

Uso de cartas de control para evaluar la calidad de los enemigos naturales (Use of control charts to evaluate the quality of natural enemies)

Badii, M.H., A. Guillen & J.L. Abreu

UANL, San Nicolás de los Garza, N.L., México, mhbadiiz@gmail.com

Resumen. Se describe y explica primero el concepto del uso de las cartas de control para la evaluación del desempeño de los enemigos naturales en los programas de control biológico, como una medida de asegurar la calidad deseada. Además se presenta un caso en donde demuestra la aplicación de del uso de la carta de media para este objetivo.

Palabras clave: Cartas de control, control de calidad, enemigos naturales

Abstract. The concept of the utilization of control charts as a control quality measure to evaluate the effectiveness of natural enemies in biological programs is described and explained. Furthermore, a case study showing the usage of the mean control chart is presented.

Key words: Control charts, natural enemies, quality control.

Introducción

Durante el procesos de la cría masiva de los enemigos naturales en los laboratorios, algunos factores como la fecundidad, la longevidad, la alimentación y la capacidad de búsqueda pueden estar afectados con el número de las generaciones en que se mantenga la población en laboratorio (Arredondo et al., 2000). Los enemigos naturales serán instrumentos principales en los programas de manejo integrados de plagas, solamente cuando existe disponibilidad constante de organismo con alto nivel de calidad y también cuando hay suficientes conocimiento y apoyo técnico para los usuarios (agricultores) para el empleo apropiado de éstos organismos benéficos (Bolkmans, 2003). Estos requerimientos demandan desafíos fuertes para los productores de los enemigos naturales en todas las fases de la producción, y aspectos logísticos relacionados con los organismos benéficos.

Las cartas de control son representaciones gráficas que constituyen la base para decidir si las variaciones en el nivel de calidad se deben a causas asignables o a las causas comunes (Cruz y Badii, 2005, Doty, 1991).

Se clasifican las cartas de control en cuatro grupos de acuerdo al tipo de datos disponibles para el análisis.

1. Cartas “m”. Las cuales se basan en el valor promedio (m) de los datos muestrales.
2. Cartas “R”. Las cuales se basan en el valor del rango (R) de los datos de la muestra.
3. Cartas “P”. Basadas en el valor de la proporción (P) de los datos de la muestra.
4. Cartas “np”. basadas en el valor de la magnitud (np) de los datos de la muestra.

Métodos

Para el análisis estadístico de calidad de los enemigos naturales, se emplearon los métodos según Montgomery (2013), lo cual consisten en lo siguiente.

- A. **Construcción de una carta de control.** Consta de 5 etapas (Naumann, 2003).
 1. Se presentan las cartas (“m”, “R”, “P”, “np”) para monitorear el nivel de calidad.
 2. En cada carta se establecen los “límites de control”.
 3. Se toman muestras periódicas y se grafican los puntos correspondientes en la carta de control.

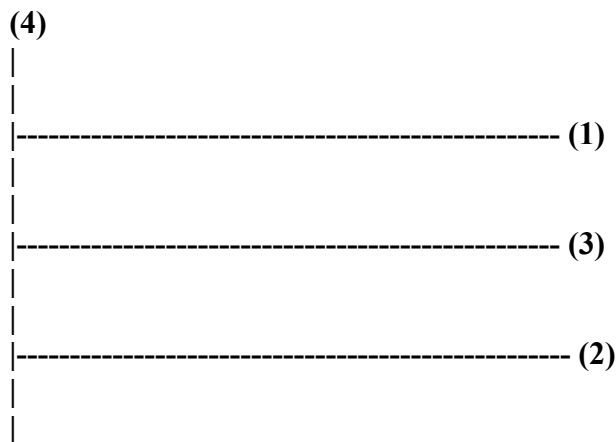


Figura 1. Estructura de una carta de media.

5. Si hay puntos que se ubican fuera de límites de control, esto indica que el proceso está fuera de control y por tanto, se debe tomar medidas correctivas.

6. Algunos patrones de datos dentro de límites de control pueden indicar posibles problemas de control de calidad y por tanto hay que seguir tomando medidas correctivas.

En la Figura 1, la línea 1 indica el nivel superior de control o UCL, la línea 2 indica el nivel inferior de control o LCL, la línea 3 indica la media del proceso cuando está bajo el control, y la línea vertical o 4 indica la escala de la medición para la variable (en este caso la media) bajo el estudio.

B. Selección de UCL y LCL

Se seleccionan estas dos líneas de tal forma que cuando el proceso está bajo el control, existe una alta probabilidad de que los valores de la media se ubiquen entre estos dos límites. Si hay valores de la media que estén fuera de los límites de control (UCL y LCL), entonces existe una evidencia estadística que el proceso se encuentra fuera del control.

Ejemplo de carta de la media “m” cuando la μ y σ_m , son conocidos Tasa reproductiva de un depredador

Vamos a suponer que cuando el proceso reproductivo de un adulto depredador hipotético está funcionando de forma correcta, es decir, que el proceso está bajo el control, tenemos un promedio de 16.05 huevecillos por la hembra grávida de depredador por unidad de tiempo (una semana) con una desviación estándar (σ) igual a 0.10.

Se toma una muestra de la reproducción del depredador. Se supone además que el proceso reproductivo del depredador sigue una distribución normal. Bajo este supuesto tenemos que recordar los siguientes puntos.

1. Si la reproducción está funcionando correctamente, el valor esperado o la media de los valores, es decir la “m” es igual a la “ μ ” de la población.
2. Si tomamos varias muestras de tamaño “n” la desviación estándar de la media de estas muestras será: $\sigma_m = (\sigma/\sqrt{n})$ conocido como error estándar de la media.
3. Como el proceso reproductivo del depredador tiene una distribución normal, entonces, para cualquier muestra del tamaño “n”, la distribución muestral de las medias sigue una distribución normal con una media igual a “ μ ” y una desviación estándar igual a “ σ_m ”.

Uso de distribución muestral de la media

Se emplea la distribución muestral de la media para determinar ¿Cuáles son los valores razonables de la media cuando el proceso reproductivo está funcionando de forma correcta? En el control de calidad, se considera “como razonable” todo valor de la media no dista de la “ μ ” más menos de 3 “ σ_m ” (Wheelan, 2013).

Hay que recordar que en una distribución normal, 67% de los valores de una variable aleatoria se ubican dentro $\mu \pm 1 \sigma_m$, 95% de los valores de una variable aleatoria se ubican dentro $\mu \pm 2 \sigma_m$, 99% de los valores de una variable aleatoria se ubican dentro $\mu \pm 3 \sigma_m$, etc (Wheelan, 2013).

Por tanto si un valor de la media se ubica dentro del intervalo de $\mu \pm 3 \sigma_m$, entonces el proceso (en este caso la reproducción) está bajo el control. En otras palabras:

$$UCL = \mu + 3 \sigma_m$$

$$LCL = \mu - 3 \sigma_m$$

Regresando al ejemplo de arriba, se toman 10 muestras periódicas de forma aleatoria de un grupo de 6 depredadores hembra grávida y como se mencionó anteriormente se supone que se arrojaron los siguientes datos: la media reproductiva o la “m” es igual a 16.05 huevecillos por hembra por unidad de tiempo y la desviación estándar es igual a 0.10 huevecillos.

Ahora bien, el error estándar o $\sigma_m = (\sigma/\sqrt{n}) = 0.10 / \sqrt{6} = 0.04$, y por tanto los límites de control serán los siguientes:

$$UCL = \mu + 3 \sigma_m, = 16.05 + 3 (0.04) = 16.17$$

$$LCL = \mu - 3 \sigma_m = 16.05 - 3 (0.04) = 15.93$$

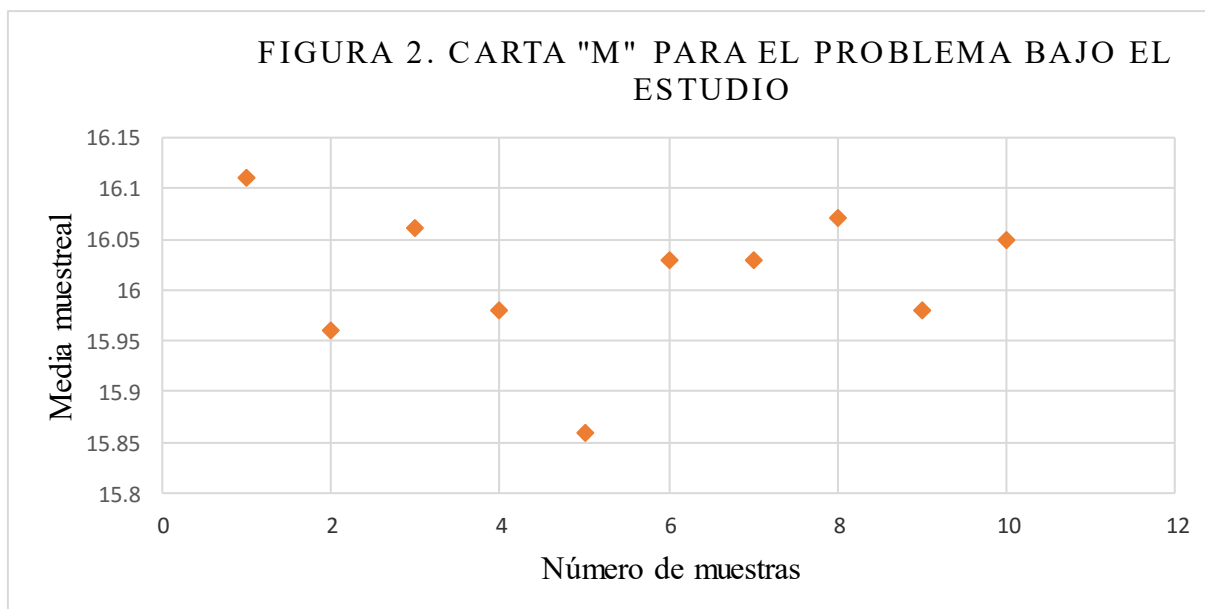


Figura 2. Carta de la media para la reproducción del depredador.

De la figura 2 se puede concluir lo siguiente:

1. La quinta muestra indica que el proceso reproductivo está fuera del control, ya que la quinta media está por debajo del límite inferior del control (LCL) lo cual es igual a 15.93. Esto indica que hay causas asignables que provocan esta desviación, es decir una cantidad menor de la estipulada de 15.93.
2. El hecho de que los demás valores de la media después del número 5 están dentro de los límites de control (16.17 y 15.93), esto es una indicación que la acción correctiva fue adecuada.

Caso:

**Control de calidad de la tasa reproductiva vía cartas de control de la media:
Aplicación en los programas de control biológico**

La cría masiva de los enemigos naturales, frecuentemente ocurre en empresas o laboratorios pequeños con poco conocimiento de las condiciones que pueden influir el desempeño de los enemigos naturales en el campo, y como consecuencia, esto resulta de los enemigos naturales con mala nivel de calidad y también con el fracaso en el control biológico. Esta hace que el control de calidad sea absolutamente necesario para los programas de control biológico (Lenteren,

2003). En la mayoría de las situaciones no hay acceso a los valores de μ y σ_m , por tanto, en estos caso es necesario estimar estos dos valores a partir de muestras tomadas del proceso cuando este proceso está bajo el control (Shoemaker & Kacker, 1988; Raiffa, 1997; Clemen y Riley, 2001).

Metodología

En análisis estadístico utilizado en esta investigación está basado en la metodología empleada según Montgomery (2013) y Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar (2014). Aquí se utiliza la carta de control de la media cuando los valores de la media y la desviación estándar son desconocidos.

Resultados y discusión

Ejemplo de la tasa reproductiva de un depredador (μ y σ_m , desconocidos)

Vamos a suponer que un laboratorio de la cría de enemigos naturales, produce diferentes especies de parasitoides y depredadores. Supongamos que uno de estas especies de depredadores tiene un promedio reproductivo de 3.5 huevecillos por hembra depredadora por una unidad de tiempo, esto cuando la reproducción está funcionando de forma correcta.

Supongamos que tomamos una muestra aleatoria de 5 depredadores por la primera unidad de tiempo y seguir este proceso del muestreo durante 20 unidades de tiempo.

Los resultados de estas observaciones de 5 depredadores durante 20 muestras se indican en la Tabla 1.

n	Observaciones					Media muestral
	1	2	3	4	5	
01	3.5056	3.5086	3.5144	3.5009	3.5030	3.5065
02	3.4882	3.5085	3.4884	3.5250	3.5031	3.5026
03	3.4897	3.4898	3.4995	3.5130	3.4969	3.4978
04	3.5153	3.5120	3.4989	3.4900	3.4837	3.5000
05	3.5059	3.5113	3.5011	3.4773	3.4801	3.4951
06	3.4977	3.4961	3.5050	3.5014	3.5060	3.5012
07	3.4910	3.4913	3.4976	3.4831	3.5044	3.4935
08	3.4991	3.4853	3.4830	3.5083	3.5094	3.4970
09	3.5099	3.5162	3.5228	3.4958	3.5004	3.5090

10	3.4880	3.5015	3.5094	3.5102	3.5146	3.5047
11	3.4881	3.4887	3.5141	3.5175	3.4863	3.4989
12	3.5043	3.4867	3.4946	3.5018	3.4784	3.4932
13	3.5043	3.4769	3.4944	3.5014	3.4904	3.4935
14	3.5004	3.5030	3.5082	3.5045	3.5234	3.5079
15	3.4846	3.4938	3.5065	3.5089	3.5011	3.4990
16	3.5145	3.4832	3.5188	3.4935	3.4989	3.5018
17	3.5004	3.5042	3.4954	3.5020	3.4889	3.4982
18	3.4959	3.4823	3.4964	3.5082	3.4871	3.4940
19	3.4878	3.4864	3.4960	3.5070	3.4984	3.4951
20	3.4969	3.5144	3.5053	3.4985	3.4885	3.5007

Procedimiento

1. Durante 20 unidades de tiempo, tomar muestras del número de los huevecillos puestos por cada una de las 5 adultas hembra depredadora. Cuantificar el promedio y la desviación estándar de cada muestra.
2. Estimar el promedio de las 20 medias que fueron calculadas en la etapa número 2.
3. Estimar también el promedio de las 20 desviaciones estándares que también fueron calculados en la etapa número 2. Sin embargo, en la práctica es más sencillo utilizar el rango en lugar de la desviación estándar (ver el procedimiento adelante).
4. Usar estos valores de promedio para construir la carta de control para la media y su desviación para el proceso de la reproducción del depredador.

Al estimar la media de las medias y la media de los rangos de todas las 20 muestras, arrojamamos los siguientes valores. $M = 3.4995$ y $R_m = 0.0253$, donde, M = Media de las 20 medias, y R_m = media de los 20 rangos.

Sabemos que los límites de control (UCL y LCL) para la carta de la media (Wheelan, 2013) son:

$$UCL = \mu + 3 \sigma_m$$

$$LCL = \mu - 3 \sigma_m$$

$$\text{Límites de control} = \mu \pm 3 \sigma_m$$

Donde, $\mu = M =$ La media de las 20 medias, y $\sigma_m = (\sigma/\sqrt{n})$, donde, $\sigma =$ la media de las 20 desviaciones estándares. Sin embargo, para la simplicidad operativa se puede utilizar el rango en lugar de la desviación estándar. Y esto es lo que hacemos aquí.

De la teoría estadística se sabe que $\sigma = R_m / d_2$, donde, $R_m =$ media de los 20 rangos y d_2 es un constante cuyo valor depende del tamaño de la muestra. Los valores de d_2 , vienen de una Tabla del “Manual on presentation of data control chart analysis” (Tabla 2) de “American Society for testing and materials = ASTM”.

Para asegurar la calidad de los enemigos naturales producidos en los laboratorios de cría masiva en América del Norte, los productores de los organismo benéficos juntaron en 1990 con los consumidores (agricultores), los investigadores y agentes gubernamentales para crear un sub-comité de la Sociedad Americana para experimenta materiales (American Society for testing and materials = ASTM) para el desarrollo de la aseguramiento la calidad y para 2001 éste sub-comité había creado un borrador para 16 especies de los enemigos naturales (Glenister et al, 2003).

Por ejemplo (Tabla 2), para un tamaño de la muestra igual a 5 (como es nuestro caso del ejemplo de la tasa reproductiva de 5 depredadores por unidad de tiempo), el valor de d_2 , es igual a 2.326.

Por tanto, según la ecuación:

$$\sigma_m = (\sigma/\sqrt{n})$$

Sustituyendo R_m / d_2 , por la σ tendremos:

$$\sigma_m = ([R_m / d_2]/\sqrt{n}) = (1/[d_2\sqrt{n}])R_m$$

Acordar que en base a la teorema de límite central (Wheelan, 2013) los

$$\text{límites de control (Wheelan, 2013)} = \mu \pm 3 \sigma_m$$

Debido a que $\mu = M$, límites de control = $M \pm 3 \sigma_m$

Tendremos,

$$\text{Límites de control} = M \pm 3 (1/[d_2\sqrt{n}])R_m = M \pm (3/[d_2\sqrt{n}])R_m$$

Según la Tabla 2, $(3/[d_2\sqrt{n}]) = A_2$, donde, el valor de A_2 , depende del tamaño de la muestra, en este caso, para $n = 5$, el valor de $A_2, = 0.577$

Por tanto,

$$\text{Límites de control} = M \pm A_2 R_m$$

$$\text{Límites de control} = 3.4995 \pm 0.577 (0.0253) = 3.4995 \pm 0.0146$$

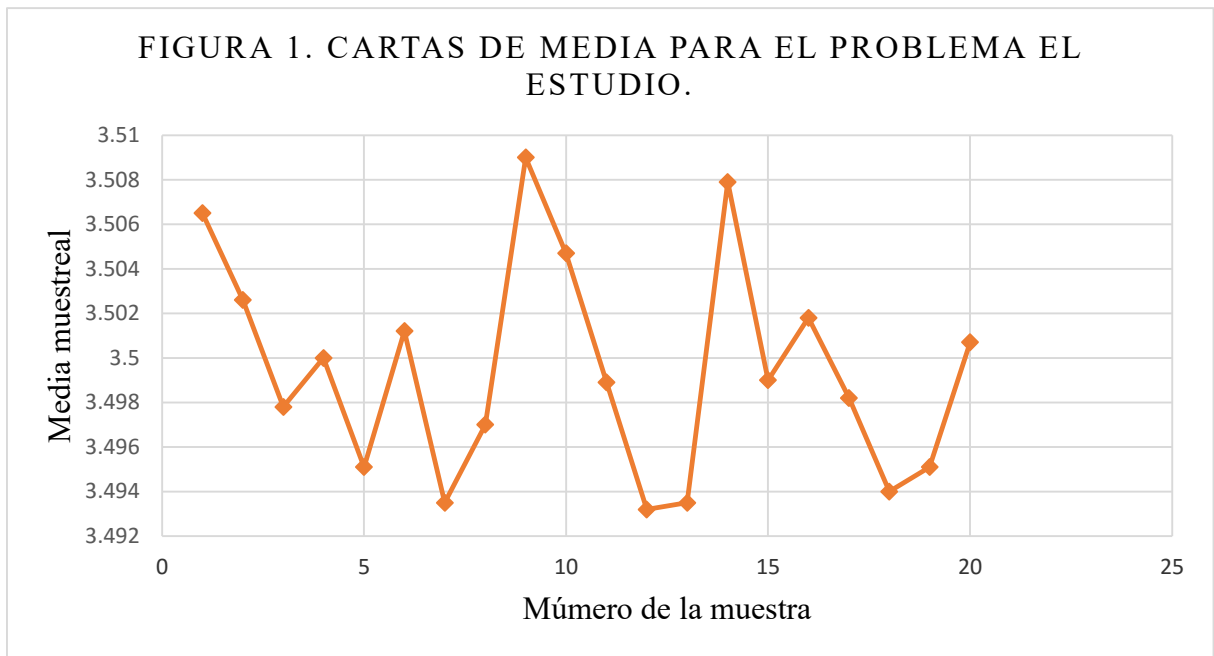
Es decir,

$$\text{UCL} = 3.4995 + 0.0146 = 3.514$$

$$LCL = 3.4995 - 0.0146 = 3.485$$

Tabla 2. Valores de constantes según el tamaño de la muestra (n).

<i>n</i>	<i>d</i> ₂	<i>A</i> ₂	<i>d</i> ₃	<i>D</i> ₃	<i>D</i> ₄
02	1.128	1.880	0.853	0.000	3.267
03	1.693	1.023	0.888	0.000	2.574
04	2.059	0.729	0.880	0.000	2.292
05	2.326	0.577	0.864	0.000	2.114
06	2.534	0.483	0.848	0.000	2.004
07	2.704	0.419	0.833	0.076	1.924
08	2.847	0.373	0.820	0,136	1.864
09	2.970	0.337	0.808	0.184	1.816
10	3.078	0.308	0.797	0.223	1.777



Conclusión

En la Figura 1. Se puede observar la carta de la media para la tasa reproductiva del depredador con límite superior de control igual a 3.514 y el límite inferior de control igual a 3.485. Como se indica de forma clara en esta figura, ninguno de los valores muestrales cruzan ni el límite superior ni el límite inferior del control, por tanto se concluye que el proceso reproductivo del depredador bajo del estudio se encuentra bajo el control y por ende la reproducción ocurre a una tasa correcta para poder efectuar las transacciones de la venta del enemigo natural y su liberación oportuna en el campo.

Referencias

- Arredondo, H.C., M.H. Badii, M. perales, A.E. Flores, H. Quiróz y M. Vázquez. 2000. Producción masiva de enemigos naturales. Pp. 107-119. In: M:H. Badii, A.E. Flores y L.J. Galán. Edit. Fundamentos y Perspectivas de Control Biológico. UANL, Mty.
- Doty, L.A. 1991. Statistical process Control. Industria Press, New York.
- Bolkmans, K.J.F. 2003. State of affairs and future directions of product quality assurance in Europe. Pp. 215-224. In: J.C.van Lenteren. Edited. Quality Control and Production of Biological Control Agents: Theory and Testing Procedures. IOBC, Amsterdam.
- Clemen, R.T. & T. Riley. 2001. Making Hard decisions with Decision Tools. Duxbury Press, London.
- Cruz, J. y M.H. Badii. 2005. Calidad de clase mundial: implementación de la 6σ . Pp. 53-66. In: M.H. Badii y J. Castillo. Edit. Formación de Investigadores. UANL, Mty.
- Glenister, C.S., A. Hale & A. Lucz. 2003. Quality assurance in North America: merging customers and producers needs. Pp. 205-214. In: J.C.van Lenteren. Edit. Quality Control and Production of Biological Control Agents: Theory and Testing Procedures. IOBC, Amsterdam.
- Gutiérrez Pulido, H. & R. de la Vara Salazar. 2014. Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma. McGraw-Hill. Médico.
- Montgomery, D. 2013. Introduction to Statistical Quality Control. John Wiley & Sons, new York.
- Naumann, E. 2003. pp. 631-640. Cluster generated six sigma. 54th Annual Quality Proceedings.USA.
- Raiffa, H. 1997. Decision Analysis. McGraw-Hill. New York.

Shoemaker, A.C. & R.N. Kacker. 1988. A methodology for planning experiments in robust product and process design. *Quality and reliability Engineering International*, 4:95-103.

Wheelan, C. 2013. *Naked Statistics*. Norton & Company. Ltd. London.