

# Simulación del proceso de envío de aguacate Hass

J.D.Mosquera-Artamonov<sup>1</sup>

*Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
Universidad Autónoma de Nuevo León*

---

## Abstract

El aguacate Hass a comenzado a ser consumido en los últimos años altamente, creciendo cada un año en 20 % el consumo mundial. No solo es un producto usado para consumo sino también por la industria farmacéutica, de aceites, lubricantes, dado por sus propiedades químicas. Colombia es quinto productor mundial de este producto, pero lastimosamente a nivel de exportación es el decimosexto. Por lo cual eficientizar la cadena de suministro es una prioridad latente. Usando una simulación estocástica dinámica, se pretende conocer la inercia de esta cadena de suministro para después mejorar las variables de desempeño de todo el sistema.

*Keywords:* Aguacate Hass, Simulación, Estadística multivariada, Optimización

---

## 1. Introducción

En la actualidad, 59 países cultivan aguacate, tanto en regiones subtropicales como tropicales. En América, se encuentra el 60 % de los cultivos de esta fruta, y México es el líder de esta industria a nivel mundial, con 34.5 % de la producción global de aguacate (FAO, 2013). En los últimos años esta industria ha experimentado un crecimiento exponencial, alcanzando producciones de más de 4 millones de toneladas al año (Schaffer et al. 2013).

El auge de la industria aguacatera es atribuido a la variedad “Hass”. El aguacate Hass (*Persea americana Mill*) domina la industria mundial. Esta variedad

---

<sup>☆</sup>Fully documented templates are available in the elsarticle package on CTAN.  
<sup>\*</sup>xoce15@ingenieros.com

10 de fruta es atractiva a los consumidores no solo por su aroma, sabor, color y  
textura, sino también por su valor nutricional y aportes a la salud (Bertling et  
al., 2007; Dreher and Davenport, 2013; Silva et al., 2002).

Las características más sobresalientes del aguacate Hass son: su disponibi-  
15 lidad durante todo el año, su pulpa cremosa de gran sabor, sin fibra, con alto  
contenido de aceite y en contraparte bajo contenido de agua, la fruta se puede  
mantener en el árbol por algunos meses después de su madurez; y una de las  
cualidades que más ayudaron a convertir esta variedad en la más popular en  
el mundo, es la resistencia al transporte que obtiene por su cascara rugosa y  
20 gruesa.

De acuerdo con la información más actualizada de Food and Agriculture  
Organization of the United Nations (FAOSTAT), que dan un panorama mundial  
del área cultivada de aguacate en el mundo hasta el año 2014, en dicho año el  
cultivo de aguacate registro un área de 547.849 hectáreas, alcanzando así su  
25 valor más alto en la historia y manteniendo su crecimiento sostenido durante la  
última década.

Por otra parte, la producción de este fruto, según la FAOSTAT, también  
alcanzo su cifra más alta según la información registrada hasta el año 2014,  
pues alcanzó las 5.028.756 toneladas. La producción mundial de aguacate ha  
30 mostrado una tendencia creciente durante el periodo 2000-2014; sin embargo,  
se observa un bache entre los años 2007 y 2008, luego se vuelve a recuperar,  
explicado por la fuerte caída de la producción de algunos países como Estados  
Unidos, Chile, Brasil, Guatemala e Israel.

35 En cuanto a los principales países productores de aguacate sobresale nítida-  
mente México, como principal productor, consumidor y exportador. Otros  
países de un crecimiento destacable y que han cubierto la brecha relativa dejada  
por México son Indonesia, República Dominicana, Colombia (quinto puesto) y  
Perú, que en conjunto alcanzaron una participación de 16 % en el 2000, mientras  
40 que en el 2012 han incrementado su participación a 26 %.

Sin lugar a duda, Colombia se está convirtiendo en un referente de esta industria, siendo uno de los países que más sobresale en producción y exportación de aguacate Hass en la última década. Gracias a la iniciativa del sector privado y la disposición del sector público, se ha impulsado la exportación de aguacate en Colombia. A pesar de que Colombia ocupa el 5to lugar a nivel mundial en cuanto a producción de aguacate se refiere, en temas de exportación es un jugador con mucha inexperiencia, ocupando el puesto 16 y aportando tan solo el 0.31 % de las exportaciones mundiales para este producto, lo que se atribuye en gran medida a que la variedad Hass es cultivada en el país desde hace aproximadamente 15 años y la primera exportación se realizó solo hasta el año 2012.

El objetivo del presente trabajo es simular el comportamiento de los agentes que están vinculados en las negociaciones del aguacate Hass para el caso particular de Colombia, considerando como horizonte de planeación un año calendario.

## 2. Antecedentes

Acontinuacion se presentan algunos de los antecedentes que atienden la temática y su aplicación en distintos ámbitos, con lo cual es posible analizar el diseño de redes de distribución distinguiendo los enfoques y herramientas empleados para su resolución. Los estudios se realizaron en redes de distribución de empresas que pertenecen a diferentes sectores y cuentan con condiciones operativas diferentes.

Autores tailandeces usan la programación lineal para Optimizar los beneficios ambientales en la Cadena de Suministro [1].

Mientras que investigadores mexicanos este año publican un trabajo enfocado en la planeación estrategica para el cultivo de agucate que satisfaga las demandas mientras maximiza las utilidades centrando esfuerzos en variables ambientales [2] .

70 Para el repollo koreanos realizar una planeación estrategica para el cultivo de agucate que satisfaga las demandas mientras maximiza las utilidades y el uso de los recursos naturales usando tecnicas de sistemas dinamicos [3].

Se usa la simulación Montecarlo con parámetros estocásticos para modelar la red de distribución de una empresa con la finalidad de determinar decisiones  
75 de expansión o contracción en algunos eslabones [4].

Por las características propias de las redes de distribución y la incidencia que sus decisiones tienen en todo el sistema de abastecimiento, el campo de las áreas del conocimiento relacionadas con la problemática de la investigación es bastante amplio. Los trabajos anteriormente expuestos, presentan algunas de  
80 las herramientas que han sido empleadas. La revisión literaria adelantada señala que la herramienta más usada es la programación lineal, técnica que, por medio de modelos matemáticos, tanto estocásticos como determinísticos, involucra la planeación de actividades para obtener un resultado óptimo. Su tipo más conocido de aplicación involucra el problema general de asignar forma óptima,  
85 recursos limitados a actividades que compiten entre sí por ellos.

Las pesquisas adelantadas por Chanchaichujit et al. (2016) y González-Estudillo et al. (2017) donde se hace uso de la programación lineal, dejan en evidencia el interés actual que despiertan las cadenas de suministro agroali-  
90 mentarias en la investigación mundial; así como el impacto que generan las mismas no solo en temas económicos, sino también medioambientales. Por otro lado, adicional a los métodos exactos, se encuentran otros métodos de solución aproximados como: heurísticos, metaheurísticos, de simulación, dinámicos y estocásticos (Drezner y Hamacher, 2002). Como principal característica de los  
95 métodos heurísticos y metaheurísticos, a pesar de que sus soluciones son aproximadas y no podrán encontrar el óptimo, su velocidad de resolución es menor, en contraste con los métodos exactos. Las metaheurísticas son estrategias maestras inteligentes para diseñar o mejorar los procedimientos heurísticos. Además de que tienen gran flexibilidad para modelar la realidad.

Los modelos dinámicos y estocásticos son otra opción. La diferencia entre ellos es que los dinámicos consideran que los cambios de los parámetros a través del tiempo son conocidos con certeza. Actualmente es una herramienta que cubre un amplio campo de aplicaciones, existen modelos económicos, matemáticos, sociológicos, ecológicos y de otros tipos que son sistemas abstractos que también son sistemas dinámicos. El comportamiento de determinado estado se puede caracterizar definiendo los límites del sistema, los elementos y sus relaciones; de esta manera se pueden construir modelos que buscan representar la estructura. Los dinámicos se dividen en explícitos, cuando las instalaciones no tienen cambio en el tiempo e implícitos, cuando las instalaciones sufren cambios. Por otra parte, los modelos estocásticos reconocen que existen cambios, sin embargo, hay un grado de incertidumbre respecto a parámetros como la demanda, el tiempo en tránsito, los costos fijos y la distancia. Es decir, los estocásticos reconocen el cambio de los parámetros, pero desconocen como lo hacen. Finalmente, la simulación es un instrumento que en los últimos años ha ganado importancia en el apoyo de toma de decisiones a nivel empresarial. No logran obtener un resultado óptimo, pero se aproximan a él. Esta técnica involucra el uso de una computadora para imita la operación de un sistema del mundo real y su evolución con el tiempo. Esto se hace con la implementación de un modelo de simulación, que usualmente toma la forma de un conjunto de suposiciones sobre la operación del sistema, que se expresa como relaciones matemáticas o lógicas entre los objetos de interés en el sistema.

La principal ventaja de la simulación es la flexibilidad que ofrece a la hora de representar el sistema real, teniendo en cuenta que una vez construido el modelo, se puede usar una y otra vez para analizar diferentes escenarios al modificar las políticas, parámetros o diseños.

### 3. Metodologia

#### Indices de arreglos

$i$	Dias del año	1,2...365
$p$	Centros Productores	1,2...37
$ca$	Centros de Acopio	1,2..7
$pue$	Puertos	1,2...4
$c$	Cliente Internacional	1,2...5

Para el desarrollo de la simulación se considera tres grupos de agentes principales.

#### 130 3.1. *Centros de Producción*

Para el primer caso se tiene a los productores aglomerados en sus municipios de producción. Se modelo la tasa de producción diaria de los diferentes municipios bajo la función trapezoidal de la siguiente manera:

$$\mu_{pi} = \begin{cases} 0, & \text{si } (i < a) \text{ o } (i > d) \\ \frac{i-a}{b-a} & \text{si } a \leq i \leq b \\ 1, & \text{si } b \leq i \leq c \\ \frac{d-i}{d-c} & \text{si } c \leq i \leq d \end{cases}$$

En donde  $p$  es el productor  $p$ ,  $i$  hace referencia al día  $i$  del año. Ahora  $a$  es el  
135 día del año en donde empieza el ciclo productivo del municipio  $p$ ,  $b$  y  $c$  son los días del año cuando empieza la mayor productividad del municipio y termina respectivamente. Finalmente  $d$ , es cuando finaliza el ciclo productivo del centro productivo  $p$ .

Para tener una función estocastica se usa la simulación montecarlo para  
140 determinar la producción usando la distribución normal.

$$Media = \mu_{pi}, \quad \text{Desviación} = \sqrt{\sigma_{\mu_{pi}} \times \frac{1}{media}}$$

la media es calculada con los datos historicos de los centros productivos, Se realizó una regresión lineal para estimar la producción total del centro productivo  $p$ , en donde se empleo dos estrategias de acuerdo al coeficiente de correlación que presenta dicha regresión.

- 145      1. Si es menor a 60 %, se promedia las producciones.
2. Si el mayor a 60 %, se utiliza predice el siguiente valor usando el modelo lineal ajustado.

Mientras que  $\sigma$ , es la variación de los datos historicos para cada centros productivos  $p$ .

### 150    3.2.    *Centros de Acopio*

Para el siguiente agente se le da valores secuenciales a la capacidad de almacenamiento del centro de acopio  $ca$ , empezando en 40 toneladas, hasta 100, con intervalos de crecimiento de 20 toneladas, . e hace una asignación previa que al paso de los dias puede ser cambiada.

155      La primera asignación es por la cercania que tiene el centro productivo (CP)  $p$  al centro de acopio  $ca$ , en un radio de 130 kms.

1. Si, se encuentran más de un centro de acopio  $ca$  para el CP, entonces se le asigna uno al azar.
2. Si, solo existe uno en el radio definido se deja este centro de acopio  $ca$ .
- 160      3. Si, no se encuentra ningún centro productivo  $ca$  en el radio de expansión entonces se asigna uno de manera aleatoria dentro de los tres más cercanos.

Ahora la anterior es la primera asignación. La cual podrá ser modificada de acuerdo a la capacidad del centro de acopio  $ca$ , pues dependiendo del dia  $i$ , la producción del  $CP_p$  puede superar la capacidad de almacenamiento de  $CA_{ca}$ . Si se presenta el anterior suceso, la producción será asignada de la siguiente manera a los centro productivos. Primeramente se intenta enviar el maximo posible de producción que pueda recibir el centro de acopio  $CA_{ca}$  designado en el anterior paso. Despues de llenar al centro de acopio  $CA_{ca}$ , se le envia el maximo de

producción capaz de recibir el centro de acopio  $CA_{ca+1}$  más cercano al CP, se  
 170 continua hasta poder enviar el total de producción generada por el  $CP_p$  o no  
 exista otro  $CA$  a quien se le pueda enviar.

Para cada día  $i$  que transcurre en la simulación el  $CA_{ca}$ , puede tener si  
 completa 20 toneladas la formación de un contenedor. En todo el día el total de  
 mercancía contenida en el  $CA$  está restringida de la siguiente forma:

$$Almacenamiento_{ca,i} \leq Capacidad_{ca}$$

175 Se permite almacenar producción de un día a otro para cada  $CA_{ca}$ , hasta llenar  
 plenamente la capacidad del contenedor.

### 3.3. *Exportación*

Para realizar el envío de los diferentes contenedores, se calcula todas las  
 rutas posibles a los países por todos los puertos existentes en el país. Poste-  
 180 riormente se selecciona solo los puertos más rentables para cada  $CA_{ca}$  a cada  
 $c$ . Luego a cada uno de los países se le asigna una probabilidad de acuerdo a  
 la rentabilidad esperada. Dicha probabilidad se usó para seleccionar con mayor  
 o menor posibilidad los clientes internacionales. cada  $S$  envíos se permite con  
 una probabilidad del 35 %, cambiar de cliente internacional, dicho cambio usa  
 185 nuevamente la probabilidad calculada en el paso anterior.

## 4. Especificaciones computacionales

Toda la experimentación se desarrolló en una computadora con procesador  
 Intel(R) Xeon(R) CPU E3-1245 v3 @3.4GHz 3.4GHz, con 16 GB de memoria  
 RAM y 8 núcleos.

## 190 5. Corridos experimentales

Para la experimentación se tiene como variables respuesta la cantidad de  
 contenedores enviados en un ciclo productivo por cada  $CA$ , así como la renta-  
 bilidad promedio de dichos  $CA_{ca}$ .



Como factores de control se utilizaron, el radio de cobertura minima para  
195 cada  $CA$ , siendo 130,160,200.  
Del porcentaje total producido por los  $CP$  se le permite adquirir al  $CA$ , 70 %,80 %, 90 % y 100 %.(penetración de mercado)  
 $S$  se plantea variar 25, 50, 75 contenedores.  
Despues de establecer los factores de control y sus niveles, se corre un diseño  
200 factorial completo con un total de diez replicas.

## 6. Resultados

Como primera labor en la experimentación fue la paralelización. Se ha paralelizado la producción de cada  $CP$ .  
Para el segundo agente siendo este los  $CA$ , no es posible paralelizarlo, por la  
205 dependencia que existe de un día a otro de la producción, así como la capacidad de los  $CA$ .

La figura 1, muestra el rendimiento promedio computación de la experimentación tanto para el caso de paralelo como para secuencial. En donde pareciera que el caso secuencial presenta mejores tiempos que el secuencial, para corroborar dicha hipótesis se hace una prueba de varianza, el cual efectivamente apoya  
210 el supuesto anterior (valor  $p < 0.05$ ).

Despues de terminar que para este caso la ejecución secuencial presenta mejores tiempos, se procede a analizar los demás fenomenos involucrados en está simulación.

215 El cuadro 1, contiene un analisis de varianza para las diferentes variables de interes, en donde el titulo sombreado hace referencia a otra variable analizada. Para cualquiera de los casos las variables que tienen un efecto significativo en el sistema son el centro de acopio o el porcentaje que adquiere su localidad.

como se mostro en el cuadro 1, las variables estadisticamente significativas  
220 son el centro de acopio, como  $s$ , para lo cual los siguientes analisis excluyen las demas variables y se hace énfasis en estas dos. En la figura 2, se presenta graficamente como va variando la efectividad promedio de los centro de acopio,

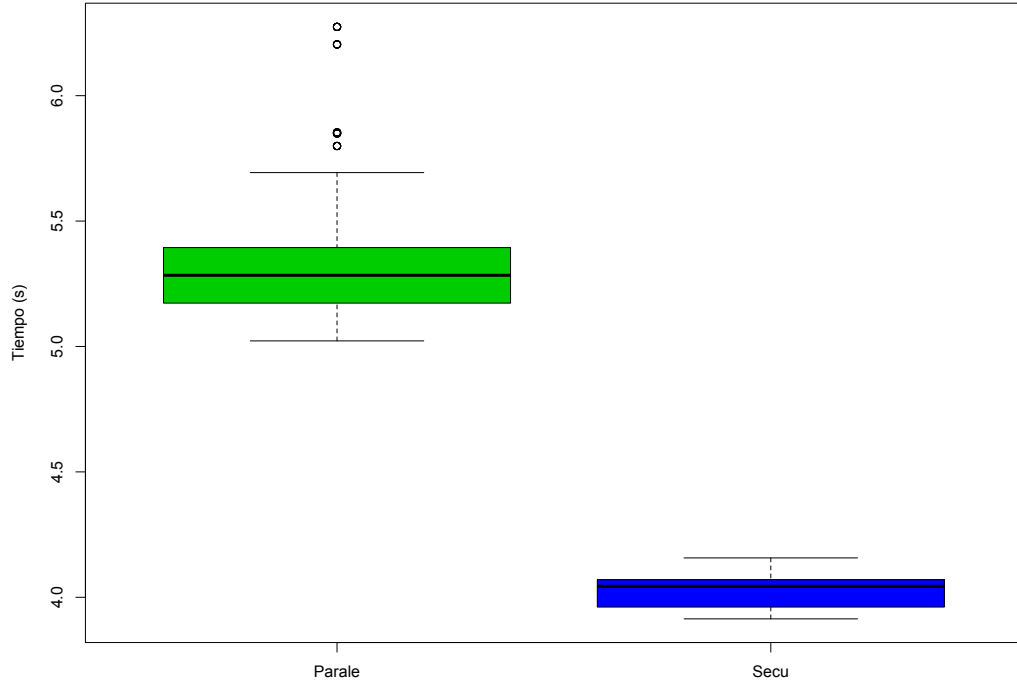


Figura 1: Tiempos de ejecución para el caso de paralelo y secuencial

en donde se tiene dos metodos diferentes para calcular dicha efectividad de uso. En un caso se considera todo el año, mientras que en el otro solo lo que durá el ciclo productivo. Pensando en que si el *CA* solo recibe aguacate Hass, solo se le deberia medir su rentabilidad promedio en este ciclo productivo. Claro está postura a lo largo infla los datos escondiendo el problema que se tiene. En el mejor de los casos se tiene una efectividad anual no superior al 40 %, ahora si se considerá el ciclo productivo la efectividad aumenta un 30 %.

En la figura 3, se presenta el total de envios (contenedores) por centro productivo, asi como la rentabilidad promedio por dichos envios. Para aumentar las ganancias de los *CA*, es necesario tener al menos 85 % de la producción del

<b>Rentabilidad</b>				
	Estimado	Error Estandar	Valor T	Valor P
Intercepto	-5062477.100	1012008.700	-5.002	0.000
Zona	-597.200	3507.500	-0.170	0.865
Penetración	10691648.700	899581.300	11.885	0.000
S	-497.000	4927.200	-0.101	0.920
Acopio	1233422.100	50288.100	24.527	0.000
<b>Total Envio en un año</b>				
Intercepto	-148.300	29.860	-4.967	0.000
Zona	0.000	0.104	0.001	0.999
Penetración	312.600	26.550	11.775	0.000
S	0.000	0.145	0.000	1.000
Acopio	37.030	1.484	24.952	0.000
<b>Efectividad ciclo productivo</b>				
Intercepto	-0.114	0.034	-3.356	0.001
Zona	0.000	0.000	1.315	0.189
Penetración	0.361	0.030	12.005	0.000
S	0.000	0.000	0.116	0.908
Acopio	0.024	0.002	14.195	0.000
<b>Efectividad total</b>				
Intercepto	-0.076	0.023	-3.356	0.001
Zona	0.000	0.000	1.315	0.189
Penetración	0.241	0.020	12.005	0.000
S	0.000	0.000	0.116	0.908
Acopio	0.016	0.001	14.195	0.000

Cuadro 1: Analisis de Varianza para las variables respuesta

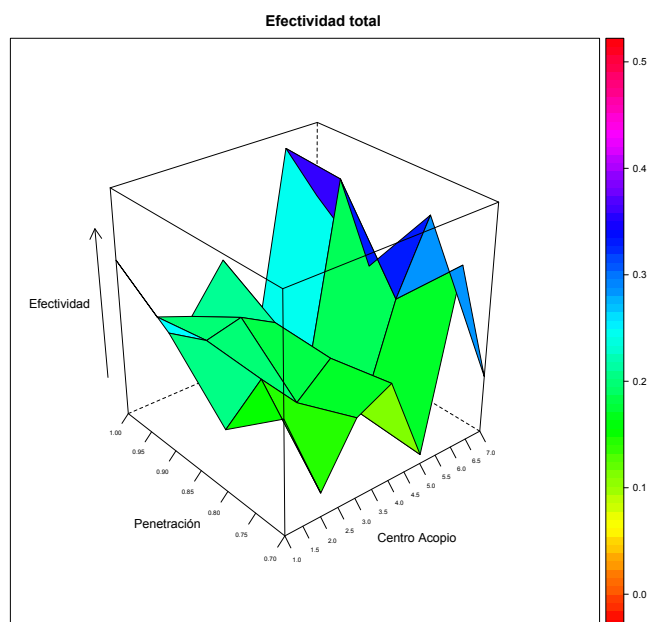
aguacate Hass. Además es necesario aumentar la tasa promedio de producción de los municipios aledaños a los *CA*, para así aumentar la cantidad de contenedores enviados y posteriormente la rentabilidad. Los *CA* más rentables son los que tienen cerca a los *CP* con mayor producción promedio, los tres primeros *CA* se encuentran muy cerca uno del otro lo que aumenta considerablemente la completencia por la producción de cada *CP*.

## 7. Conclusiones

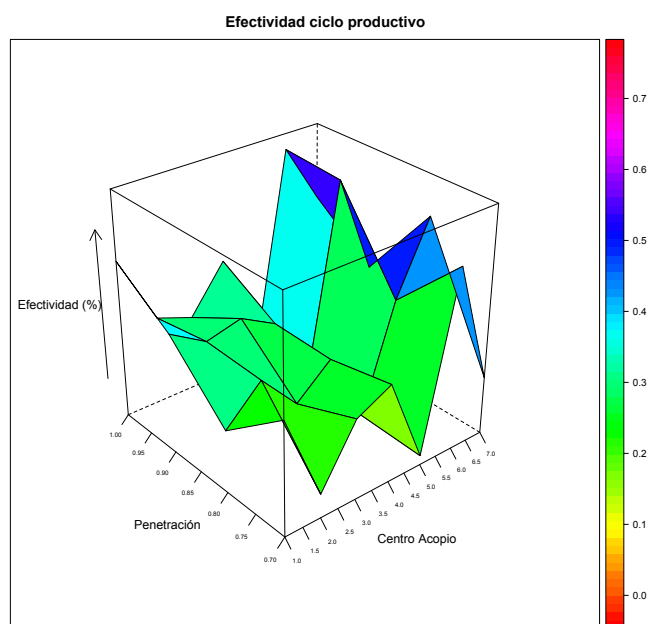
240 La paralelización implementada no genera un ahorro de tiempo significativo  
dado principalmente por lo poco que se paralelizo, valiendo la pena aunar  
esfuerzos para mejorar este desempeño. La tasa promedio de utilización de los  
centro de acopio es muy baja a lo esperada por los investigadores, por lo cual  
se puede considerar tanto experimentalmente como en la práctica utilizar otro  
245 producto agrícola, siempre y cuando su función de producción no se cruce más  
del 25 %. La efectividad de los centros de acopio depende altamente de las tasas  
de producción de cada  $CP$ , por lo cual tener más  $CP$  aumentará la utilización  
promedio.

## References

- 250 [1] J. Chanchaichujit, J. Saavedra-Rosas, M. Quaddus, M. West, The use of an optimisation model to design a green supply chain: A case study of the thai rubber industry, *The International Journal of Logistics Management* 27 (2) (2016) 595–618. doi:10.1108/IJLM-10-2013-0121.
- [2] J. González-Estudillo, G.-C. J., F. Nápoles, J. Ponce, M. El-Halwagi, Op-  
255 timal planning for sustainable production of avocado in mexico, *Springer Science+Business Media* (2017) 110–118.
- [3] D. Lee, S.-G. Yang, K. Kim, B. J. Kim, Product flow and price change in an agricultural distribution network, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 490 (Supplement C) (2018) 70 – 76.  
260 doi:<https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.08.006>.  
URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437117307239>
- [4] J. Escobar, J. Bravo, V. C., Optimización de una red de distribución con parámetros estocásticos usando la metodología de aproximación por promedios muestrales, *Ingeniería y Desarrollo. Universidad del Norte* 31 (1) (2013) 135–160.  
265

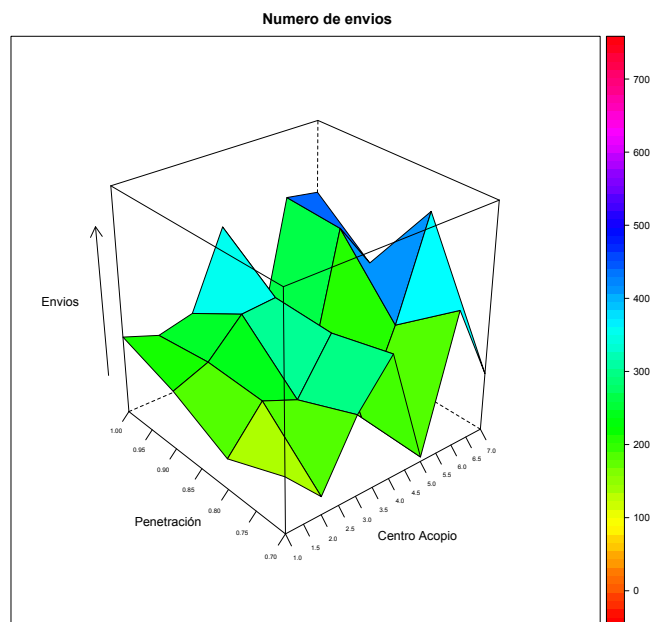


(a) Todo el año

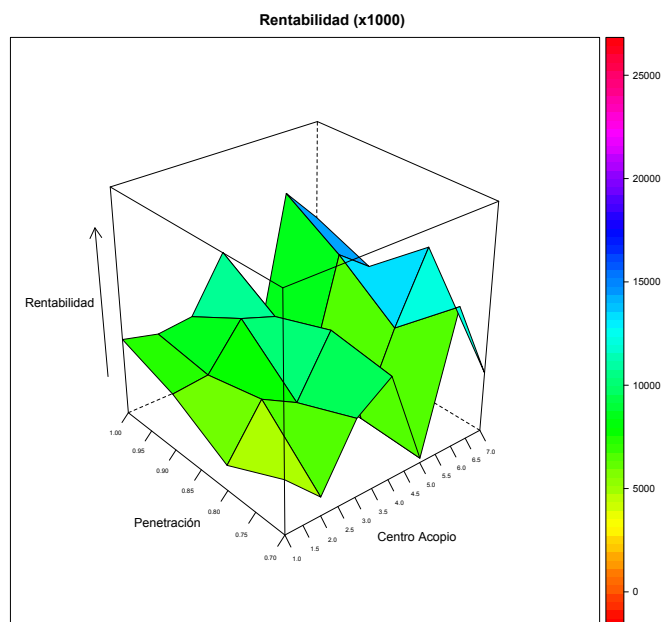


(b) Ciclo productivo

Figura 2: Efectividad de los centros de acopio  
Probabilidad entre 0-1, siendo 1 el máximo



(a) Todo el año



(b) Rentabilidad

Figura 3: Rentabilidad y envios