuirse en un rango de temperatura media anual entre 17 y 21 °C y de precipitación media anual que oscila entre 150 y 400 mm. Los factores edáficos que conforman su distribución corresponden a Xerosoles, Rendzinas y Regosoles, con una gran riqueza en carbonatos de calcio, delgados, con poco desarrollo de horizontes de suelo o, bien, existiendo sólo uno sobre yaciendo sobre el material parental, con buen drenaje y aireación, en posiciones fisiográficas de ladera, pie de monte y sobre abanicos aluviales, en donde los principales agentes formadores que intervienen son el arrastre por el agua (suelos aluviales) y el campo gravitacional (suelos coluviales).

3.- Uso y aplicación de la tarifa de producción de sotol

Con la finalidad de reducir y facilitar el trabajo de campo, se han elaborado tarifas y tablas de producción para algunas especies de zonas áridas como orégano, *Atriplex*, *Agave lechuguilla*, *Nolina*, *Yucca* y *Dasyllirion* (Alarcón, 1990; Antúnez *et al.*, 1991; Flores, 1990; Gutiérrez y Sierra, 1992; Meza, 1997; Berlanga *et al.*, 1992; Sáenz y Castillo, 1990; Sáenz y Castillo, 1992; Sáenz y Villavicencio, 1993 y Cano *et al.*, 2005); para ello, en algunos casos, se ha utilizado el método de análisis dimensional propuesto por Ludwig *et al.*, (1975).

Para el caso que ocupa al presente documento, Cano *et al.* (2005) generaron un modelo de predicción a partir del cual se construyó una tarifa de producción, con la que es posible estimar de manera sencilla y confiable la biomasa verde de sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.) en poblaciones localizadas en el estado de Coahuila a partir del diámetro de la “cabeza o piña” (Cuadro 1).

3.1- Forma de medición de las variables

Para evaluar una población natural de sotol y determinar las existencias de peso verde de la “cabeza o piña”, es necesario conocer el diámetro de la misma. Para ello es necesario tomar esta medida preferentemente con el uso de una forcípula de aluminio, con precisión al centímetro, ya que su calibre y diseño facilita la medición del diámetro al deslizarse fácilmente entre las hojas de la planta, aumentando la precisión de la medida (Figura 1); además, el aluminio es más

Cano P. A., C. A. Berlanga R., D. Castillo Q. y O. U. Martínez B. 2005. Análisis dimensional y tablas de producción de sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.) en el estado de Coahuila. Folleto Técnico No. 18. CIRNE-INIFAP. Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coah. 24 p.

Cox G. W. 1972. Laboratory Manual of General Ecology. Second Ed. Brown Company Publishers. USA. 191 p.

Cruz R. J. 2002. Micropropagación del sotol (*Dasyllirion leiophyllum* Engelm. ex Trelase): paso de *in vitro* a *in vivo*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chihuahua; Facultad de Ciencias Forestales. Delicias, Chih. 51 p.

Daniel T. W., J. A. Helms y F. S. Baker. 1983. Principios de Silvicultura. McGraw-Hill de México S. A. de C. V. México. 487 p.

De la Garza de la P. F. E. y Berlanga R. C. A. 1993. Metodología para la evaluación y manejo de candelilla en condiciones naturales. Folleto Técnico No.5. CIRNE-INIFAP. Campo Experimental La Saucedá. Saltillo, Coah. México. 46 p.

Flores G. J. G. 1990. Elaboración de una tarifa para evaluar rendimiento de orégano. Memorias. 1ª Reunión Nacional sobre Orégano; URUZA, UACH, ANCF, SARH, INIFAP. Bermejillo, Durango, México. pp 12.

6.- Literatura citada

Alarcón B. M. 1990. El orégano, una tabla de producción para el sureste del estado de Chihuahua. Memorias, 1ª Reunión Nacional sobre Orégano. URUZA, UACH, ANCF, SARH, INIFAP. Bermejillo, Durango, México. p. 36-39

Antúñez, R. D., E. Castellanos P., R. Almida y M. Valencia C. 1991. Predicción de la biomasa aérea del chamizo en la época de sequía en el noreste de Durango. Rev. Manejo de Pastizales. México 4(3):1-5.

Bell W. H. y E. F. Castetter. 1941. Ethnobotanical studies in the American southwest. VII. The utilization of yucca stool, and bear grass by the aborigines in the American southwest. The University of New Mexico Bulletin. Vol.5 No. 5 University of New Mexico Press. 74 p.

Berlangua R. C. A., L. A. González L. y H. Franco L. 1992. Metodología para la evaluación y manejo de lechuguilla en condiciones naturales. Folleto Técnico No.1. CIRNE-INIFAP. Campo Experimental La Saucedá. Saltillo, Coah. México. 22 p.

Bogler D. J. 1994. Taxonomy and Phylogeny of *Dasyllirion* (Nolinaceae). Ph.D. Dissertation. University of Texas at Austin. USA. 582 p.

resistente y ligero que las clásicas forcípulas de madera, lo cual permite su transportación y uso bajo cualquier condición climática durante los inventarios en campo, así como su almacenamiento. El diámetro deberá tomarse en la parte central (más ancha) de la piña, localizada generalmente en el punto en donde las hojas de la piña comienzan a doblarse hacia abajo (Figura 2).



Figura 1. Forcípula de aluminio utilizada para medir el diámetro en piñas de sotol.

Cuadro 1. Tarifa de producción para sotol (*Dasyliirion cedrosanum Trel.*) en el estado de Coahuila. INIFAP-Campo Experimental Saltillo (Cano et al.,2005).

Diámetro de piña (cm)	Peso estimado (kg)	Límite inferior	Límite superior
16	2.264	0.805	3.723
17	3.382	1.989	4.775
18	4.500	3.170	5.830
19	5.619	4.348	6.889
20	6.737	5.523	7.950
21	7.855	6.694	9.016
22	8.973	7.860	10.086
23	10.091	9.021	11.162
24	11.210	10.177	12.234
25	12.328	11.325	13.331
26	13.446	12.467	14.425
27	14.564	13.601	15.528
28	15.683	14.728	16.638
29	16.801	15.846	17.757
30	17.919	16.956	18.883
31	19.038	18.057	20.018
32	20.156	19.152	21.160
33	21.274	20.239	22.309
34	22.392	21.320	23.465
35	23.511	22.395	24.626
36	24.629	23.465	25.793
37	25.747	24.531	26.964
38	26.865	25.592	28.139
39	27.984	26.650	29.317
40	29.102	27.705	30.499
41	30.320	28.758	31.683
42	31.389	29.808	32.869
43	32.457	30.856	34.057
44	33.575	31.902	35.248
45	34.693	32.947	36.439
46	35.812	33.991	37.632
47	36.930	35.033	38.826
48	38.048	36.075	40.022
49	39.166	27.115	41.218
50	40.285	38.154	42.415
51	41.403	39.193	43.612
52	42.521	40.231	44.811
53	43.639	41.269	46.010
54	44.758	42.306	47.209
55	45.876	43.343	48.409
56	46.994	44.379	49.610
57	48.112	45.414	50.810
58	49.231	46.450	52.012

Sustituyendo en la ecuación (k)

$$D_s = \frac{1,000}{(100)(0.115)} = 86.96 \text{ m} = 87 \text{ m}$$

La ventaja práctica de este sistema es que facilita una ubicación rápida y sencilla de los sitios de muestreo; además, suele dar estimaciones más precisas, respecto a los muestreos aleatorios debido a que los sitios se encuentran mejor distribuidos en la población.

La más importante desventaja del muestreo sistemático es que no permite el cálculo del error de muestreo; sin embargo, si el arranque del mismo se realiza a partir de un punto seleccionado al azar y los sitios siguen también un rumbo definido aleatoriamente, se puede emplear la ecuación del intervalo de confianza (i) para el análisis de la información.

Con la construcción del intervalo de confianza se puede calcular el rango de precisión mínimo y máximo del peso estimado, prefijando una probabilidad de error mediante la ecuación (h).

5.- Conclusiones

Los sistemas de muestreo propuestos en el presente documento permiten estimar las existencias de sotol en poblaciones naturales sin sobreestimar el recurso.

Es decir, se tiene una intensidad de muestreo del 3.3%.

Por otro lado, si lo que se desea calcular la distancia que debe de existir entre sitios a una intensidad de muestreo prefijada, deberá de utilizarse la siguiente expresión:

$$D_s = \frac{T_s}{(D_h) (I M)} \quad (k)$$

donde:

D_s = Distancia entre sitios de muestreo (m)

T_s = Tamaño del sitio de muestreo (m^2)

D_h = Distancia entre hileras de sitios (m)

$I M$ = Intensidad de Muestreo

A manera de ejemplo, considérese que en un inventario se quiere aplicar una intensidad de muestreo del 3%, utilizando sitios de $1,000 m^2$ ubicados en hileras de 100 m entre sí. Para calcular la distancia entre sitios se sustituye en la ecuación (k):

$$D_s = \frac{1000}{(100) (0.03)} = 333 \text{ m}$$

Para el ejemplo que se ha venido desarrollando, recuérdese que se necesitan levantar 115 sitios de muestreo de $1000 m^2$, que equivalen a muestrear $11.5 ha$ de un total de 100 o sea un 11.5 % de intensidad de muestreo. Si se quiere que los sitios de $1,000 m^2$ sean ubicados en hileras de 100 m, ¿que distancia deberá existir entre sitios?



Figura 2.-Medición del diámetro en piñas o cabezas de sotol.

4.- Muestreo

4.1 Sistema de muestreo

El sistema de muestreo apropiado para evaluar un recurso o tipo de vegetación, será aquel con el cual se obtenga una estimación adecuada a un costo y tiempo razonable (Sáenz y Castillo, 1992; Villavicencio y Franco, 1992). La alternativa de muestreo que se seleccione dependerá de la densidad, estructura del recurso o el nivel de confiabilidad del inventario que se pretenda realizar.

4.1.1 Consideraciones

Independientemente del sistema de muestreo que se seleccione, es necesario hacer las siguientes consideraciones:

1.- El predio o la población a muestrear deberá ser subdividida en rodales, esto como una unidad homogénea que se puede diferenciar de los rodales circundantes por su edad, composición, estructura, calidad del terreno en que se asienta o geografía del mismo (Daniel *et al.*, 1983). No existe una superficie particular que tenga que abarcar, de modo implícito, un rodal y su tamaño puede variar en la medida que la ordenación se intensifique. La rodalización deberá de ser presentada en cartas topográficas y de uso del suelo, donde además se deberá incluir los linderos del predio a aprovechar.

2.- En el caso de utilizar un muestreo sistemático, y considerando las características de distribución del sotol, se recomienda emplear sitios de muestreo de 1,000 m² y una intensidad de muestreo mayor al 3%, es decir, por cada 10 ha deberán de evaluarse por lo menos 3,000 m².

4.1.2 Muestreo con cuadrantes en punto central (Cox, 1972; Berlanga *et. al* 1992).

Este método consiste en localizar una serie de puntos aleatorios dentro del rodal o predio a muestrear (Figura 3); en muchos casos es más confiable y práctico escoger puntos al azar a lo largo de una serie de transectos de línea que pasen a través del predio o bien prefijar una distancia deseada entre punto y punto.

El área alrededor de cada punto se divide en cuatro partes iguales o cuadrantes usando el transecto de línea como base y una segunda línea perpendicular a la primera a partir de ese

Por lo tanto, la media de producción de biomasa de sotol por hectárea es de 2,238.33 kg/ha; sin embargo, ésta puede fluctuar entre los 2,188.333 y 2,288.333 kg con 95% de confiabilidad.

4.1.4.- Muestreo sistemático

Consiste en localizar sitios de muestreo en la población de acuerdo a un patrón pre-establecido; es decir, que éstos guardarán distancias pre-fijadas entre sí.

La intensidad de muestreo estará dada por la siguiente expresión:

$$I M = \frac{T_s}{(D_s) (D_h)} \times 100 \quad (j)$$

donde:

I M = Intensidad de Muestreo

Ts = Tamaño del sitio de muestreo (m²)

Ds = Distancia entre sitios de muestreo (m)

Dh = Distancia entre hileras de sitios (m)

Por ejemplo, si un inventario se está levantando con sitios de 1,000 m² prefijados a 100 m entre sitio y 300 m entre hileras de sitios, y se desea conocer la intensidad de muestreo de este inventario, basta sustituir la información obtenida en la ecuación (j):

$$I M = \frac{1,000}{(100) (300)} \times 100 = 3.3$$

deduce que es necesario realizar 110 muestreos más para completar el tamaño de muestra adecuado.

Suponiendo que se ha realizado el muestreo anterior y se ha determinado una media de biomasa de sotol de 223.833 kg por sitio de 1,000 m², entonces en una hectárea se tienen 2,238.33 kg que, multiplicados por 100 ha del predio resultaría una biomasa de 223,833 kg ó 223.833 ton.

Este tipo de muestreo proporciona, información estadística, expresada en términos de confiabilidad y precisión, misma que en este ejemplo fue pre-fijada en 5 kg por sitio y que transformada a unidad de superficie (ha) representa 50 kg; recuérdese que la probabilidad o confiabilidad establecida en un principio fue del 95% y que la media de la biomasa por sitio fue de 223.833 kg o 2,238.333 kg/ha. En base a lo anterior se calcula el intervalo de confianza con la siguiente expresión:

$$P[\bar{X} - d \leq \mu \leq \bar{X} + d] = 1 - \alpha \quad (i)$$

Donde:

μ = Media poblacional

\bar{X} = Media muestral

d = Precisión

1 - α = Confiabilidad

Sustituyendo:

$$P[2,238.333 - 50 \leq \mu \leq 2,238.33 + 50] = 1 - 0.05$$

$$P[2,188.333 \leq \mu \leq 2,288.333] = 95\%$$

punto prefijado. En cada cuadrante se localiza la planta más cercana de cualquier especie, al punto central, y se mide la distancia en metros entre este punto y el centro de planta (Figura 4).

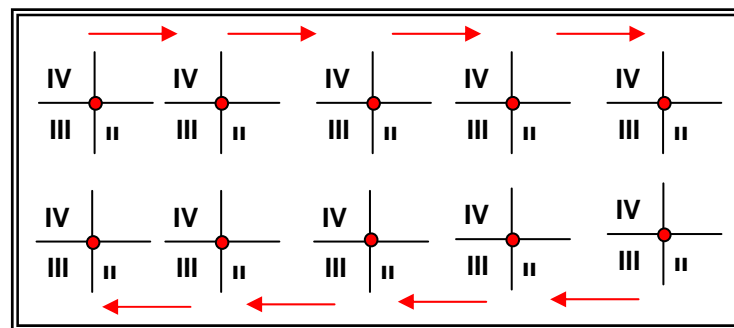


Figura 3. Representación gráfica de selección de transecto, puntos y cuadrantes.

Las distancias punto-planta de todos los puntos y cuadrantes se suman y posteriormente se promedian para determinar la distancia media punto-planta (distancia media entre plantas), que elevada al cuadrado dará como resultado el área media por planta, la cual representa el promedio de superficie sobre la cual ocurre la planta. La densidad por hectárea se estima dividiendo la unidad de superficie (10,000 m²) entre el área media por planta.

Paralelamente a la medición punto-planta, se medirá en la misma planta el diámetro de la piña en centímetros, el cual se localiza en la tarifa de producción para la estimación del peso y otras variables de interés para el técnico, según el tipo de estudio que desee realizar.

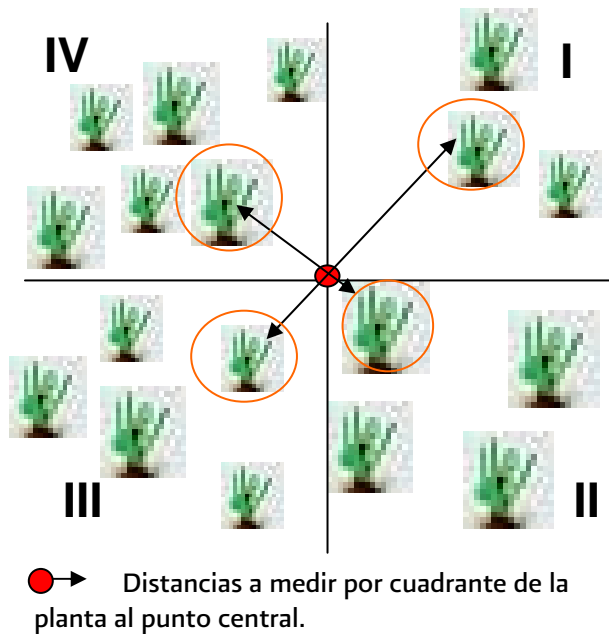


Figura 4. Criterios para la selección de planta a medir por cada cuadrante.

A continuación, se ejemplifica en forma breve la evaluación de existencias en un predio supuesto, mediante el muestreo de cuadrantes en punto central. Se debe considerar que en este tipo de muestreo, es necesario registrar cualquier individuo del estrato arbustivo que se encuentre más cercano al punto central del cuadrante, ya que si sólo se registra a la especie de interés (en este caso sotol), los resultados del muestreo sobreestimarán a la población y, por lo tanto, a las existencias.

Concentrado de datos de producción de biomasa en el pre-muestreo.

Sitio	X	X ²
1	145.588	21195.86574
2	134.377	18057.17813
3	184.731	34125.54236
4	144.474	20872.73668
5	162.339	26353.27092
Total	771.509	120605.27383

$$\Sigma(X_i)^2 \quad 595226.1371$$

$$\Sigma(X_i^2) \quad 120605.27383$$

Aplicando y sustituyendo la ecuación (f) se tiene:

$$S^2 = \frac{120605.27383 - \frac{595226.1371}{5}}{4}$$

$$S^2 = 1560.0504 / 4 = 390.0126$$

Luego, aplicando y sustituyendo en la ecuación (g) se tiene:

$$n = \frac{1000 (2.776)^2 (390.0126)}{1000 (5)^2 + 2.776 (390.0126)}$$

$$n = 115.22 = 115$$

Una vez que se ha determinado que son necesarios 115 sitios de muestreo de 1,000 m² cada uno, entonces se

Muestreo 1		
Planta	Diámetro de piña (m)	Peso de piña (kg)
1	33	21.274
2	20	6.737
3	42	31.389
4	50	40.285
5	53	43.639
6	16	2.264
		Σ 145.588

Muestreo 2		
Planta	Diámetro de piña (m)	Peso de piña (kg)
1	35	23.511
2	37	25.747
3	23	10.091
4	42	31.389
5	53	43.639
		Σ 134.377

Muestreo 3		
Planta	Diámetro de piña (m)	Peso de piña (kg)
1	25	12.38
2	39	27.984
3	43	32.457
4	16	2.264
5	23	10.091
6	55	45.876
7	57	48.112
8	19	5.619
		Σ 184.731

Muestreo 4		
Planta	Diámetro de piña (m)	Peso de piña (kg)
1	30	17.919
2	16	2.264
3	35	23.511
4	43	32.457
5	16	2.264
6	29	16.801
7	46	35.812
8	26	13.446
		Σ 144.474

Muestreo 5		
Planta	Diámetro de piña (m)	Peso de piña (kg)
1	47	36.930
2	30	17.919
3	16	2.264
4	35	23.511
5	28	15.683
6	31	19.038
7	56	46.994
		Σ 162.339

Punto	Cuadrante	Especie	Distancia al centro (m)	Diámetro de piña (cm)
1	I	A	1.50	
	II	sotol	2.04	25
	II	B	0.50	
	IV	sotol	2.78	43

Punto	Cuadrante	Especie	Distancia al centro (m)	Diámetro de piña (cm)
2	I	sotol	1.86	33
	II	C	0.80	
	III	sotol	0.83	29
	IV	sotol	2.37	54

Punto	Cuadrante	Especie	Distancia al centro (m)	Diámetro de piña (cm)
3	I	D	0.70	
	II	sotol	2.40	31
	III	sotol	6.0	16
	IV	sotol	11.40	48

Punto	Cuadrante	Especie	Distancia al centro (m)	Diámetro de piña (cm)
4	I	sotol	8.70	55
	II	E	0.70	
	III	sotol	3.90	42
	IV	D	0.22	

Punto	Cuadrante	Especie	Distancia al centro (m)	Diámetro de piña (cm)
5	I	sotol	6.40	45
	II	sotol	2.20	32
	III	sotol	3.20	40
	IV	F	2.40	

$$\Sigma = 60.09$$

$$\Sigma = 493$$

$$\bar{X} = 3.045$$

$$\bar{X} = 37.92 = 38$$

Cálculos.

Distancias:

$$\Sigma = 60.09 \quad \bar{X} = 3.045$$

Diámetro:

$$\bar{X} = 38$$

$$DMP = \frac{\Sigma \text{ distancias}}{\text{No. Cuadrantes}} = \frac{60.09}{20} = 3.045 \text{ (a)}$$

Donde:

DMP= Distancia Media entre Plantas

$$AMP = (DMP)^2 = (3.045)^2 = 9.27 \text{ (b)}$$

Donde:

AMP = Área Media por Planta

$$DTP = \frac{\text{Unidad de superficie}}{\text{Área Media por Planta}} = \frac{10,000}{9.27} = 1,078.75 \text{ (c)}$$

Donde:

DTP = Densidad total de plantas por hectárea

Cálculo de la densidad relativa por especie:

t = Valor tabular de "t Student" con n-1 grados de libertad

d = Precisión resultante

α = Probabilidad de error pre-establecida

N = Número total de sitios en la población

n = Tamaño de muestra

S = Desviación estándar

La producción promedio de biomasa/sitio se multiplica por 10 para estimar la producción promedio/ha. Finalmente, la producción promedio /ha se multiplica por el número de hectáreas para calcular la producción del rodal o predio, si no se rodalizó, en caso contrario se suma la producción de todos los rodales para determinar las existencias del predio.

Ejemplo:

Se demanda precisar las existencias de biomasa de sotol en un predio de 100 ha. La evaluación requiere una precisión de 5 kg por sitio y confiabilidad de 95%; en cada sitio se midió el diámetro de la piña y se obtuvo el peso por medio de la tabla de producción del Cuadro 1. Los datos "teóricos" fueron determinados en cinco sitios de muestreo de 1,000 m², utilizados como pre-muestreo.

Donde:

n = Tamaño de muestra

N = Número total de sitios en la población

S² = Varianza muestral

t = Valor tabular t de "student" con n-1 grados de libertad

d = Precisión pre-establecida

α = Probabilidad de error pre-establecida

En el caso de que el tamaño de muestra sea mayor al número de sitios del pre-muestreo, será necesario completar el número de sitios del tamaño de muestra calculado, mediante muestreo en campo. Con los datos del muestreo definitivo se estima la media de la población a partir de las siguientes ecuaciones:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

$$P = [\bar{X} - d \leq \mu \leq \bar{X} + d] = 1 - \alpha$$

$$d = \frac{(t_{\alpha/2, n-1 \text{ g.l.}})}{\sqrt{n}} \sqrt{\left(\frac{N-n}{N} \right)}$$

Donde:

P = Probabilidad

μ = Media poblacional

\bar{X} = Media muestral

$$\text{DR} = \frac{\text{No. de individuos por especie}}{\text{Total de individuos de todas las especies}} (100) (d)$$

Donde DR = Densidad Relativa (%)

Entonces:

Especie	No. de Individuos por especie/ total de las especies	DR (%)
Sotol	13/20 (100) =	65
"A"	1/20 (100) =	5
"B"	1/20 (100) =	5
"C"	1/20 (100) =	5
"D"	2/20 (100) =	10
"E"	1/20 (100) =	5
"F"	1/20 (100) =	5

Cálculo de la Densidad por Especie (DE):

$$DE = \frac{DR}{100} \text{ DTP (e)}$$

En este caso se calcula solamente para sotol ya que es la especie de interés:

$$DE = 65/100 (1,078.75) = 701.19 = 701 \text{ plantas/ha}$$

Con la densidad de 701 plantas/ha y el diámetro promedio de la piña de 37.92 = 38 cm, y que al consultarse en la tabla equivale a 26.865 kg de biomasa por planta, entonces:

$$701 \text{ plantas/ha} \times 26.865 \text{ kg} = 18832.37 \text{ kg/ha}$$

que es la biomasa de sotol por ha, y para conocer las existencias del rodal sólo se multiplican por su superficie. Finalmente, se suman las existencias de todos los rodales para determinar las existencias del predio a aprovechar.

Se sugiere que para tener una mayor confiabilidad en los datos, se realice el muestreo en dos o más líneas con puntos establecidos a 20 m de distancia, con el fin de que sea representativo de las características del rodal.

4.1.3.- Muestreo simple aleatorio

Este sistema de muestreo es más preciso y confiable, pero requiere de un mayor trabajo de campo y conocimientos básicos de estadística para aplicarlo.

Se rodaliza el predio y se calculan las superficies donde se distribuye la especie de interés, en este caso el sotol; se ubican sitios de muestreo de 1,000 m² de manera aleatoria, mismos que pasarán a formar parte del pre-muestreo que servirá de base para el cálculo de tamaño de muestra (número de sitios

a muestrear) de acuerdo a una precisión y confiabilidad preestablecida.

En cada sitio de muestreo se registra el diámetro de la piña y con éste se entra a la tabla de producción para estimar el peso de cada planta; la sumatoria de los pesos de todas las plantas en el sitio proporciona la producción por sitio.

A partir de los datos del pre-muestreo se calcula la varianza con la siguiente expresión:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n}}{n - 1} \quad (f)$$

Donde:

S^2 = Varianza muestral

X_i = Producción/sitio

n = Número de sitios del pre-muestreo

El tamaño de la muestra se calcula empleando la siguiente expresión:

$$n = \frac{N t_{\alpha/2}^2 S^2}{N d^2 + t_{\alpha/2}^2 S^2} \quad (g)$$