

Relationship model of the agents of the coffee value chain in Honduras: the effect of rust

Maria Elena Perdomo¹, Magister en Dirección Empresarial^{1,2,3} José Luis Ordoñez-Ávila¹, Magister en Administración de Proyectos^{1,2,4} Héctor Orlando Perdomo, Magister en Máster en Administración de Empresas^{1,5} and Martin G. Martínez-Rangel, Doctor en Ingeniería y Ciencias Aplicadas⁶
¹Universidad Nacional Autónoma de Honduras Tegucigalpa, Honduras,
²Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC) San Pedro Sula, Honduras,
³maría_perdomo@unitec.edu, ⁴jlordonez@unitec.edu, ⁵hector.perdomo@unah.edu.hn,
⁶Universidad Autónoma del Estado de Morelos Morelos, México, mmtzr@uam.mx

Abstract— the coffee activity is possible thanks to the work of a large number of people involved in the harvest, purchase, transportation, bean processing, roasting, grinding and packaging, distribution to the client, export and import. Therefore, the objective of this research is to model the effect of rust on the agents of the coffee value chain in the different regions of Honduras. To analyze the coffee production system based on the agents of the network, three steps are proposed. The first step is the analysis of the network using pajek to subsequently extract the network indicators based on the data provided by IHCAFE, the second step is the determination of ratios of producers in relation to the different agents involved in the value chain. Finally, a system of linear regression equations that model the system is determined using NetLogo. A simulation model based on linear regression was used to show the behavior of the copan sector. In this sector it was observed that the network indicators improve for each agent as they decrease, managing to estimate the number of agents according to the effect of rust as a future projection, maintaining exporters and cooperatives and reducing intermediaries. Finally, it is concluded that the agents of the coffee value chain, the producers, are the most relevant agents since they have greater proximity and intermediaries in the network. On the other hand, agents such as intermediaries and cooperatives can be dispensable from the value chain because they grow according to the coffee production in a region and do not have a significant correlation with the production of quintals of coffee.

Keywords—supply chain, coffee rust, coffee value chain. Coffee networks.

I. INTRODUCCIÓN

La actividad cafetalera es posible gracias a la participación de personas involucradas en la cosecha, la compra, transportación, procesamiento del grano, tueste, molido y empaquetado, distribución al cliente, exportación e importación. Todas estas etapas se conocen como la cadena de valor del café. Esta cadena es una red de trabajo que abarca a los procesos productivos y cadena de suministros hasta el consumidor final. En esta red se involucran diferentes agentes en distintas etapas de la red.

Uno de los principales agentes que inicia la cadena son los productores, según el instituto hondureño del café más de 120,000 familias en 221 municipios de Honduras son productores de café, en promedio el 85% están categorizados

como pequeños productores por poseer área cultivadas de menos de 5 manzanas de café. La producción llega hasta el consumidor través de intermediarios independientes y exportadoras en un 80% a y a través de cooperativas en un 20%.

Un segundo agente son los intermediarios, juegan un rol muy importante con los productores, son los que en forma anticipada durante el año financian en gran parte la producción, además de ser facilitadores de insumos.

Tercer agente, las Cooperativas, son organizadas y dirigidas por los mismos productores. Según el Instituto hondureño del café al cierre del año 2021 tiene registradas 162 cooperativas a nivel nacional. Su actividad principal es la de recolectar el café de sus afiliados y venderlo a las exportadoras y/o torrefactores.

Las exportadoras son empresas constituidas como sociedades que exportan el café a países importadores de Europa, Asia y Norte América. En los registros de IHCAFE hay 68 exportadoras registradas. Torrefactores, son empresas constituidas como sociedades dedicadas a realizar el proceso de trillado, tostado, molido y empaquetado de café, principalmente para el consumo interno. De estas empresas el 65% se encuentran registradas en IHCAFE. Esta actividad es realizada en pequeña escala por gran número de intermediarios independientes.

Importadores está representado por todos los países compradores del café hondureño principalmente a través de las empresas exportadoras. Para el año 2021, el café hondureño fue importado por 59 países del mundo. Del total de café exportado 57% fue importado por países de Europa, 29% Norte América, 8% países de Asia y otros destinos 4%.

Lo anterior, permite poner en contexto la actividad cafetalera y nos permite identificar como esta se ve impactada en gran manera por las plagas que afectan el café. Manson et al., (2022) [3] menciona que se prevé que existan brotes de plagas en los cultivos de una manera más frecuente debido en gran parte al cambio climático, lo que supone un riesgo para el ecosistema y medios de subsistencia para los agricultores. Avelino et al., (2012) [4] las plagas y enfermedades en los cultivos pueden variar de acuerdo a cada paisaje o tipo de tierra, alguno de los efectos que se pueden observar la calidad o resistencia de esas plagas, la conectividad con el paisaje o tierra.

Existen pruebas que el uso de pesticidas químicos pueden persistir en el paisaje y contribuir a la degradación de la tierra,

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

es por eso que se espera que el uso de pesticidas naturales sirva para controlar los brotes de plagas y así mejorar la calidad de vida de las tierras, En la década de 1970, muchos países se comprometieron a promover y legislar la Gestión Integrada de Plagas (GIP) para fomentar enfoques naturales y holísticos de la gestión de plagas [3].

Muchos de los estudios se centran en los efectos indirectos del contexto paisajístico sobre la abundancia de plagas a través de sus depredadores y parasitoides y solo unos pocos en los efectos directos sobre plagas y patógenos, por ejemplo, de la roya del café se incrementa con la presencia de pastos adyacentes al café a escalas finas, por lo que es importante hacer análisis minucioso para controlarla [4]

En Honduras una de las plagas que más afecta las fincas de café reduciendo drásticamente su rendimiento es la roya. Orozco-Arias et al., (2022) [5] indica que la roya del café es la enfermedad más dañina para el cultivo del café en todo el mundo surgiendo cada día nueva raza con una rápida evolución del patógeno con mayor virulencia, causando pérdidas importantes en el rendimiento de este y aumentando los costos para su control y erradicación

Un estudio realizado por Li et al., (2022) [6] sugiere la importancia de buscar una detección temprana de la roya, ya que este ha sido un brote sin precedentes en Mesoamérica, se indica un aumento estacional de la intensidad de la roya a comienzos de abril de cada año, iniciando con la estación lluviosa en las regiones de América, así pues, las señales de alerta temprana podrían ser útiles a la hora de evaluar la eficacia de la mitigación.

La roya se ha declarado un gran problema para los caficultores y Latinoamérica no ha sido la excepción, muchos autores ha propuesto modelos de regresión para estimar la roya a partir de variables meteorológicas que se ha propuesto para estimar la roya a partir de variable climáticas, estos modelos carecen de muestras reales de la roya porque el proceso de recolección se vuelve muy elevado en costos, por lo que es una limitante para este tipo de análisis [7].

Por otro lado, en menor medida la broca del café es una plaga que se puede encontrar en los cafetales y esta puede reducir la cantidad y calidad de los frutos de café hasta un 50%, por lo que se vuelve de mucha importancia erradicarla [8].

Existen muchos factores que contribuyen a la aparición de epidemias a los cultivos, por ejemplo, el estado de la economía, las decisiones de gestión de cultivos y el clima reinante, y muchos impactos resultantes en la producción, en los ingresos y medios de vida de los agricultores y trabajadores, y en la seguridad alimentaria. La producción se ha reducido considerablemente en muchos países productores de café durante los últimos 5 años, teniendo repercusiones directas en los medios de vida de miles de pequeños agricultores y recolectores en países de América central en donde el café es muchas veces la única fuente de ingreso [9].

La roya y otras enfermedades del café han causado pérdidas de hasta mil millones de dólares anuales y afecta a todo tipo de cultivos, independientemente si su régimen de

producción es orgánico o inorgánico, además los pequeños agricultores producen aproximadamente el 80% del café en los países en desarrollo [10]. Por lo que el objetivo de esta investigación es modelar el efecto de la roya en los agentes de la cadena de valor del café en las diversas regiones de Honduras.

II. REVISIÓN LITERARIA DE SIMULACIÓN DE SISTEMAS

A. *Las redes y el enfoque sistémico*

Existen varias redes que han mostrado el enfoque sistémico de los agentes que la conforman. Castroviejo et al., (2018) [11] en su estudio identifica una densa red de accionistas y administradores que centralizan el control del capital de empresas españolas mostrando los niveles de negociación que tiene cada uno de los agentes de la red. Una red de gran impacto es la desarrollada por Escalante et al., (2022) [12] de qué forma las redes de conocimiento contribuyen a mitigar los efectos del COVID-19 a nivel organizacional y productivo. Estas redes muestran un enfoque sistémico en la forma en que relacionan los agentes en los niveles organizacionales.

Las estructuras de las redes influyen en diferentes indicadores como la densidad, el coeficiente de conglomerado lo cual afecta la colaboración de los diferentes agentes [13]. Otro ejemplo del efecto de las estructuras es la interacción de estructura social, productiva y organizacional, la cual muestra una dinámica que permite la reproducción socio territorial [14]. Estos ejemplos muestran dos principios de las redes con enfoque sistémico donde la estructura afecta indicadores de la red y se pueden utilizar para proyectar situaciones en el tiempo.

B. *Simulación de sistemas*

Uno de los softwares más utilizados para este tipo de simulaciones es NetLogo el cual fue utilizado con un modelo para simular diferentes escenarios relacionados con la exposición de los consumidores a los medios de comunicación en el entorno en línea [15]. Las simulaciones y las redes pueden ser puntos de partida para la generación de conocimientos heterogéneos de una región particular, teniendo en cuenta que este conocimiento puede ser diferente en cada ciclo y rama del modelo [16].

La modelación basada en agentes es útil para establecer teorías y aunque se mayor debilidad es la validación empírica es recomendable acompañarlo de modelados estadísticos o implementación de lógica difusa [17]. La simulación basada en agentes y la dinámica de sistemas difieren de que la primera realiza una abstracción de los componentes del sistema y la segunda realiza correlaciones de las variables que influyen en el sistema. A pesar de que la simulación de las redes es un método muy utilizado, no obstante, las abstracciones de los sistemas siempre son discutible por lo que la mejor opción es utilizar ambas técnicas de simulación y evaluar los resultados [18].

III. MÉTODO

Para poder analizar el sistema de producción de café basado en los agentes de la red, se propone el uso de tres pasos. El primer paso es el análisis de la red utilizando pajek para posteriormente sacar los indicadores de la red basado en los datos proporcionados por el IHCAFE Honduras como lo

muestra la Tabla I. El segundo paso es la determinación de cocientes de los productores en relación con los diferentes agentes que intervienen en la cadena de valor. Estos cocientes y los indicadores de red serán utilizados en el coeficiente de correlación de Pearson utilizando SPSS. Finalmente se determina un sistema de ecuaciones de regresión lineal que modelan el sistema utilizando NetLogo.

Tabla I Datos de análisis

Indicadores	Copan	Santa Bárbara	Comayagua	El Paraíso	Cortes y Yoro	Olancho	Centro Sur
Municipios	61	29	47	13	20	26	18
Manzanas en Producción	139,083	42,814	108,437	62,382	21,643	17,649	7,022
Quintales oro por Manzana	26	21	21	17	26	18	18
Productores	27,841	12,802	26,744	15,669	6,594	6,559	2,573
Quintales de café Oro	2,706,098	717,581	2,258,805	1,014,767	378,455	324,843	127,529
Café diferenciado	811,829	107,637	790,582	101,477	116,186	25,987	12,115
Café Convencional	1,894,269	609,944	1,468,223	913,290	262,269	298,856	115,414
Intermediarios	249	95	222	49	22	48	9
Cooperativas	44	12	50	24	11	8	13
Exportadores	15	5	18	9	17	2	2

A. Indicadores de red

Para analizar cada red por departamento se calcularán diferentes indicadores de red, tales como el grado de centralidad ($\text{deg}(v)$), coeficiente de agrupamiento ($\text{CC}(v)$), la densidad de los agentes (D), intermedios ($C_B(v)$), y cercanía ($C_D(v)$). Para los cálculos de cada uno de estos indicadores de red se utilizará su respectiva ecuación

El grado de centralidad está dado por la cantidad de conexiones que tiene un nodo como lo muestra la ecuación 1, donde v es la cantidad de conexiones directas de un agente.

$$\text{deg}(v) = \sum v \quad (1)$$

El coeficiente de agrupamiento mide el nivel de comunicación que tiene un nodo en la red y se muestra en la ecuación 2, donde $G1(v)$ es la cantidad de conexiones entre los vecinos del agente.

$$\text{CC}(v) = \frac{2(G1(v))}{\text{deg}(v) * (\text{deg}(v) - 1)} \quad (2)$$

La densidad de un nodo es la cantidad de conexiones que el nodo tiene en la red y está dada por la ecuación 3, donde n es el número de posibles conexiones con los agentes que hay en la red y el $|E|$ es el número de conexiones reales con los agentes.

$$D = \frac{2|E|}{n(n-1)} \quad (3)$$

La intermedios es la capacidad que tiene un agente de conectar a otros agentes en la red y está dada por la ecuación 4, donde $\sigma_{st}(v)$ es la cantidad de pasos más cortos para llegar a otro agente. En otras palabras, la cantidad de veces que un nodo conecta a otros agentes por los caminos geodésicos.

$$C_B(v) = \sum \sigma_{st} \quad (4)$$

La cercanía permite medir la facilidad que tiene un agente para alcanzar a otro elemento de la red, en este caso se medirá la cercanía con los países que importan el café utilizando la ecuación 5.

$$C_D(v) = \frac{1}{\sum \sigma_{st}} \quad (5)$$

B. Coeficiente de correlación de Pearson

Para tener un análisis estandarizado de cada una de las regiones en relación a los agentes que intervienen en la cadena de valor del café, se utilizarán cocientes según las siguientes para posteriormente realizar un análisis de correlación de Pearson utilizando dos colas.

- Cociente de quintales por productor (CQP) el cual indica la cantidad de quintales que los productores de una región dan en promedio.
- Cociente de diferenciado por productor (CDP) el cual indica la cantidad de quintales de café de mayor calidad que los productores producen en una región.

- Cociente de manzana por productor (CMP) el cual indica la cantidad de manzanas por productor en promedio que utiliza en una región.
- Cociente de productor por intermediario (CPI) el cual indica la relación entre productores e intermediarios que hay una región.
- Cociente de productor por cooperativa (CPC) el cual indica la relación entre productores e cooperativas que hay una región.
- Cociente de productor por exportador (CPE) el cual indica la relación entre productores e exportador que hay una región.

El cálculo de estos se utilizará para relacionar los indicadores de redes con el coeficiente de correlación de Pearson. Este coeficiente permite analizar la correlación que tienen las variables si son inversamente proporcional (-1) o si son proporcionales (+1) y se utiliza la ecuación 6 para sus calculo. Donde Z es la desviación estándar de cada para en relación entre el número de datos N.

$$r_{xy} = \frac{\sum Z_x Z_y}{N} \quad (6)$$

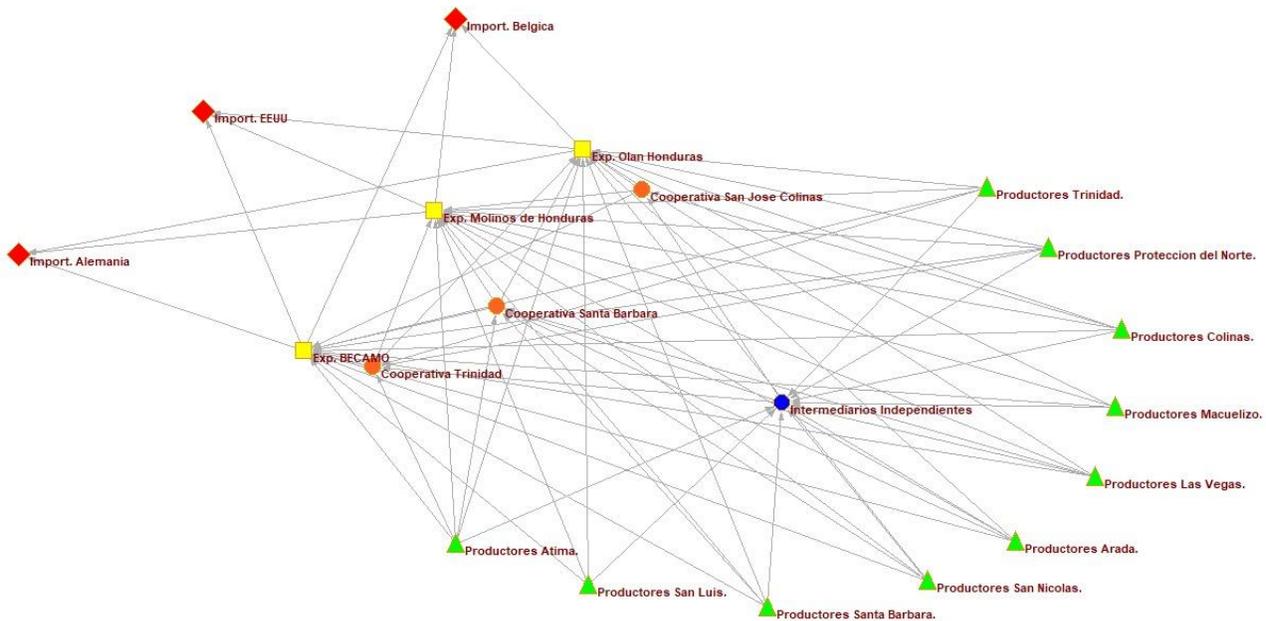


Figura 1 Red reducida de agentes de café en Santa Bárbara, ejemplo de las redes de otros sectores

A. Análisis de los indicadores de red

El análisis de los indicadores de la red toma de base la figura 1, pero utiliza los datos de la Tabla I, para determinar cada uno de los cálculos. Solo se toman en consideraciones los productores, los intermediarios, las cooperativas y los exportadores como punto final de la red, ya que no hay un

IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS

La relación que existe entre los diferentes agentes involucrados en la cadena de valor del café y basado en información del Instituto Hondureño del café al cierre de la cosecha del año 2021; La figura 1 muestra de forma reducida la red de agentes de la región de Santa Bárbara tomando en cuenta 10 principales municipios productores de café, 3 cooperativas, intermediarios en general, tres exportadoras y tres principales países importadores. El flujo de las flechas muestra hacia donde se mueve el café como producto comenzando con los productores hasta llegar a las empresas importadoras en otros países. En esta red se muestra que los productores interactúan con los intermediarios, las cooperativas e incluso las exportadoras de café. Los intermediarios mueven el café hacia las cooperativas y exportadoras reduciendo las ganancias para los productores. Las cooperativas son los principales aliados de los productores y las comunidades ya que poseen procesos abstractos como la capacitación y empleos para la comunidad. Finalmente, los exportadores tienen un mayor poder de negociación ya que están más cerca de divisas de café.

aproximado del número de compañías que importan café en otros países. El primer cálculo es la cantidad de grados de centralidad que tiene cada uno de los agentes, para lo cual se utilizó la ecuación (1). En el caso del número de grados de centralidad de los productores sería el total de conexiones directas que estos tienen con los demás agentes. Para el caso de Copan es número sería la multiplicación de cantidad de

productores multiplicado por la suma de los demás agentes ya que productores tienen relación directa con todos los agentes. En el caso de los intermediarios solo tendrían relación directa con las cooperativas y las exportadoras debido a el flujo es direccional. Por lo que el cálculo sería igual a multiplicar la cantidad de intermediarios por la suma de los otros agentes mencionados previamente. Finalmente, para las cooperativas sería la multiplicación de la cantidad de cooperativas por la cantidad de exportadoras.

La Tabla II muestra los resultados de cada sector donde los productores tienen un mayor número de grados, debido a la gran cantidad de productores que existen en cada comunidad. Comayagua pese a tener menos productores que Copan tiene un mayor número de grados debido a la mayor cantidad de agentes que se relacionan en esa zona.

Tabla II Grados de centralidad

	Prod	Int	Coop
Copan	4575389940	14691	660
Santa Bárbara	72971400	1615	60
Comayagua	5343451200	15096	900
El Paraíso	165840696	1617	216
Cortes y Yoro	27127716	616	187
Olancho	5037312	480	16
Centro Sur	602082	135	26

El segundo indicador de la red mide el nivel de comunicación que tiene cada agente en la red. Este se calcula para cada agente de forma individual es decir que el CC(v) de los productores es para cada uno en cada sector. Los agentes con mayor nivel de comunicación son las exportadoras ya que en todos los sectores son minoría y todos los demás agentes tratan de llegar a la exportadora ya que es la más cercana a las ventas internacionales. Entre menor es la cantidad de agentes que interactúan en la red mayor es el nivel de comunicación que estos tienen como se aprecia el caso de centro sur que tiene menos productores que las zonas de Copan y Comayagua como se muestra en la Tabla III.

Tabla III Coeficiente Conectividad

	Prod	Int	Coop	Exp
Copan	0.00000004	0.00000007	0.00000962	0.00009174
Santa Bárbara	0.00000021	0.00000029	0.00010686	0.00065821
Comayagua	0.00000006	0.00000010	0.00000706	0.00006162
El Paraíso	0.00000063	0.00000175	0.00001277	0.00011409
Cortes y Yoro	0.00000347	0.00001742	0.00009677	0.00003433
Olancho	0.00000092	0.00000132	0.00023474	0.00420199
Centro Sur	0.00002112	0.00014243	0.00005022	0.00421329

La Tabla IV muestra los resultados de la densidad de cada agente en la red de forma individual al aplicar la ecuación (3). Se observa que la mayor densidad la tienen los productores ya que ellos se relacionan con los demás agentes de la red. Las cooperativas por ser número limitado en cada región tienen una densidad baja y son poco influyentes en el sistema.

Tabla IV Densidad de nodo de red

	Prod	Int	Coop
Copan	0.010288	0.000197	0.000001
Santa Bárbara	0.017840	0.000071	0.000001
Comayagua	0.011840	0.000305	0.000001
El Paraíso	0.015441	0.000127	0.000003
Cortes y Yoro	0.017423	0.000217	0.000010
Olancho	0.020191	0.000041	0.000001
Centro Sur	0.020175	0.000076	0.000008

Finalmente se aplican la ecuación (4) y (5) que es equivalente para cada región ya que los caminos geodésicos son iguales en cada caso. La Tabla V muestra los resultados de cercanía e intermedies, donde los productores son los más cercanos a la exportadora ya que pueden enviar directo y por otras vías y al mismo son los que tienen mayor intermedies ya que están alimentando a los demás agentes de la red.

Tabla V Cercanía e Intermedies

	Prod	Int	Coop
Cercanía	0.33	0.50	1.00
Intermedies	3.00	2.00	1.00

B. Coeficiente de correlación de Pearson

Antes de realizar la correlación de los diferentes agentes, es necesario estandarizar los datos de la Tabla I, para lo cual se realizan los cocientes de CQP, CDP, CMP, CPI, CPC y CPE como se muestran en la Tabla VI. Por lo que Copan tiene la mejor relación de quintales por productor y por manzana, no obstante, la mayor producción de café diferenciado por productor se da en Comayagua. El Paraíso muestra en mercado más agresivo ya que hay 320 productores para cada intermediario, mientras que Santa Bárbara tiene un mejor uso de las cooperativas, aunque no se ve reflejado en el rendimiento de las manzanas. Finalmente, Olancho muestra un mayor cociente entre los productores y exportadores.

Para el análisis de correlación se utilizarán los datos de la Tabla VI, los grados de centralidad y densidad de los productores, ya que son los agentes más incidentes en la red. A estos datos se les aplica la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk los resultados se muestran en la Tabla VII.

Tabla VI Cocientes en relación con los productores

	CQP	CDP	CMP	CPI	CPC	CPE
Copan	97.2	29.2	5.0	111.8	632.8	1856.1
Santa Bárbara	56.1	8.4	3.3	134.8	1066.8	2560.4
Comayagua	84.5	29.6	4.1	120.5	534.9	1485.8
El Paraíso	64.8	6.5	4.0	319.8	652.9	1741.0
Cortes y Yoro	57.4	17.6	3.3	299.7	599.5	387.9
Olancho	49.5	4.0	2.7	136.6	819.9	3279.5
Centro Sur	49.6	4.7	2.7	285.9	197.9	1286.5

Tabla VII Prueba de normalidad Shapiro-wik

	Estadístico	Gl	Sig.
CQP	.849	7	.121
CDP	.818	7	.062
CMP	.926	7	.518
CPI	.780	7	.026
CPC	.955	7	.772
CPE	.978	7	.950
D	.903	7	.347
GC	.646	7	.001

Debido a que el comportamiento de los datos de las variables CPI y GC no son normales, se excluyen para la correlación de Pearsman, bivariada y de dos colas utilizando SPSS. La Tabla VIII muestra los resultados del coeficiente de Pearson donde se resalta en amarillo la significancia de la correlación. En el caso de CQP, CDP y CMP tienen una correlación alta y directamente proporcional, mientras que con D la relación es inversamente proporcional. Los casos son similares en CDP y CMP, lo cual tiene sentido ya que entre más manzanas se cultiva mayor será la producción y mayor es la probabilidad de tener café diferenciado. En cambio, la densidad de la red tiene un comportamiento negativo con respecto a estas variables lo que indica que entre menor sea el valor de la densidad, es decir más agentes estén conectados en la red mayor serán los valores de estos cocientes.

Tabla VIII Coeficiente de correlación de Pearson

	CQP	CDP	CMP	CPC	CPE	D	
CQP	Correlación de Pearson	1	.897**	.949**	-.060	-.150	-.985**
	Sig. (bilateral)		.006	.001	.898	.748	.000
	N	7	7	7	7	7	7

CDP	Correlación de Pearson	.897**	1	.774*	-.116	-.369	-.891**
	Sig. (bilateral)	.006		.041	.804	.415	.007
	N	7	7	7	7	7	7
CMP	Correlación de Pearson	.949**	.774*	1	.055	-.160	-.963**
	Sig. (bilateral)	.001	.041		.906	.731	.001
	N	7	7	7	7	7	7
CPC	Correlación de Pearson	-.060	-.116	.055	1	.616	.017
	Sig. (bilateral)	.898	.804	.906		.141	.972
	N	7	7	7	7	7	7
CPE	Correlación de Pearson	-.150	-.369	-.160	.616	1	.207
	Sig. (bilateral)	.748	.415	.731	.141		.655
	N	7	7	7	7	7	7
D	Correlación de Pearson	-.985**	-.891**	-.963**	.017	.207	1
	Sig. (bilateral)	.000	.007	.001	.972	.655	
	N	7	7	7	7	7	7

C. Modelado del sistema

Basado en las correlaciones se puede afirmar que los intermediarios y las cooperativas no inciden en la producción del café, sino que son una consecuencia de la oferta incontrolada que tienen los productores. Por lo que se establecen las siguientes ecuaciones de regresión lineal para determinar la cantidad de exportadores, cooperativas e intermediarios que crecen en el sistema.

$$\begin{aligned}
 Y_E &= 0.307 + 0.0017X_P - 0.000021X_Q + 0.00003X_D \\
 Y_C &= 0.363 + 0.0019X_P - 0.000012X_Q + 0.00003X_D \quad (7) \\
 Y_I &= 0.064 + 0.0033X_P - 0.000008X_Q + 0.00015X_D
 \end{aligned}$$

Donde:

$$\begin{aligned}
 Y_E &\rightarrow \text{Exportadores} \\
 Y_C &\rightarrow \text{Cooperativas} \\
 Y_I &\rightarrow \text{Intermediarios}
 \end{aligned}$$

$X_P \rightarrow$ Producción
 $X_Q \rightarrow$ Quintales
 $X_D \rightarrow$ Densidad red

Por otro lado, es necesario modelar el efecto de la roya en las fincas de café. Este comportamiento es emulado utilizando NetLogo como se muestra en la figura 2, donde la entrada de tortugas representa los miles de manzanas plantadas con café. Como entrada del sistema es necesario establecer el rendimiento por manzana que tiene el café en condiciones normales y el nivel de monitoreo y uso de fertilizantes contra la roya para simular el sistema.

Se realiza una simulación tomando en cuenta las 139000 manzanas de copan para emular la cantidad de manzanas que son afectadas por la roya. La simulación inicia en condiciones perfectas tomando en cuenta un rendimiento de 26 quintales oro por manzana se puede estimar utilizando el conjunto de ecuaciones (7) permitiendo entender el comportamiento de los agentes. La cantidad de quintales producidos en Copan desciende a 2,300,000 de los cuales 690,000 quintales son de café diferenciado y asumiendo que se mantienen los productores, las exportadoras pasarían a 20, las cooperativas a 46 y una disminución a 177 intermediarios. Esto mantiene los indicadores de red muy similares con la salvedad de la densidad de un intermediario aumenta en la red a 0.00029 aumento la importancia de cada intermediario por la disminución de los mismos.

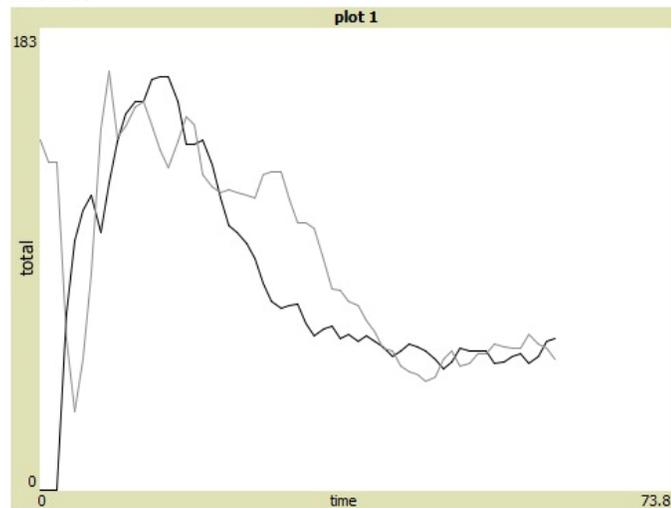


Figura 2 Resultado de la simulación

IV. CONCLUSIONES

Finalmente se concluye que los agentes de la cadena de valor del café, los productores son los agentes con mayor relevancia ya que tienen mayor cercanía e intermedies en la red. Los demás agentes no tienen el peso suficiente en la mayoría de las regiones debido a la alta densidad de la red. Basado en las correlaciones se puede afirmar que los intermediarios y las cooperativas no inciden en la producción del café, sino que son

una consecuencia de la oferta incontrolada que tienen los productores. Se propone un sistema para estimar los cambios de los agentes de la cadena de valor de café de tal forma que se pueda ver el efecto que tiene la roya en la medida que esta disminuye la capacidad productiva de los sectores.

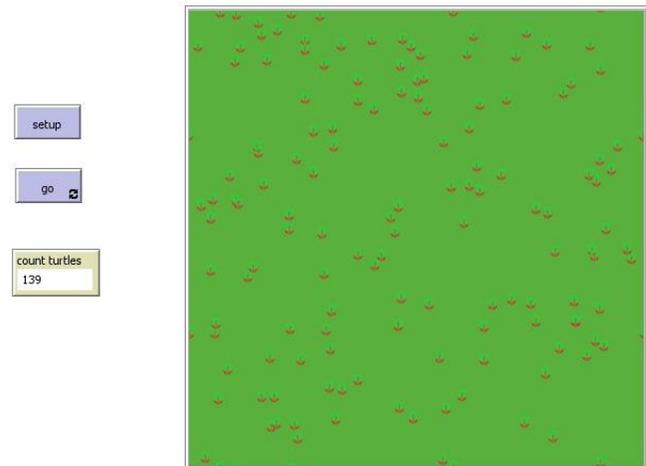


Figura 3 Pantalla de NetLogo

REFERENCES

- [1] S. Manson et al., «The effectiveness of a biopesticide in the reduction of coffee berry borers in coffee plants», *Crop Protection*, vol. 161, p. 106075, nov. 2022, doi: 10.1016/j.cropro.2022.106075.
- [2] J. Avelino, A. Romero-Gurdián, H. F. Cruz-Cuellar, y F. A. J. Declerck, «Landscape context and scale differentially impact coffee leaf rust, coffee berry borer, and coffee root-knot nematodes», *Ecological Applications*, vol. 22, n.o 2, pp. 584-596, 2012, doi: 10.1890/11-0869.1.
- [3] S. Orozco-Arias, M. S. Candamil, P. A. Jaimes, M. Cristancho, R. Tabares-Soto, y R. Guyot, «Composition and Diversity of LTR Retrotransposons in the Coffee Leaf Rust Genome (*Hemileia vastatrix*)», *Agronomy*, vol. 12, n.o 7, 2022, doi: 10.3390/agronomy12071665.
- [4] K. Li, Z. Hajian-Forooshani, C. Su, I. Perfecto, y J. Vandermeer, «Reduced rainfall and resistant varieties mediate a critical transition in the coffee rust disease», *Scientific Reports*, vol. 12, n.o 1, 2022, doi: 10.1038/s41598-022-05362-0.
- [5] E. J. Girón, D. C. Corrales, M. P. Sesmero, J. A. Iglesias, y J. C. Corrales, «Synthetic samples generator (SYSGEN), an approach to increase the size of incidence samples in coffee leaf rust modelling», *Evolving Systems*, vol. 13, n.o 4, pp. 625-636, 2022, doi: 10.1007/s12530-021-09395-0.
- [6] M. C. Tobing, S. C. T. Sinaga, Bintang, Widiastuty, y N. Pramayudi, «The Used of Attractants from Coffee at Various Heights Traps to Control Coffee Berry Borer and Quality Test of Coffee Berry», presentado en IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022, vol. 974, n.o 1. doi: 10.1088/1755-1315/974/1/012024.
- [7] J. Avelino et al., «The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): impacts, plausible causes and proposed solutions», *Food Sec.*, vol. 7, n.o 2, pp. 303-321, abr. 2015, doi: 10.1007/s12571-015-0446-9.
- [8] N. E. T. Castillo et al., «Towards an Eco-Friendly Coffee Rust Control: Compilation of Natural Alternatives from a Nutritional and Antifungal Perspective», *Plants*, vol. 11, n.o 20, 2022, doi: 10.3390/plants11202745.
- [9] I. S. Castroviejo, J. C. Omil, P. Cabanelas, y J. F. Lampón, «Configuraciones de control de las redes de poder empresarial en España», *Revista Internacional de Sociología*, vol. 76, n.o 2, Art. n.o 2, jun. 2018, doi: 10.3989/ris.2018.76.2.16.0100.
- [10] J. C. C. Escalante, E. L. León, y N. Y. T. Soto, «Redes de transferencia del conocimiento COVID-19 en organizaciones acuícolas del pacífico norte de

- México», *Revista Vértice Universitario*, sep. 2022, doi: 10.36792/rvu.v9i3i93.59.
- [11] C. A. C. González, «Endogeneidad y autoorganización como propiedades dinámicas de los clústeres productivos / Endogeneity and Self-Organization as Dynamic Properties of Productive Clusters», *RICSH Revista Iberoamericana de las Ciencias Sociales y Humanísticas*, vol. 8, n.o 15, Art. n.o 15, mar. 2019, doi: 10.23913/ricsh.v8i15.162.
- [12] J. I. G.-V. Medina, «El efecto de la estructura de las redes sociales sobre la confianza. Un análisis de simulaciones computarizadas y evaluación de la tesis de Coleman», *Papers. Revista de Sociología*, vol. 105, n.o 1, Art. n.o 1, 2020, doi: 10.5565/rev/papers.2549.
- [13] H. Chen, C. Chen, H. Li, J. Zhang, y Z. Yang, «A Simulation Study on the Processes of Intra-Group Informal Interaction Affecting Workers' Safety Behaviors», *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, n.o 16, Art. n.o 16, ene. 2022, doi: 10.3390/ijerph191610048.
- [14] M. S. A. Arvizu y Á. B. Sierra, «Emergencia y complejidad en los Sistemas Regionales de Innovación: aplicación de una metodología basada en agentes del sector biotecnológico del estado de Sonora», *Frontera Norte*, vol. 32, may 2020, doi: 10.33679/rfn.v1i1.1987.
- [15] Á. V. Torres, «Modelación y simulación basada en agentes en ciencias sociales: una aproximación al estado del arte», *Polis (Santiago)*, vol. 18, n.o 53, Art. n.o 53, sep. 2019, doi: 10.32735/S0718-6568/2019-N53-1392.
- [16] L. R. Izquierdo, J. M. G. Ordax, J. I. Santos, y R. D. O. Martínez, «Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas», *Empiria. Revista de metodología de ciencias sociales*, n.o 16, Art. n.o 16, 2008, doi: 10.5944/empiria.16.2008.1391.