

# Réplica libro: Zero Acceptance Number Sampling Plans Squeglia (2008)

KEVIN GARCÍA<sup>1,a</sup>, ALEJANDRO VARGAS<sup>1,b</sup>

<sup>1</sup>DEPARTAMENTO DE ESTADÍSTICA, UNIVERSIDAD DEL VALLE, CALI, COLOMBIA

## Resumen

Los métodos de muestreo tipo aceptación y rechazo juegan un papel sumamente importante en el área de control de calidad, de aquí que día a día se desarrollen nuevas técnicas que optimicen los procesos de calidad. En el siguiente artículo se verán replicadas las propuestas de Squeglia en cuanto a cómo trabajar con un método en el que se impone como requisito de aceptación cero defectuosos en la muestra. Se realizaron comparaciones entre los métodos tradicionalmente utilizados, con el método  $c=0$ ; para estas comparaciones se utilizaron curvas características de operaciones, valores de AOQL, probabilidades de aceptación, y todo esto en contraste con diferentes tamaños de muestra, donde observamos que el método propuesto en comparación con el método MIL-STD-105E/ANSI Z1.4 protegen aún más al consumidor, siendo este método mas estricto a la hora de aceptar lotes con cantidades “grandes” de defectuosos. El método por otra parte “castiga” al productor, ya que si este no tiene una calidad cercana al 100%, tiende a rechazar muchos más lotes.

## 1. Introducción

Squeglia (2008) nos muestra en su libro una comparación bastante completa entre el muestreo de aceptación y rechazo para atributos por el método MIL-STD-105E/ANSI Z1.4 y los planes de muestreo  $c=0$ , dichas comparaciones se realizan en términos de tamaños de muestra, curvas características de operación y del AOQL (Máximo porcentaje de defectuosos esperado). En este artículo se tratará de replicar algunos de los resultados y comparaciones obtenidos por Squeglia. Para que este sea legible, se darán unos conceptos introductorios y se contextualizará al lector acerca del funcionamiento de estos dos planes de muestreo de aceptación.

Algunos conceptos claves, que se mencionarán de aquí en adelante son:

- AQL (acceptable quality level). Representa el más pobre nivel de calidad del proceso del proveedor que el consumidor considera aceptable como un proceso promedio. La probabilidad de aceptar este nivel de calidad debe ser alta y se denota por  $(1 - \alpha)$ , donde  $\alpha$  es el riesgo del productor.
- LTPD (lot tolerance percent defective). Es el peor nivel de calidad que el consumidor esta dispuesto a aceptar en un lote individual. También se le conoce como nivel de calidad rechazable(RQL) y se denota por  $\beta$ (riesgo de consumidor).

---

<sup>a</sup>Universidad del Valle. E-mail: kevin.chica@correounivalle.edu.co

<sup>b</sup>Universidad del Valle. E-mail: jose.alejandro.vargas@correounivalle.edu.co

El AQL describe lo que el plan de muestreo aceptará y el LTPD describe lo que el plan de muestreo rechazará. Se desea designar un plan de muestreo que acepte un lote de producto particular en el AQL la mayoría de las veces y que lo rechace en el LTPD la mayor parte del tiempo.

- Curva Característica de Operación (OC). Mide el desempeño del plan de muestreo de aceptación. Da la probabilidad de aceptar un lote dependiendo del tamaño del lote, de la proporción de defectuosos en el lote, del tamaño de la muestra y del número de aceptación.
- AOQ: Calidad Promedio de Salida. Proporción promedio de unidades defectuosas entre aquellas unidades que superan el proceso de inspección. (Este concepto es una forma de medir el efecto de un plan de muestreo sobre la calidad que se tendrá después de aplicarlo). Se calcula como  $AOQ = P_a * P$ , donde  $P_a$  es la probabilidad de aceptación y  $P$  es la proporción real de defectuosos.
- AOQL: Máxima Calidad Promedio de Salida. Se calcula como  $Max(AOQ)$

## 2. MIL-STD-105E/ANSI Z1.4

La norma MIL-STD-105E es un esquema de muestreo que ideó el gobierno de Estados Unidos para sus adquisiciones durante la Segunda Guerra Mundial. MIL-STD-105E está diseñada para muestreo de atributos lote por lote. Usualmente se usa un AQL entre 0,10 a 10%. Los planes AQL tienen eficacia máxima si rechaza suficientes lotes para que sea conveniente mejorar la calidad del producto cuando el fabricante produce un nivel de calidad peor que el AQL y si el plan rechaza muy pocos lotes cuando el fabricante produce un nivel de calidad mejor que el AQL.

Para utilizar un plan de muestreo indexado según AQL como la norma MIL-STD-105E se deben seguir los siguientes pasos:

- Establecer el valor de AQL.
- Determinar el tamaño del lote N.
- Determinar el nivel de inspección: generalmente inspección nivel II (normal).
- Determinar el plan de muestreo: muestreo sencillo, doble o múltiple.
- Determinar la clave de tamaño de muestra (letra). Ver tabla 1 Apéndice A.
- Determinar el tamaño de muestra y el número de aceptación. Ver tabla 2 Apéndice A.
- Seleccionar la muestra: se debe tomar del lote al azar.
- Inspeccionar la muestra: se cuentan los artículos defectuosos. Si el número que resulta no supera el número de aceptación que se encontró en la tabla se acepta el lote. En caso contrario se rechaza.

## 3. Planes de muestreo de aceptación c=0

Los planes “Aceptar en ninguno”, comúnmente llamados planes  $C = 0$ , son planes de muestreo de lotes para datos de atributos diseñados de tal manera que si se encuentra un defecto en la muestra inspeccionada, el lote se rechaza. El tamaño de muestra se puede encontrar directamente con la fórmula

$$n = \frac{\ln(\beta)}{\ln(1 - LTPD)}$$

donde se deben determinar valores para  $\beta$  (usualmente 0.1) y *LTPD* mencionados en la introducción. Se procede igual que en el método anterior, pero en este caso, si el número de defectuosos es mayor o igual a 1, se rechaza el lote.

## 4. Comparación y resultados

Mientras el ANSI (MIL-STD-105) es un sistema AQL (protege al productor - Si la calidad está en el AQL, nos aseguramos de que se pueda aceptar el lote),  $C = 0$  es un sistema LTPD (protege al consumidor - si la calidad está en el LTPD nos permite asegurarnos de que rechazamos).

Lo primero que trata de mostrar Squeglia en su libro, son los efectos de los números de aceptación en la curva OC, para ello compara dos planes de muestreo, uno con un tamaño de muestra  $n = 125$  y un número de aceptación  $c = 10$ , y el otro con un tamaño de muestra  $n = 18$  y un número de aceptación  $c = 0$ . La figura 1 es la obtenida por nosotros por medio del software R Core Team (2017), para evaluar estos dos planes de muestreo. En ella se confirma lo que Squeglia afirmaba “Con el número de aceptación establecido en cero, tenemos una mayor protección en el nivel LTPD con un tamaño de muestra de 18, en comparación con un plan de muestreo de ANSI Z1.4 que tiene un tamaño de muestra de 125 con un número de aceptación de 10”

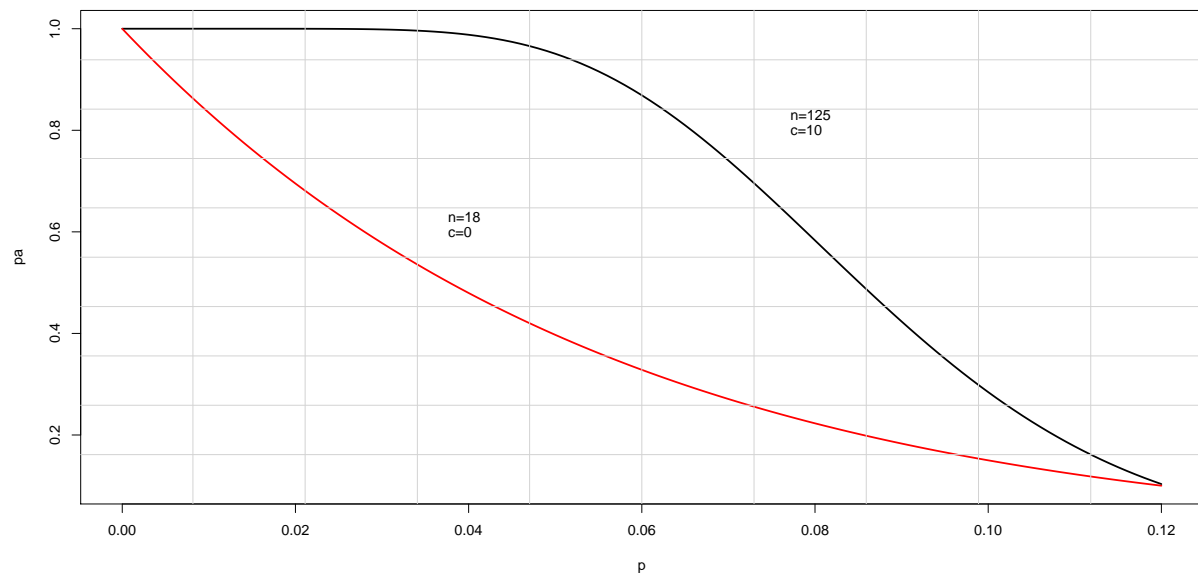


FIGURE 1: Efecto del número de aceptación en la curva característica de operación

Otro aspecto importante que se compara en este libro, es el tamaño de muestra necesario para dos niveles de AQL establecidos, en la tabla 1 se observa la comparación que obtuvimos con la ayuda del paquete Marroquin (2016) para el ANSI Z1.4 y con código propio para los planes  $c=0$ , y además, le añadimos los riesgos del productor y del consumidor que se podrían dar con cada uno de los planes de muestreo.

Como lo menciona Squeglia, se logra apreciar que los planes  $c=0$  brindan una protección igual o mayor al nivel de riesgo del consumidor de 0.1. También se observa que se realiza menos inspección (el tamaño de muestra es considerablemente inferior para valor de AQL mayores).

Método	AQL	n	c	$\alpha$	$\beta$
<b>ANSI Z1.4</b>	0.01	125	3	0.03745	0.0997
	0.04	125	10	0.01191	0.0998
<b>Planes C=0</b>	0.01	42	0	0.34434	0.0997
	0.04	18	0	0.52040	0.09975

TABLE 1: Comparación tamaños de muestra ambos planes

Squeglia también hace énfasis en el concepto de AOQL, él lo define como el máximo promedio de calidad saliente de una estación de inspección para un plan de muestreo en particular, en palabras propias, el AOQL lo podríamos definir como el peor nivel de calidad con el que se espera trabajar bajo un plan de muestreo específico. El autor ejemplifica esto mostrando una curva AOQ para el plan de muestreo  $n = 50$  y  $c = 0$ , el AOQL se encuentra en el punto máximo de esta curva. En la figura 2 se pueden observar los resultados replicados. De esta gráfica podemos decir que no importa qué tan mala sea la proporción de defectuosos en los lotes que entran, la calidad promedio de salida nunca será peor que 0.73% de defectuosos en promedio.

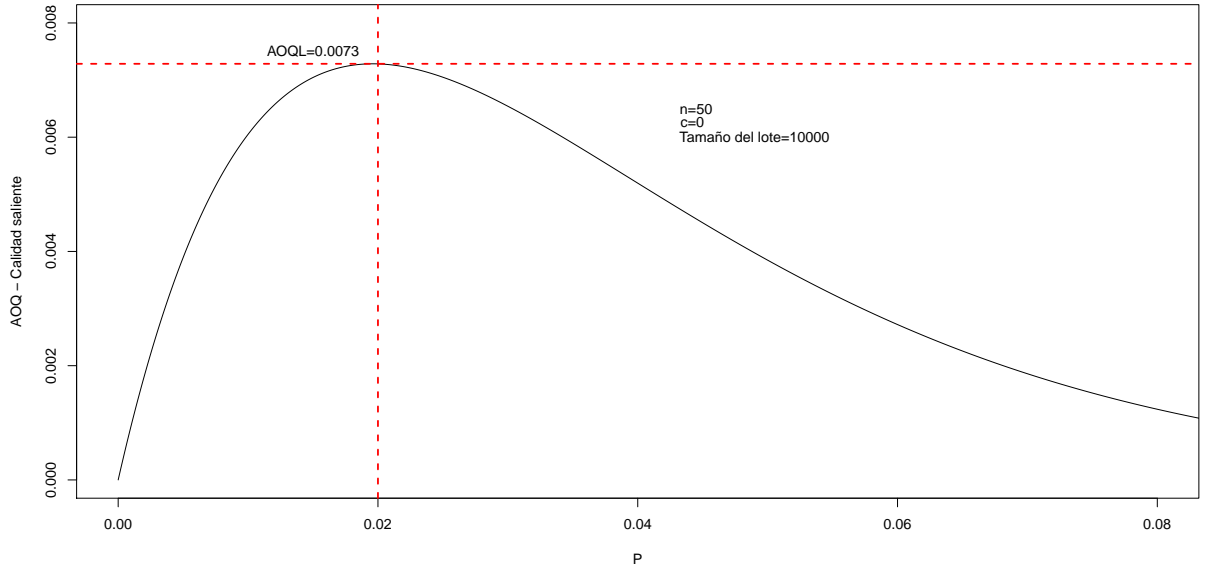


FIGURE 2: Curva AOQL

En la figura 3 se muestra una comparación de los valores de AOQL para varios tamaños de muestra y números de aceptación. Al igual que el autor, utilizamos infinitos tamaños de lote para construir este gráfico. Se puede apreciar que mientras mayor sea el tamaño de muestra  $n$ , y menor sea el número de aceptación  $c$ , el AOQL (máxima calidad promedio de salida) es menor, es decir, la calidad promedio de salida en el peor de los casos, va a presentar un porcentaje mucho menor de productos defectuosos. Para entender mejor esto, tomemos dos tamaños de muestra y dos números de aceptación puntuales, por facilidad, centrémonos en los tamaños de muestra  $n = 20$  y  $n = 80$  y en los números de aceptación  $c = 0$  y  $c = 1$ . El AOQL aproximado en cada una de estas intersecciones, se muestra en la tabla 2.

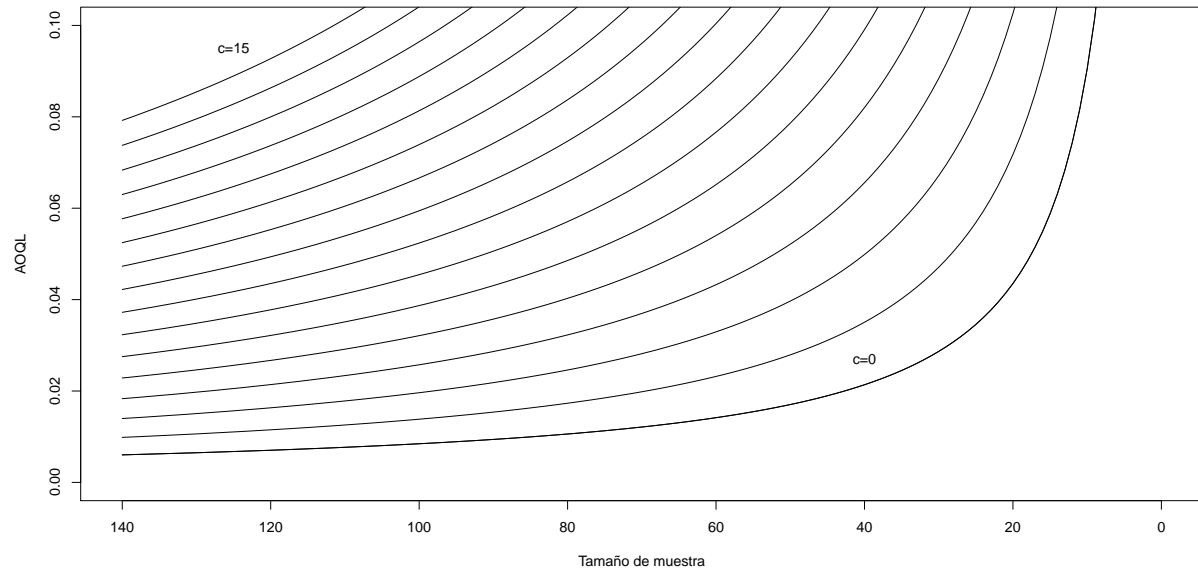


FIGURE 3: Curvas para determinar valores AOQL

Número de aceptación $c$	Tamaño de muestra $n$	
	20	80
0	0.0437	0.0108
1	0.072	0.0174

TABLE 2: AOQL por tamaño de muestra y número de aceptación

Se puede notar que cuando el tamaño de muestra es 20 y  $c = 0$  el AOQL es de aproximadamente 0.0437, y cuando  $c = 1$ , el AOQL aumenta a 0.072, es decir, cuando el número de aceptación aumenta en 1, el peor nivel de calidad que se espera, en términos de porcentaje de defectuosos aumenta en 2.83%. Cuando el tamaño de muestra es 80, podemos ver que cuando  $c = 0$  y  $c = 1$ , el AOQL es, respectivamente, de 0.0108 y 0.0174; en este caso, el peor nivel de calidad esperado, aumenta solo en 0.66% de defectuosos. Si se realiza la comparación por filas en lugar de por columnas, es decir, si comparamos en términos de tamaño de muestra fijando el número de aceptación, vemos que el AOQL presenta un aumento considerable cuando se pasa de 80 a 20 como tamaño de muestra. Con esto se confirma la interpretación inicial sobre el gráfico 3, mientras mayor sea el tamaño de muestra y menor sea el número de aceptación, la máxima calidad promedio de salida(AOQL) va a ser mucho menor en términos de porcentaje de defectuosos.

Finalmente, el autor realiza curvas de operación para diferentes tamaños de muestra por rangos de tamaños de lotes, se mostrará las curva de operación en el caso extremo superior (cuando el tamaño del lote es extremadamente grande, es decir, está entre 150001 y 500000 ), para observar el efecto del tamaño de muestra en las probabilidades de aceptación. Si desea ver el comportamiento del tamaño de muestra en lotes con tamaños correspondientes a otros rangos, puede revisar las curvas de operación en el apéndice B y obtener su propia interpretación. En la figura 4, se puede notar que con un tamaño de muestra muy pequeño(170) en comparación al tamaño del lote(150001-500000), la probabilidad de aceptar un lote con un porcentaje de defectuosos del 4% o más es casi nula.

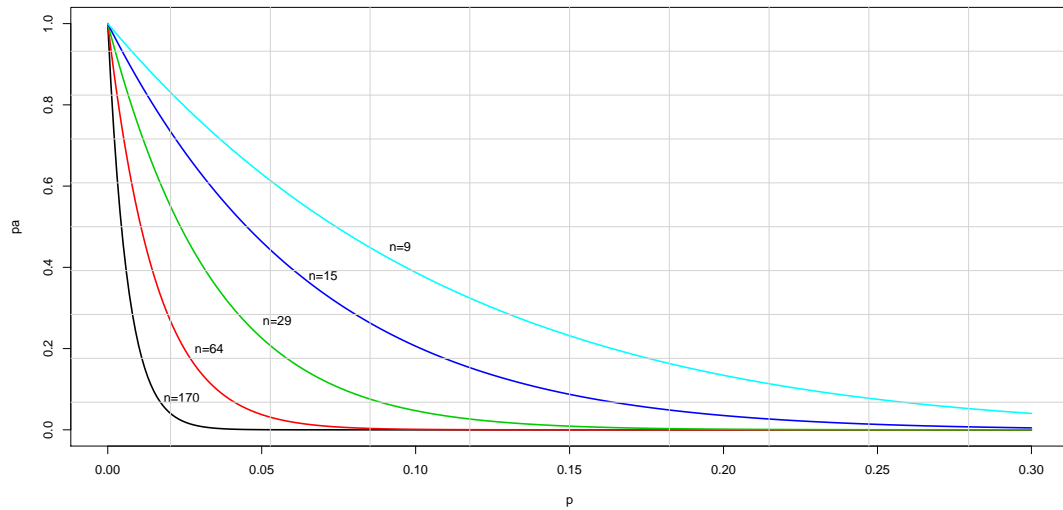


FIGURE 4: Curvas OC para planes de muestreo simples con  $C=0$ . Tamaño del lote 150001 - 500000

## 5. Conclusiones

Algunas conclusiones importantes que se obtienen, a partir de los resultados nuestros y del libro de Squeglia comparando ambos métodos de muestreo (MIL-STD-105E/ANSI Z1.4 y  $C=0$ ) de aceptación son:

1. Los planes de aceptación cero desarrollados por Squeglia están diseñados “para brindar una protección general al consumidor igual o mayor con menos inspección que los planes de muestreo MIL-STD-105 correspondientes”. Como se pudo observar en las probabilidades de aceptación, para lotes con niveles de defectos reales mayores que 0 pero menores que el RQL, es más probable que el enfoque  $C = 0$  rechace el lote (proteja al consumidor).
2. Si la calidad está cerca del 100%, los planes  $C = 0$  darán como resultado que se inspeccionen menos partes en total.
3. Los planes  $C=0$  pueden afectar considerablemente al productor, ya que, si la calidad no está cerca del 100%, los planes  $C = 0$  darán como resultado más lotes rechazados. Un plan estándar (ANSI Z1.4) teóricamente aceptaría un lote con el nivel de AQL de defectos el 95% del tiempo, mientras que el plan  $C = 0$  rechazaría con mucha mayor frecuencia.

## References

- Escobar, E. S. M. (2017), *Simulación de control estadístico de la calidad con lenguaje R*.
- Marroquin, E. (2016), *Planesmuestra: Functions for Calculating Dodge Romig, MIL STD 105E and MIL STD 414 Acceptance Sampling Plan*. R package version 0.1.  
[\\*https://CRAN.R-project.org/package=Planesmuestra](https://CRAN.R-project.org/package=Planesmuestra)
- R Core Team (2017), *R: A Language and Environment for Statistical Computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.  
[\\*https://www.R-project.org/](https://www.R-project.org/)

Squeglia, N. (2008), *Zero Acceptance Number Sampling Plans*, American Society for Quality.

# Appendix A. Tablas

Table I—Sample size code letters

(See 9.2 and 9.3)

Lot or batch size				Special inspection levels				General inspection levels		
				S-1	S-2	S-3	S-4	I	II	III
2	to	8		A	A	A	A	A	A	B
9	to	15		A	A	A	A	A	B	C
16	to	25		A	A	B	B	B	C	D
26	to	50		A	B	B	C	C	D	E
51	to	90		B	B	C	C	C	E	F
91	to	150		B	B	C	D	D	F	G
151	to	280		B	C	D	E	E	G	H
281	to	500		B	C	D	E	F	H	J
501	to	1200		C	C	E	F	G	J	K
1201	to	3200		C	D	E	G	H	K	L
3201	to	10000		C	D	F	G	J	L	M
10001	to	35000		C	D	F	H	K	M	N
35001	to	150000		D	E	G	J	L	N	P
150001	to	500000		D	E	G	J	M	P	Q
500001	and over			D	E	H	K	N	Q	R

FIGURE 5: Letra código del plan

Table II-A—Single sampling plans for normal inspection (Master table)

(See 9.4 and 9.5)

Sample size code letter	Sample size	Acceptance Quality Limits, <i>AQLs</i> , in Percent Nonconforming Items and Nonconformities per 100 Items (Normal Inspection)																																
		0.010	0.015	0.025	0.040	0.065	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1000							
		Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re		
A B C	2 3 5	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓		
D E F	8 13 20	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓		
G H J	32 50 80	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓		
K L M	125 200 315	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓		
N P Q	500 800 1250	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓		
R	2000	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓		

↓ = Use the first sampling plan below the arrow. If sample size equals, or exceeds, lot size, carry out 100 percent inspection.  
 ↑ = Use the first sampling plan above the arrow.  
 Ac = Acceptance number.  
 Re = Rejection number.

FIGURE 6: Tamaño de muestra

## Appendix B. Curvas de operación

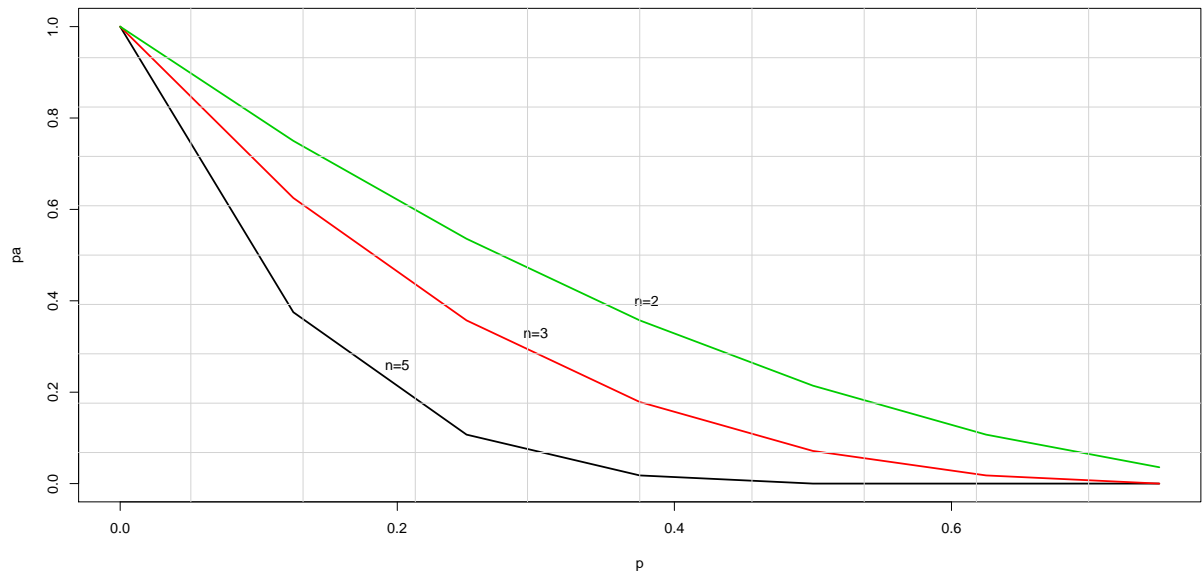


FIGURE 7: Curvas OC para planes de muestreo simples con  $C=0$ . Tamaño del lote 2 - 8

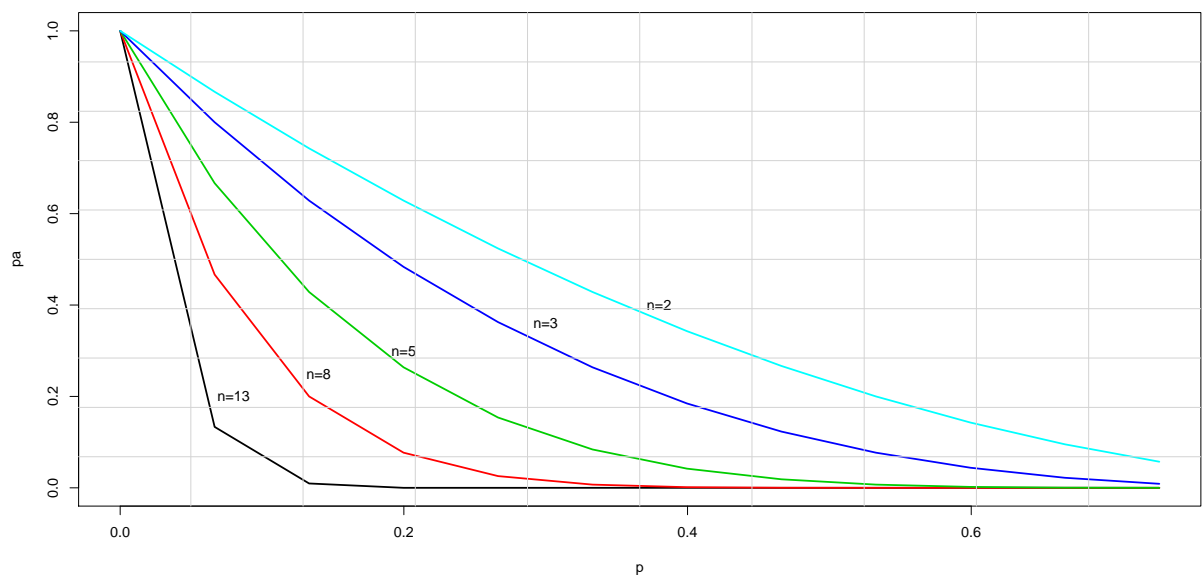


FIGURE 8: Curvas OC para planes de muestreo simples con  $C=0$ . Tamaño del lote 9 - 15



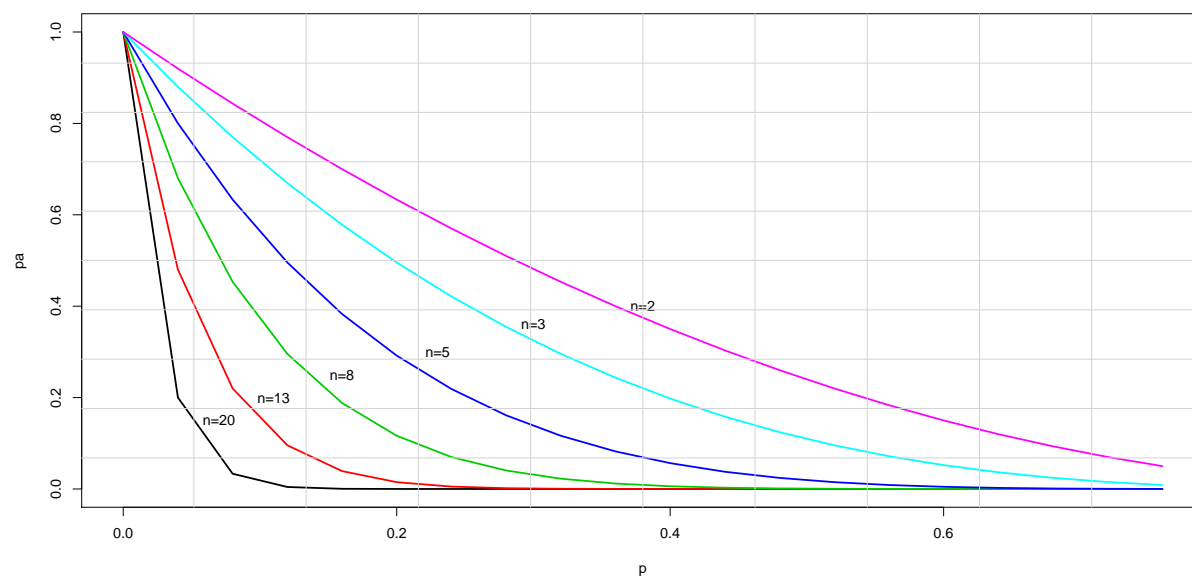


FIGURE 9: Curvas OC para planes de muestreo simples con  $C=0$ . Tamaño del lote 16 - 25

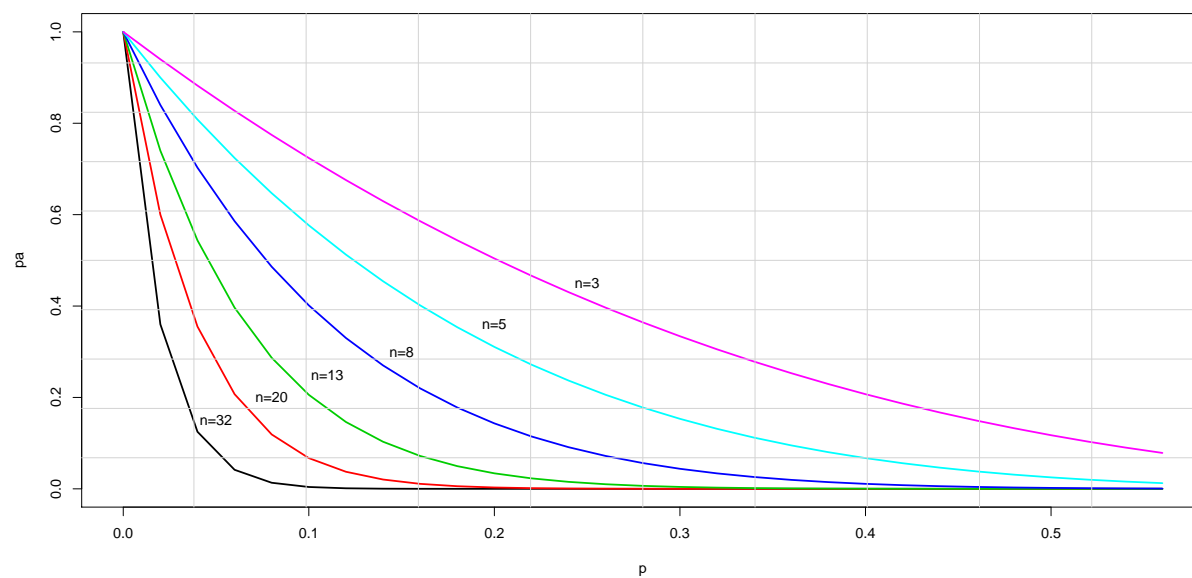


FIGURE 10: Curvas OC para planes de muestreo simples con  $C=0$ . Tamaño del lote 26 - 50

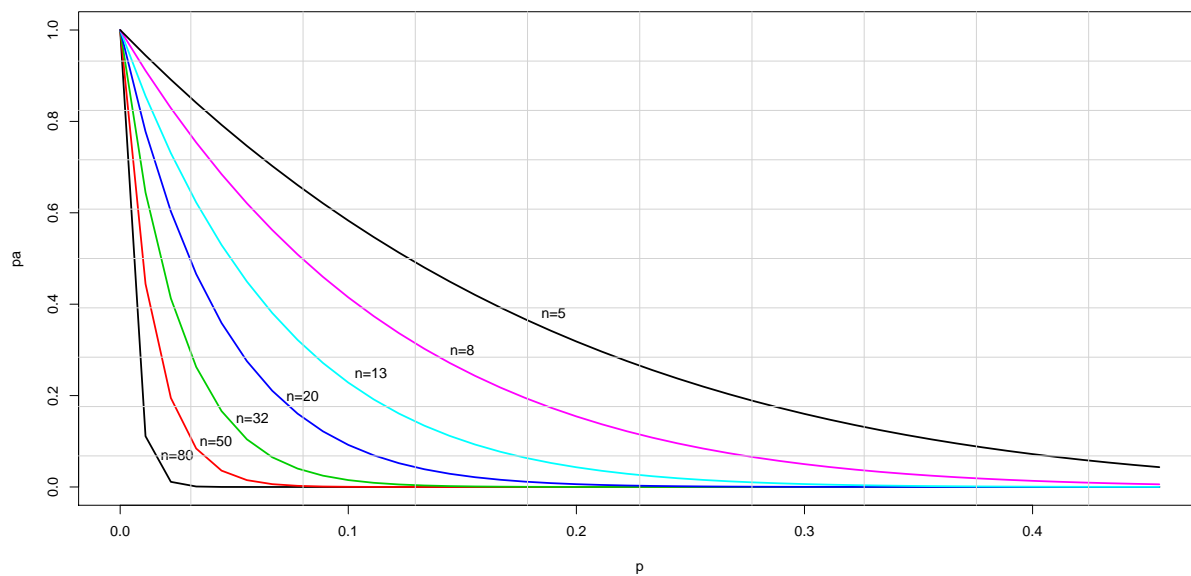


FIGURE 11: Curvas OC para planes de muestreo simples con  $C=0$ . Tamaño del lote 51 - 90

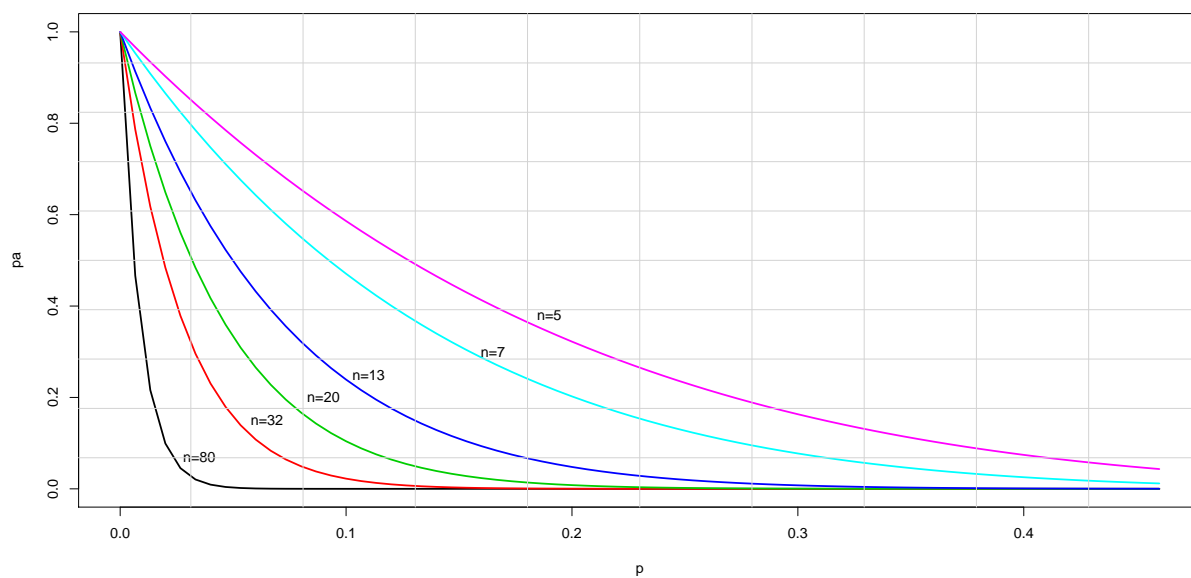


FIGURE 12: Curvas OC para planes de muestreo simples con  $C=0$ . Tamaño del lote 91 - 150

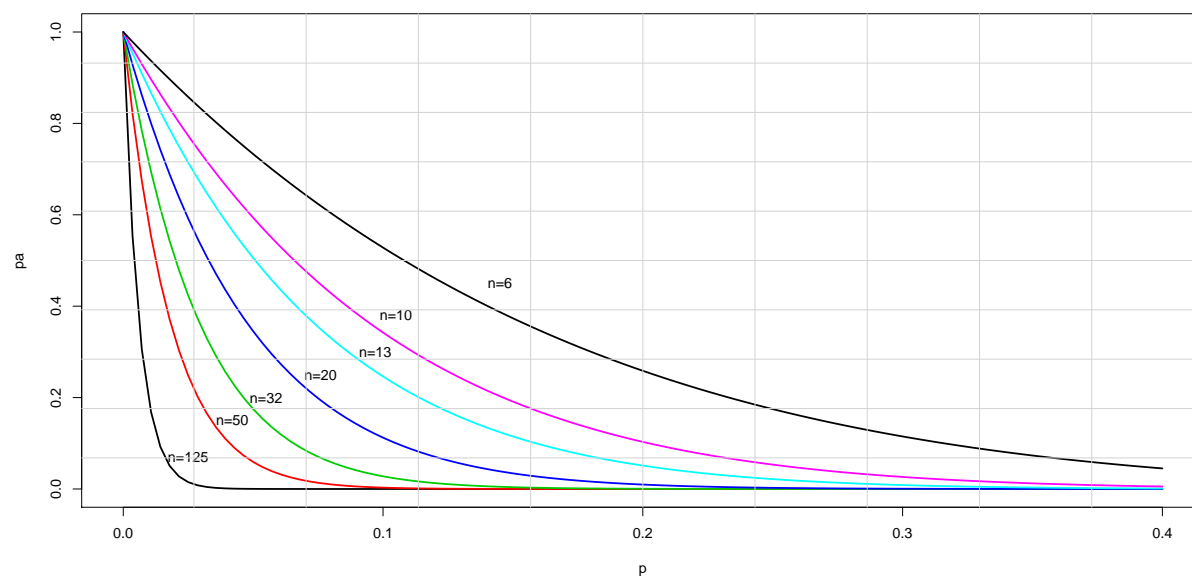


FIGURE 13: Curvas OC para planes de muestreo simples con  $C=0$ . Tamaño del lote 151 - 280

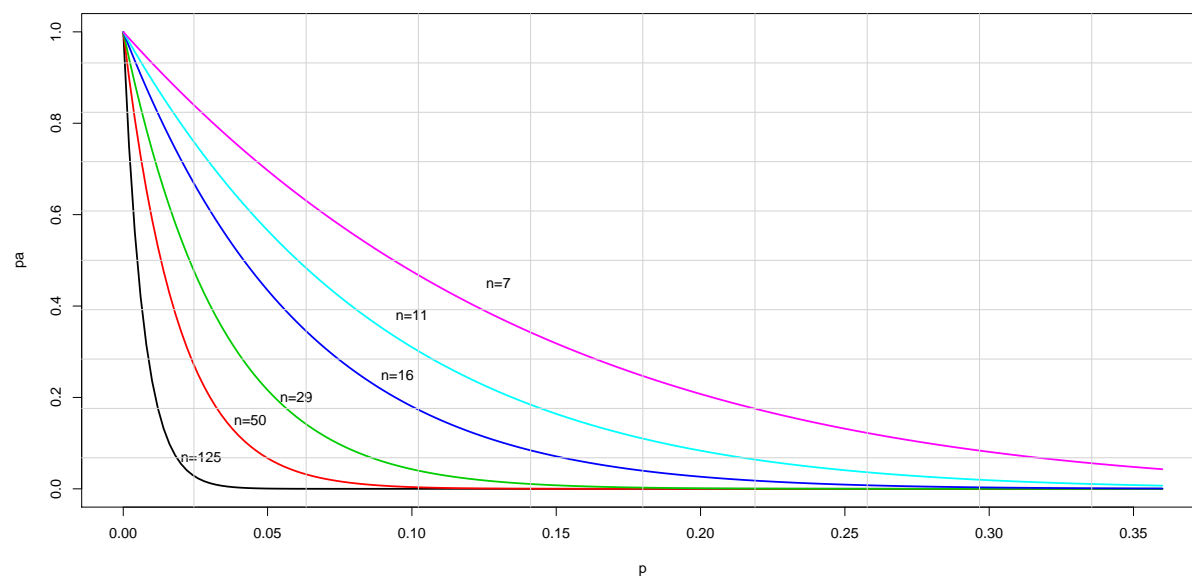


FIGURE 14: Curvas OC para planes de muestreo simples con  $C=0$ . Tamaño del lote 281 - 500

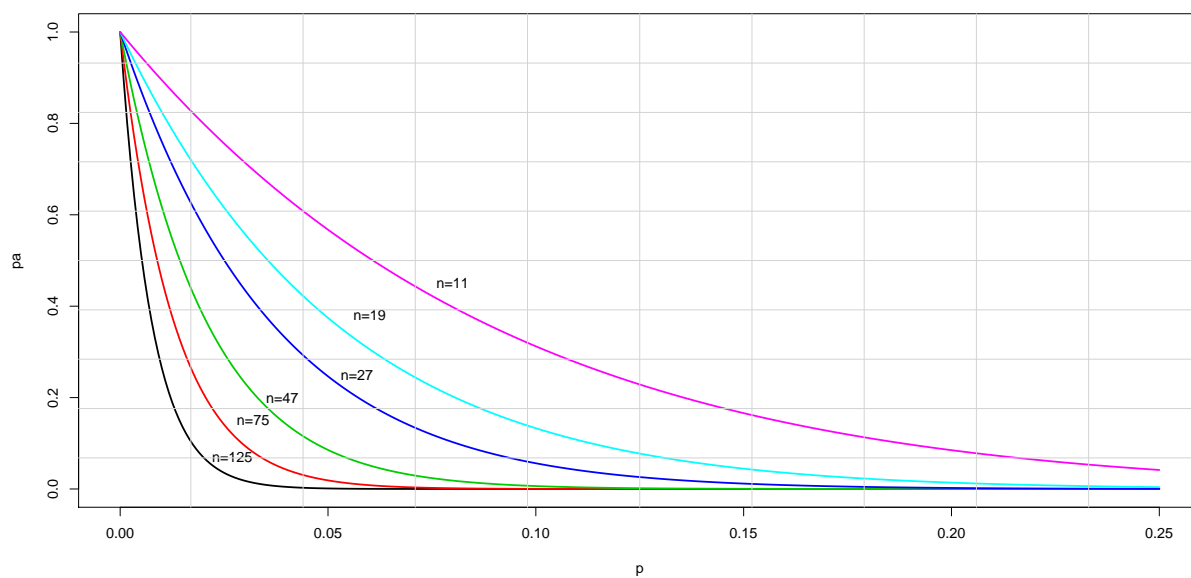


FIGURE 15: Curvas OC para planes de muestreo simples con  $C=0$ . Tamaño del lote 501 - 1200

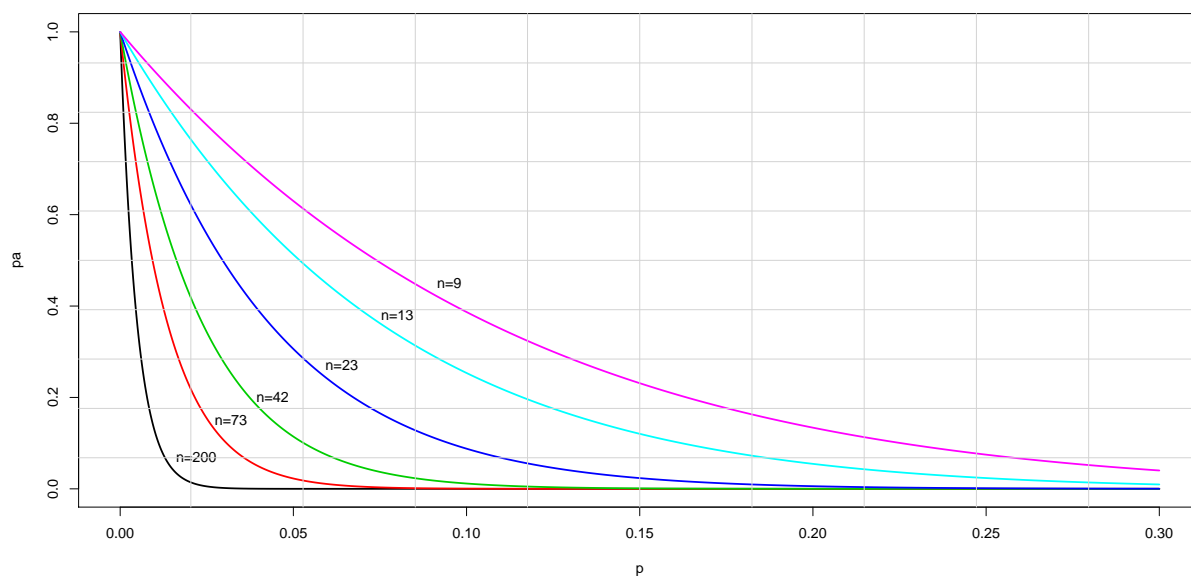


FIGURE 16: Curvas OC para planes de muestreo simples con  $C=0$ . Tamaño del lote 1201 - 3200

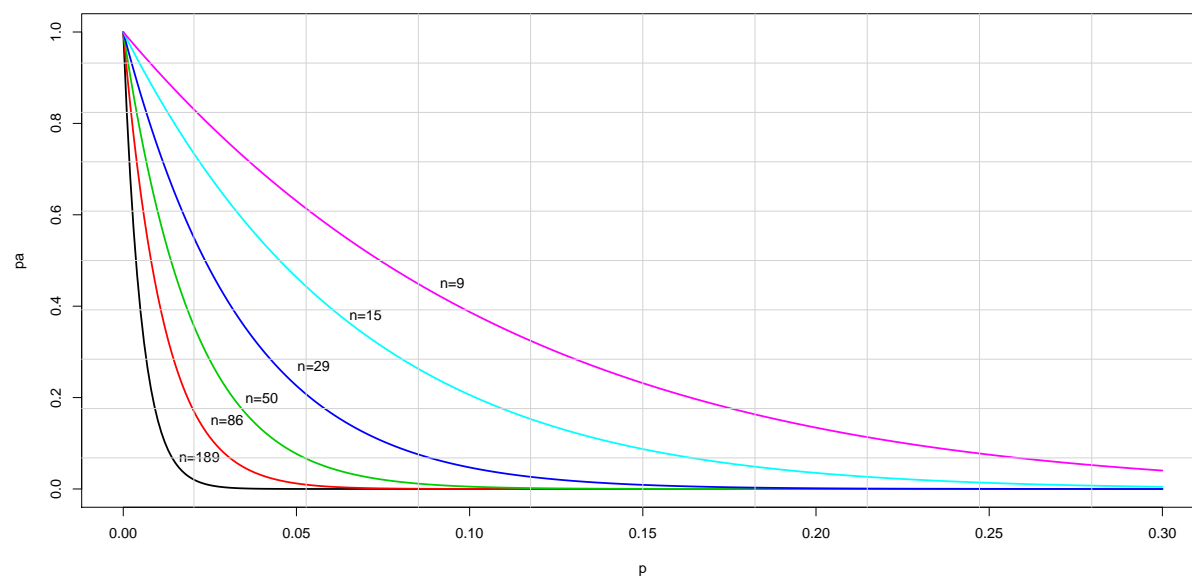


FIGURE 17: Curvas OC para planes de muestreo simples con  $C=0$ . Tamaño del lote 3201 - 10000

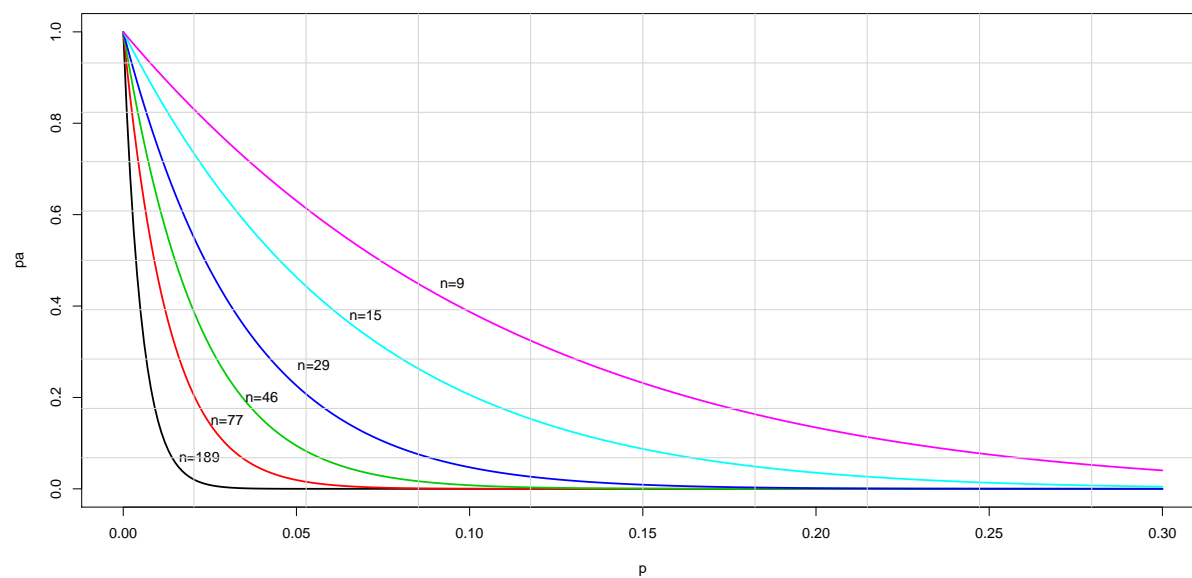


FIGURE 18: Curvas OC para planes de muestreo simples con  $C=0$ . Tamaño del lote 10001 - 35000

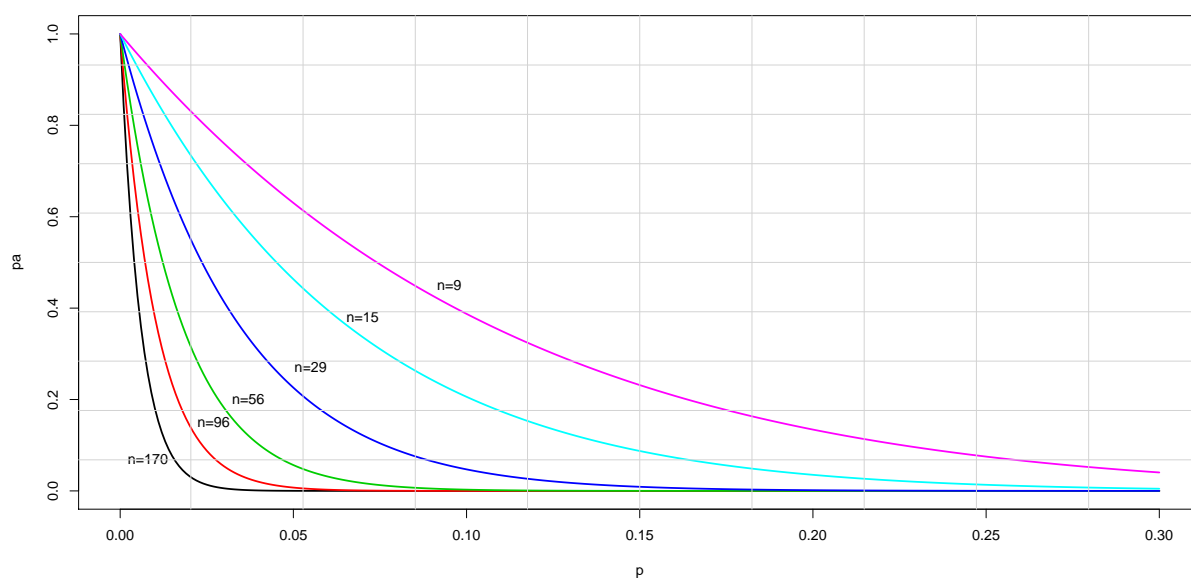


FIGURE 19: Curvas OC para planes de muestreo simples con  $C=0$ . Tamaño del lote 35001 - 150000