

D. Anexo: cálculo de indicadores y soportes estadísticos

Dinámica media de Sombra											
Indicador			Información	Fuente	Variables principales			Descripción	Ecuación	Ecuación del indicador	Ecuación del indicador en el modelo dinámico
Nombre	Sigla	Unidad			Nombre	Siglas	Unidad				
Dinámica media de Sombra	DS	$\frac{m^2 \text{ de sombra}}{ha}$	Dinámica de sobra en sistemas agroforestales con café	(Andrade & Segura, 2016)	Edad del árbol	E	año	Años transcurridos desde el momento de la plantación.	$E = Time$	$DS = AS \times NA$	$DS = AS \times NA$
					Número de árboles	NA	$\frac{\# \text{ árboles}}{ha}$	Número de árboles por hectárea, según densidad de siembra.	$NA = 70$		
					Área de sombra	AS	m^2	Área de sombra por árbol, depende de la edad del árbol (E).	$As = 280 \left(\frac{E}{(47,6 + E)} \right)$		
	año	m^2	#/ha	m^2 de sombra/ha							
time	Edad del árbol	área de sombra	Número de árboles	Dinámica de sombra	Nota: distanciamiento de siembra de árboles 12 x 12 m establecido por Cardona y Sadeghian (2013) y para plantas 1,5 x 1,5 (http://hdl.handle.net/10778/409). Nota: en los supuestos del modelo para el agroecosistema tipo la densidad de siembra es de 70 árboles por hectárea a partir del año 10 y 4444 plantas de café por hectárea.						
0	0	0,00	43	0,00							
1	1	5,76	45	403,29							
2	2	11,29	47	790,32							
3	3	16,60	49	1162,06							
4	4	21,71	52	1519,38							
5	5	26,62	54	1863,12							
6	6	31,34	57	2194,03							
7	7	35,90	60	2512,82							
8	8	40,29	63	2820,14							
9	9	44,52	66	3116,61							
100	10	48,61	70	3402,78							

Erreur-type	0,838857216			
Observations	11			
ANALYSE DE VARIANCE				
	<i>Degré de liberté</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>
Régression	2	515,296	257,6481466	366,1431663
Résidus	9	6,33313	0,703681429	
Total	11	521,629		
	<i>Coefficients</i>	<i>Erreur-type</i>	<i>Statistique t</i>	<i>Probabilité</i>
Constante	0	#N/A	#N/A	#N/A
Dinámica de sombra	0,002029947	0,00184	1,105290054	0,297704018
Stock de ABS	2,85 ^E -07	3,3 ^E -07	0,865061398	0,409470412

CALCULO DE MAPE			
time	Materia orgánica en el suelo ton/ha año	Materia orgánica en el suelo calculado en modelo dinámico ton/ha año	MAPE
0	0	0,00	0,00
1	0,65	0,87	33,76
2	1,8	1,59	11,88
3	2,31	2,55	10,57
4	4,5	3,73	17,14
5	4,4305	5,06	14,16
6	5,6658	6,49	14,50
7	7,0175	7,97	13,59
8	11	9,47	13,87
9	10,07	10,97	8,98
10	13	12,55	3,43
Valor promedio MAPE=			12,90

Densidad aparente						
Indicador			Fuente	Descripción	Ecuación del indicador	Ecuación del indicador en el modelo dinámico
Nombre	Sigla	Unidad				
Densidad aparente	DA	g / cm ³	(Salamanca & Sadeghian, 2005)	Ecuación reportada por la fuente, basado en datos de campo para la zona cafetera colombiana. Una baja densidad aparente indica suelos porosos, bien aireados y con buen drenaje.	DA = 1,77 - 0,14 MO + 0,006 MO ² - 0,00008 MO ³ (R ² =0,69)	DA = 1,77 - 0,14 MO + 0,006 MO ² - 0,00008 MO ³ (R ² =0,69) Donde: MO: materia orgánica

t	Densidad aparente	Materia orgánica en el suelo
0	1,8	0,0
1	1,7	0,7
2	1,5	1,8
3	1,5	2,3
4	1,3	4,5
5	1,3	4,4
6	1,2	5,7
7	1,1	7,0
8	0,8	11,0
9	0,9	10,1

Nota: la materia orgánica proviene de la descomposición de la hojarasca.

Valoración de los servicios ecosistémicos en agroecosistemas: contribuciones desde la economía ecológica

10	0,8	13,0								
Retención de humedad en el suelo										
Indicador			Información	Fuente	Variables principales			Descripción	Ecuación del indicador	Ecuación del indicador en el modelo dinámico
Nombre	Sigla	Unidad			Nombre	Siglas	Unidades			
Retención de humedad en el suelo	RHs	Fracción	Se calcula en función de la humedad volumétrica	(Jaramillo-Robledo & Cháves-Córdoba, 1999; Cardona & Sadeghian, 2006)	Humedad volumétrica	Hv	% medio anual	Relación entre el volumen de agua y el volumen total o aparente del suelo seco	$Hv = 2E - 05 \times DS + 0,37$ DS: dinámica media de sombra	$Rhs = 0,0698 + 0,00034(MO) + 0,00697(NA)$ MO: materia orgánica. NA: número de árboles
Fracción			ton/ ha año	# árboles / ha						
Retención de humedad en el suelo			Materia orgánica en el suelo	Número de árboles						
0,37			0,00	43						
0,38			0,65	45						
0,40			1,80	47						
0,42			2,31	49						
0,43			4,50	52						
0,45			4,43	54						
0,47			5,67	57						
0,49			7,02	60						
0,52			11,00	63						
0,54			10,07	66						
0,56			13,00	70						
RAPPORT DÉTAILLÉ										
Statistiques de la régression										
Coefficient de détermination multiple		0,999972935								
Coefficient de détermination R^2		0,999945871								
Coefficient de détermination R^2		0,999927828								
Erreur-type		0,000425692								
Observations		9								
		F tabla			3,46330407					
		T tabla			1,94318028					
ANALYSE DE VARIANCE										
		Degré de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Valeur critique de F				
Régression		2	0,020085722	0,010042861	55419,9	1,586E-13				
Résidus		6	1,08728E-06	1,81214E-07						
Total		8	0,020086809							
		Coefficients	Erreur-type	Statistique t	Probabilité	Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%				
Constante		0,069841912	0,003949516	17,68366291	2,0999E-06	0,06017779				
Materia Orgánica en el Suelo		0,00033842	0,000179677	1,883489898	0,10862816	-0,00010123				
Número de árboles		0,006968441	8,85843E-05	78,66451021	2,8414E-10	0,00675168				
Actividad biológica en el suelo										
Indicador			Información	Fuente	Descripción	Ecuación del indicador en el modelo dinámico				
Nombre	Sigla	Unidad								

Actividad biológica en el suelo	Abs	# lombrices / ha	Datos de media anual	(Vásquez-Vela, 2014; Montagnini et al., 2015)	Datos reportados del número de lombrices por m ² , hasta una profundidad de 10 cm en el suelo.	Abs = (766,986 × RHs – 113,077 × DA) × 10000 Donde: RHs: retención de humedad en el suelo DA: densidad aparente
# lombrices / m ²		# lombrices / ha				
t	Actividad biológica en el suelo	Actividad biológica en el suelo	Retención de humedad en el suelo	Densidad aparente		
0	78	780 000	0,4	1,77		
1	115,2	1 152 000	0,4	1,68		
2	120	1 200 000	0,4	1,54		
3	130	1 300 000	0,5	1,48		
4	151,47	1 514 700	0,5	1,25		
5	156,8	1 568 000	0,5	1,26		
6	161	1 610 000	0,5	1,15		
7	203	2 030 000	0,5	1,06		
8	242	2 420 000	0,5	0,85		
9	305	3 050 000	0,5	0,89		
10	402	4 020 000	0,6	0,79		
RAPPORT DÉTAILLÉ						
<i>Statistiques de la régression</i>						
Coefficient de détermination multiple		0,99753521				
Coefficient de détermination R ²		0,995076495				
Coefficient de détermination R ²		0,851515994				
Erreur-type		12,54857191		F tabla	3,25744	
Observations		9		T tabla	1,89457	
ANALYSE DE VARIANCE						
		Degré de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Valeur critique de F
Régression		2	222776,1743	111388,0872	707,375	7,5318E-08
Résidus		7	1102,266598	157,4666569		
Total		9	223878,4409			
		Coefficients	Erreur-type	Statistique t	Probabilité	Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%
Constante		0	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Retención de humedad en el suelo		766,9869941	42,70518981	17,9600418	4,0984E-07	666,005267
Densidad aparente		-113,0770583	12,30927215	-9,18633181	3,7327E-05	-142,183862
	# lombrices / m ²	# lombrices / ha	# lombrices/ha			
t	Actividad biológica en el suelo	Actividad biológica en el suelo	Actividad biológica en el suelo calculado	MAPE		
0	78,0	780000	782004,0	0,00		
1	115,2	1152000	1061001,5	0,00		
2	120,0	1200000	1308856,7	9,07		
3	130,0	1300000	1582720,1	21,75		
4	151,5	1514700	1869027,2	23,39		
5	156,8	1568000	2154811,7	37,42		
6	161,0	1610000	2240018,3	39,13		
7	203,0	2030000	2488497,7	22,59		
8	242,0	2420000	2727727,2	12,72		
9	305,0	3050000	3047809,3	0,07		

Nota: la actividad biológica del suelo asociada a lombrices, proviene de datos obtenidos por mediciones de campo realizadas por (Vásquez-Vela, 2014; Montagnini et al., 2015), para el año cero (0), se asume el valor reportado para café con exposición solar, para el año 10, se asume el valor reportado para sistema de café bajo sombra con manejo orgánico. Según Vásquez-Vela (2014) y Montagnini et al (2015), se observó la dependencia del número de lombrices con la disponibilidad de materia orgánica y la humedad en el suelo.

Valoración de los servicios ecosistémicos en agroecosistemas: contribuciones desde la economía ecológica

10	402,0	4020000	4405886,0	9,60						
			Valor promedio MAPE=	15,98						
Nitrógeno en el suelo										
Indicador			Información	Fuente	Variables principales		Descripción	Ecuación del indicador	Ecuación en el modelo dinámico	
Nombre	Sigla	Unidad			Nombre	Siglas				Unidades
Nitrógeno en el suelo	NS	$\frac{Kg N}{ha\ año}$	Nitrógeno aportado al suelo por la actividad biológica de lombrices a 10 cm de profundidad.	(Merino, 1986; Durán-Umaña & Henríquez-Henríquez, 2006)	Actividad biológica en el suelo	Abs	$\frac{\# lombrices}{ha}$	Hace referencia al número de lombrices por m ² hasta 10 cm de profundidad.	$NS = Abs \times Hum \times Nt$	$NS = 3,2953 - 0,0018 \times StockNt + 0,00015 \times Abs$
					Humus producido	Hum	$\frac{0,00003\ kg\ humus}{lombriz\ día}$	Valores reportados de humus producido por lombrices a partir de hojarasca		
					Nitrógeno total	Nt	$\frac{0,014\ kgNt}{kg\ humus}$	Una muestra de humus de lombriz tiene el 1,4% de nitrógeno total		
$kg\ N / ha\ año$			$\# lombrices / ha$							
t	Nitrógeno en el suelo	Stock de nitrógeno en el suelo	Actividad biológica en el suelo							
0	119,6	119,6	780000,0							
1	176,6	296,2	1152000,0							
2	184,0	480,1	1200000,0							
3	218,0	698,1	1300000,0							
4	232,2	930,3	1514700,0							
5	240,4	1170,7	1568000,0							
6	246,8	1417,5	1610000,0							
7	311,2	1728,7	2030000,0							
8	371,0	2099,7	2420000,0							
9	467,6	2567,3	3050000,0							
10	514,0	3081,3	4020000,0							
RAPPORT DÉTAILLÉ										
<i>Statistiques de la régression</i>										
Coefficient de détermination multiple		0,99656								
Coefficient de détermination R ²		0,99313								
Coefficient de détermination R ²		0,99085								
Erreur-type		7,10195		F tabla		3,46330407				
Observations		9		T tabla		1,943180281				
ANALYSE DE VARIANCE										
	<i>Degré de liberté</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Valeur critique de F</i>					
Régression	2	43773,75074	21886,87537	433,9392663	3,23669E-07					
Résidus	6	302,6258797	50,43764662							
Total	8	44076,37662								
	<i>Coefficients</i>	<i>Erreur-type</i>	<i>Statistique t</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%</i>					
Constante	3,2953	18,81029642	0,175185945	0,866695944	-42,73183769					
StockNt	-0,0018	0,016692934	-0,109331049	0,916504841	-0,042671193					

Actividad biológica en el suelo 0,00015 2,28359E-05 6,730448931 0,000523617 9,78183E-05

Captura de CO2

Indicador			Información	Fuente	Variables principales			Ecuaciones de variables principales	Ecuación del indicador
Nombre	Sigla	Unidad			Descripción	Siglas	Unidades		
Captura de CO _{2-eq}	CC	Kg CO _{2-eq} /ha	Ecuaciones para determinar la captura de CO ₂ en el fuste para árboles y plantas de café.	(Moraga et al., 2012)	Captura de CO ₂ para árboles:	CCArb	Kg CO _{2-eq} /ha	$CCArb = Biomasa\ de\ árboles \times FCCO2Arb$ $Biomasa\ de\ árboles = 10^{(2,3408 \times Log_{10}(DAP) - 0,9578)} \times NA$ Dónde: NA: número de árboles sembrados [# /ha] FCCO2Arb: factor de captura de CO2 para árboles (0,5 kg CO2 capturado/ kg biomasa de árboles) DAP: diámetro a la altura del pecho (cm) para los árboles.	CC = CCArb + CCCaf
					Captura de CO ₂ para Cafetos:	CCCaf	Kg CO _{2-eq} /ha		

Se inicia con el cálculo de la biomasa de árboles y de plantas de café, luego estos valores se multiplican por la densidad de siembra para árboles y cafetos respectivamente. La biomasa de árboles y cafetos se multiplican por sus respectivos factores de captura de CO₂; para cafetos se tiene el factor de 0,48 (kg CO₂ capturado/ kg biomasa de cafetos) y para árboles de 0,5 (kg CO₂ capturado/ kg biomasa de árboles), factores de captura de CO₂ reportados por el panel intergubernamental de cambio climático (IPCC) citados en Moraga et al. (2012). Los valores relacionados con el crecimiento y desarrollo del café (*coffea arábica*) bajo la sombra de especies arbóreas son tomados de Solórzano y Querales (2010).

t	Número de árboles/ha	DAP Guamo calculado [cm]	Biomasa de árboles	CO ₂ de árboles	Número de cafetos/ha	DB promedio cafetos	Altura promedio cafetos [cm]	Biomasa de cafetos	Captura de CO ₂ cafetos	Captura de CO _{2-eq}
0	43,0	0,00	0,00	0,00	4444,00	0	0,0	0,0	0,00	0,00
1	45,2	2,00	0,56	0,28	4444,00	2	40,0	4612,3	2213,90	2214,18
2	47,4	3,00	68,37	34,19	4444,00	3	50,0	7804,4	3746,11	3780,30
3	49,8	5,00	237,35	118,67	4444,00	4	70,0	12479,2	5990,02	6108,69
4	52,3	9,00	986,54	493,27	4444,00	4	80,0	13412,3	6437,89	6931,17
5	54,9	11,00	1656,94	828,47	4444,00	4	100,0	15129,8	7262,32	8090,79
6	57,6	12,00	2132,81	1066,40	4444,00	5	120,0	20869,0	10017,13	11083,53
7	60,5	14,00	3212,55	1606,28	4444,00	6	140,0	27216,6	13063,99	14670,26
8	63,5	16,00	4610,91	2305,46	4444,00	7	160,0	34126,9	16380,91	18686,37
9	66,7	18,00	6378,43	3189,22	4444,00	8	180,0	41563,4	19950,44	23139,65
10	70,0	20,00	8570,62	4285,31	4444,00	8	180,0	41563,4	19950,44	24235,75

Rendimiento de los productos (provenientes de animales, cultivos y secundarios)

Indicador			Información	Fuente	Variables principales			Ecuación en el modelo dinámico
Nombre	Sigla	Unidad			Descripción	Sigla	Unidad	
Rendimiento de los productos	RP	kg/ha año	Se considera solamente el rendimiento del café pergamino seco	(Sánchez & Narváez, 2015; Farfán & Sánchez, 2016)	Datos reportados de rendimiento café pergamino seco	RCPS	kg/ha año	$RCPS = -0,0015 \times BE - 0,5955 \times DS + 1798,674 \times PAL - 5594,222 \times PC$ Donde: BE: balance energético. DS: dinámica de sombra. PAL: prácticas agroecológicas locales. PC: pérdida de cosecha

Valoración de los servicios ecosistémicos en agroecosistemas: contribuciones desde la economía ecológica

Rendimiento café pergamino seco	Balance energético	Dinámica de sombra	Prácticas agroecológicas locales	Pérdida de cosecha	t
0,00	0,00	0,00	0,11	0,10	0,00
0,00	28600,00	260,12	0,22	0,12	1,00
367,00	46200,00	535,25	1,33	0,10	2,00
1104,00	105400,00	826,35	2,11	0,10	3,00
4177,00	155800,00	1134,47	2,44	0,09	4,00
4168,00	200900,00	1460,69	3,00	0,08	5,00
4159,00	243300,00	1806,13	3,22	0,08	6,00
3910,00	283800,00	2171,99	3,22	0,07	7,00
3654,54	323000,00	2559,51	3,33	0,07	8,00
3654,54	361100,00	2970,00	3,44	0,06	9,00
3654,54	397700,00	3404,84	3,56	0,06	10,00

RAPPORT DÉTAILLÉ					
<i>Statistiques de la régression</i>					
Coefficient de détermination multiple	0,987122626				
Coefficient de détermination R^2	0,974411079				
Coefficient de détermination R^2	0,911071858	F tabla	2,30774713		
Erreur-type	573,6716696	T tabla	1,73960673		
Observations	21				
ANALYSE DE VARIANCE					
	Degré de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Valeur critique de F
Régression	4	213042364	53260591	161,837505	1,0089E-12
Résidus	17	5594686,137	329099,1845		
Total	21	218637050,1			
	Coefficients	Erreur-type	Statistique t	Probabilité	Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%
Constante	0	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Balance Energético	-0,001512355	0,001878632	-0,805030119	0,43191809	-0,00547592
Dinámica de sombra	-0,59554793	0,450068412	-1,323238676	0,20327834	-1,54510928
Prácticas Agroecológicas Locales	1798,674442	284,6949373	6,317901048	7,7165E-06	1198,02063
Pérdida de cosecha	-5594,222315	3525,220418	-1,586914193	0,13095637	-13031,7873

Cálculo del MAPE para rendimiento café pergamino seco				
time	Rendimiento café pergamino seco	Rendimiento del café pergamino seco calculado [kg/ ha año]	MAPE	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00	367,00	1450,51		
3,00	1104,00	2661,00		
4,00	4177,00	3634,54		
5,00	4168,00	3780,13	9,31	
6,00	4159,00	3923,39	5,66	
7,00	3910,00	3660,76	6,37	
8,00	3654,54	3623,88	0,84	
9,00	3600,26	3609,30	0,25	
10,00	No reportado	3387,51		
			Valor promedio MAPE=	6,25

Se calcula el valor promedio del MAPE a partir del cuarto año, ya que los valores reportados por la literatura entre los años 0 al 4 presentan un comportamiento en el cual se cuadruplica el rendimiento del año anterior. Por el contrario, el rendimiento reportado en el periodo entre el año 4 y el 9 muestra una reducción de entre un 5 – 10% anual, posteriormente al año 9 se plantea la hipótesis de un mantenimiento de la producción alrededor de los 3600 kg/ha. Se observa como el modelo se ajusta al comportamiento de los datos reales a partir del año 4. Es importante aclarar que los valores reportados por la literatura sobre el rendimiento del café pergamino seco a partir del séptimo año son estimados, ya que se considera una estabilización en la producción y un zóqueo periódico.

Pérdida de cosecha

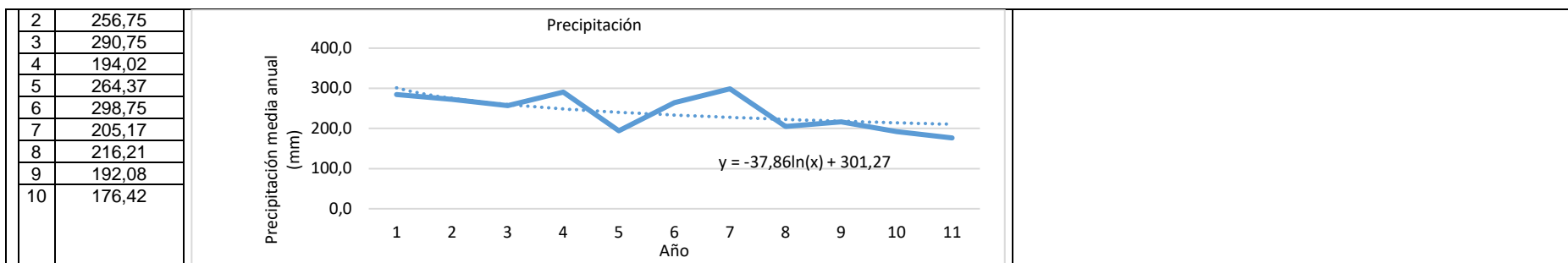
Indicador			Fuente	Variables principales		Descripción del cálculo	Ecuación del indicador	Ecuación del indicador en el modelo dinámico
Nombre	Sigla	Unidad		Descripción	Sigla			
Pérdida de cosecha	PC	Adim.	Autor basado en (Téllez & Boshell, 2001)	Es un factor adimensional propuesto en esta disertación y basado en los estudios realizados por Téllez y Boshell (2001), se asignan valores fraccionales a la pérdida de cosecha asociados al ISNH (índice de satisfacción de necesidades hídricas) reportados para la zona cafetera colombiana, en proximidades de la región de Chinchiná (Caldas). Es así como se observa que, si el ISNH aumenta, entonces la pérdida de cosecha disminuye, tanto para el café pergamino seco como para los cultivos misceláneos asociados a seguridad alimentaria que tenga el agroecosistema tipo. El ISNH caracteriza la disponibilidad de agua en el suelo para el cultivo, y depende de la relación entre los valores de precipitación y evapotranspiración potencial (FAO, IIASA, 2000).	ISNH	Adim. (fracción)	En el modelo dinámico, se analiza la relación del indicador pérdida de cosecha con los indicadores precipitación (P), retención de humedad en el suelo (RHs) y diversificación de la producción (DP). PC = 1 - ISNH	$PC = 0,000203215 \times P + 0,145915976 \times RHs - 0,020343131 \times DP$ Donde P: precipitación RHs: retención de humedad en el suelo DP: diversificación de la producción

t	ISNH	Pérdida de cosecha
0	0	0,1
1	0	0,1
2	0,9	0,1
3	0,91	0,09
4	0,92	0,08
5	0,93	0,07
6	0,94	0,06
7	0,95	0,05
8	0,96	0,04
9	0,97	0,03
10	0,98	0,02

Pérdida de cosecha	Precipitación	Retención de humedad en el suelo	Diversificación de la producción
0,1	284,20	0,37	0,00
0,1	272,63	0,43	1,00
0,1	256,75	0,44	1,00
0,09	290,75	0,45	2,00
0,08	194,02	0,47	2,00
0,07	264,37	0,48	3,00
0,06	298,75	0,50	3,00
0,05	205,17	0,51	4,00
0,04	216,21	0,53	4,00

Valoración de los servicios ecosistémicos en agroecosistemas: contribuciones desde la economía ecológica

0,03	192,08	0,54	4,00								
0,02	176,42	0,56	4,00								
RAPPORT DÉTAILLÉ											
<i>Statistiques de la régression</i>											
Coefficient de détermination multiple	0,990520336										
Coefficient de détermination R^2	0,981130537										
Coefficient de détermination R^2	0,851413171										
Erreur-type	0,01173657	F tabla	2,923796288								
Observations	11	T tabla	1,859548038								
ANALYSE DE VARIANCE											
	<i>Degré de liberté</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Moyenne des carrés</i>								
Régression	3	0,057298023	0,019099341								
Résidus	8	0,001101977	0,000137747								
Total	11	0,0584									
	<i>Coefficients</i>	<i>Erreur-type</i>	<i>Statistique t</i>								
Constante	0	#N/A	#N/A								
Precipitación	0,000203215	8,95198E-05	2,270055288								
Retención de humedad en el suelo	0,145915976	0,069524858	2,098759783								
Diversificación de la producción	-0,020343131	0,005241568	-3,88111513								
			<i>Probabilité</i>								
			#N/A								
			<i>Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%</i>								
			#N/A								
			-3,21813E-06								
			-0,014408634								
			-0,032430209								
Precipitación											
Indicador	Descripción										Ecuación del indicador en el modelo dinámico
Precipitación (P)	Se utilizaron los datos reportados de precipitaciones medias mensuales en mm por la estación de Bangal-Caldas, Chinchiná (Colombia) entre los años 2005 a 2015. Posteriormente, los datos de medias mensuales fueron llevados a precipitación media anual (https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/Catalogo-Estaciones-IDEAM/n6vw-vkfe).										$P = -37,86 \times \ln(\text{time}) + 301,27$
Lluvia en mm	Año 2015	Año 2014	Año 2013	Año 2012	Año 2011	Año 2010	Año 2009	2008	2007	2006	2005
Mes1	40	143	107	195	97	116,4	116	178	114	195,5	249,5
Mes2	102	89	287	104	256	120	246	236	126	118,5	204,5
Mes3	260	213	289	330	348	139	263	262	295	328	358,0
Mes4	257	231	210	247	437	354	265	313	188	543,5	221,0
Mes5	264	277	278	123	213	377	169	402	439	252	447,0
Mes6	70	156	147	193	289	299	248	278	179	280,5	306,0
Mes7	155	60	108	52	254	293	89	287	174	160	121,0
Mes8	109	152	185	277	152	216	148	325	276	149,5	137,5
Mes9	138	211	194	46	134	272	97	171	228	179	244,5
Mes10	219	231	267	485	578	347	203	216	489	302	411,0
Mes11	297	336	317	204	486	360	243	448	275	439,5	442,5
Mes12	206	206	206	206	341	279	241	373	298	323,5	267,9
Media Anual	176,42	192,08	216,21	205,17	298,75	264,37	194,02	290,75	256,75	272,63	284,2
t	Precipitación										
0	284,2										
1	272,63										



Prácticas Agroecológicas Locales

Indicador			Información	Fuente	Variables principales			Descripción	Ecuación y variables principales	Ecuación del indicador
Nombre	Sigla	Unidad			Nombre	Siglas	Unidad			
Prácticas agroecológicas locales	PAL	#	Indicador cualitativo que se obtiene al aplicar una calificación sobre el tipo de prácticas implementadas en el agroecosistema con respecto al manejo del suelo, el agua y el control de plagas.	(Sarandón et al., 2008)	Prácticas de conservación de la vida del suelo	PCS	#	<p>A1: manejo de la cobertura vegetal. La misma provee al suelo de una protección contra los agentes climáticos y disminuye el riesgo de erosión. (4): 100% de cobertura; (3): 99 a 75 %; (2): 75 a 50 %; (1): 50 a 25 %; (0): < 25 %.</p> <p>A2: rotaciones de cultivos: (4) rota los cultivos todos los años, deja descansar un año el lote, incorpora leguminosas o abonos verdes. (3): rota todos los años, no deja descansar el suelo; (2): Rota cada 2 o 3 años; (1): Realiza rotaciones eventualmente; (0): no realiza rotaciones.</p> <p>A3: diversificación de cultivos. (4): establecimiento totalmente diversificado, con asociaciones de cultivos y con vegetación natural; (3): alta diversificación de cultivos, con asociación media entre ellos; (2): diversificación media, con muy bajo nivel de asociación entre ellos; (1): poca diversificación de cultivos, sin asociaciones; (0): monocultivo.</p> <p>Nota: El valor otorgado a cada estrategia (A1, A2, y A3) es excluyente.</p>	$PCS = (A1 + A2 + A3) / 3$	$PAL = (PCS + PCA + PCB) / 3$
					Prácticas de cosecha, protección y uso eficiente del agua	PCA	#	<p>E1=∑ (estrategias de almacenamiento de agua) Embalses grandes (1), embalses pequeños y medios (1), conservación in situ en el suelo (1), micro tanques (1).</p> <p>E2=∑ (estrategias de cosecha de agua) cosecha de agua de lluvia (2), cosecha de agua de neblina (2)</p> <p>E3=∑ (estrategias de protección y uso eficiente de agua) Riego por localizado (goteo, microaspersión) (1), utilización de abonos, compost y abonos verdes (1), agrosilvicultura (sombra, aporte de materia orgánica) (1), tratamiento de agua contaminada: Letrinas y pozos sépticos (1).</p> <p>Nota: el valor otorgado a cada estrategia (E1, E2, E3) será la suma de las acciones aplicadas.</p>	$PCA = (E1 + E2 + E3) / 3$	

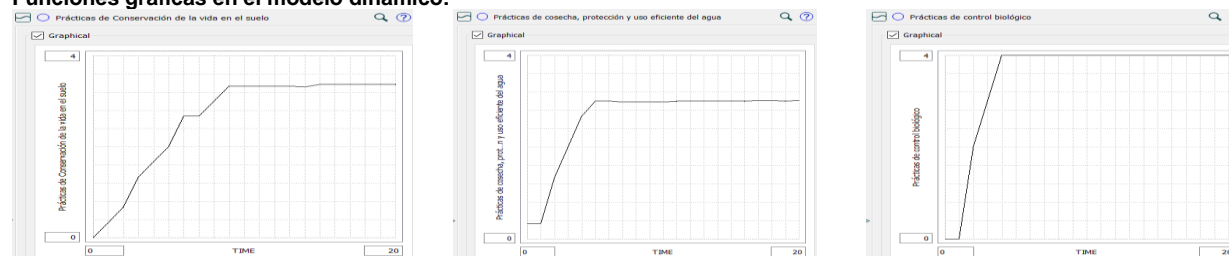
Valoración de los servicios ecosistémicos en agroecosistemas: contribuciones desde la economía ecológica

					Prácticas de control biológico	PCB	#	UB: eliminación del uso de insecticidas químicos (Utilización de bioplaguicidas) si= 1, no = 0. CpDIS: evitar prácticas que generen perturbaciones como el control de malezas con herbicidas y el arado, si= 1, no = 0. PInsBEN: provee recursos suplementarios para incremento de poblaciones de insectos benéficos (nidos artificiales, aspersion de alimentos, plantas productoras de néctar) si= 1, no = 0. MVNA: manipulación de la vegetación natural adyacente a los campos de cultivo. Uso de plantas productoras de sustancias repelentes de insectos plaga dentro y en la periferia del cultivo, si = 1, no = 0.	PCB = UB + (CpDis + PInsBEN)/2 + MVNA	
t	A1: manejo de la cobertura vegetal		A2: rotación de cultivos		A3: diversificación de cultivos		Prácticas de conservación de la vida del suelo			
0	0,00		0,00		0,00		0,00			
1	1,00		0,00		0,00		0,33			
2	1,00		0,00		1,00		0,67			
3	2,00		1,00		1,00		1,33			
4	2,00		1,00		2,00		1,67			
5	3,00		1,00		2,00		2,00			
6	4,00		2,00		2,00		2,67			
7	4,00		2,00		2,00		2,67			
8	4,00		2,00		3,00		3,00			
9	4,00		2,00		4,00		3,33			
10	4,00		2,00		4,00		3,33			
Manejo de la cobertura vegetal: se calcula en función del área de sombra										
t	E1: estrategias de almacenamiento de agua		E2: estrategias de cosecha de agua		E3: estrategias de protección y uso eficiente de agua		Prácticas de cosecha, protección y uso eficiente del agua			
0	1,00		0,00		0,00		0,33			
1	1,00		0,00		0,00		0,33			
2	1,00		2,00		1,00		1,33			
3	2,00		2,00		2,00		2,00			
4	2,00		4,00		2,00		2,67			
5	2,00		4,00		3,00		3,00			
6	2,00		4,00		3,00		3,00			
7	2,00		4,00		3,00		3,00			
8	2,00		4,00		3,00		3,00			
9	2,00		4,00		3,00		3,00			
10	2,00		4,00		3,00		3,00			
t	UB: aplicación de bioplaguicidas		Conservación y manejo de enemigos naturales de las plagas (CpDis + PInsben)/2		MVNA: manipulación de la vegetación natural adyacente a los campos de cultivo		Prácticas de control biológico			
0	0,00		0,00		0,00		0,00			
1	0,00		0,00		0,00		0,00			
2	1,00		0,00		1,00		2,00			

3	1,00	1,00	1,00	3,00
4	1,00	1,00	1,00	3,00
5	1,00	2,00	1,00	4,00
6	1,00	2,00	1,00	4,00
7	1,00	2,00	1,00	4,00
8	1,00	2,00	1,00	4,00
9	1,00	2,00	1,00	4,00
10	1,00	2,00	1,00	4,00

t	Prácticas de conservación de la vida del suelo	Prácticas de cosecha, protección y uso eficiente del agua	Prácticas de control biológico	Prácticas agroecológicas locales
0	0,00	0,33	0,00	0,11
1	0,33	0,33	0,00	0,22
2	0,67	1,33	2,00	1,33
3	1,33	2,00	3,00	2,11
4	1,67	2,67	3,00	2,44
5	2,00	3,00	4,00	3,00
6	2,67	3,00	4,00	3,22
7	2,67	3,00	4,00	3,22
8	3,00	3,00	4,00	3,33
9	3,33	3,00	4,00	3,44
10	3,33	3,00	4,00	3,44

Funciones graficas en el modelo dinámico:



Valorización de residuos

Indicador			Fuente	Variables principales			Descripción	Ecuación y variables principales	Ecuación del indicador
Nombre	Sigla	Unidad		Nombre	Siglas	Unidades			
Valorización de residuos	VR	kg/ha año	(Pérez, Pulgarín, Loaiza, Restrepo,	Pulpa de café	Pulp	kg/ha año	Considerando que la pulpa del café y el mucilago son dos residuos	$Pulp = 2 * RCPS$	$RBA = Pulp + Muc + Cisc$

Valoración de los servicios ecosistémicos en agroecosistemas: contribuciones desde la economía ecológica

			Quintero & Tascón, 2008)				biodegradables y altamente contaminantes al recurso hídrico por su alta demanda biológica de oxígeno, son los dos residuos considerados para su aprovechamiento.		
			(Garavito & Puerta, 1998)	Mucilago	Muc	kg/ha año		Muc = RCPS x 1 L Agua/kg RCPS x 0,096 kg Muc/ L Agua	
			(Rosero, Sánchez & Narváez, 2015).	Cisco del Café	Cisc	kg/ha año	El cisco del café tiene el potencial de ser utilizado como combustible	Cisc = 0,184 x RCPS	
Pulpa de café: según (Pérez et al., 2008), por cada kilogramo de café pergamino seco, se tiene una relación de 1:2 para la generación de pulpa.									
t	Rendimiento café pergamino seco kg/ ha año	Pulpa kg/ha año							
0	0,00	0,00							
1	0,00	0,00							
2	367,00	734,00							
3	1104,00	2208,00							
4	4177,00	8354,00							
5	1831,00	3662,00							
6	4159,00	8318,00							
7	3910,00	7820,00							
8	3654,54	7309,08							
9	3654,54	7309,08							
10	3654,54	7309,08							
Mucilago: según datos reportados por Garavito y Puerta (1998), en los desmuciginadores mecánicos se utiliza un (1) litro de agua por kg de café pergamino seco. Este litro (1) de agua puede contener 96 g de mucilago, obteniendo una relación de 0,096 kg de mucilago / litro de agua. Con esta relación se realiza el cálculo de la cantidad de agua demanda en un desmucilagador mecánico, y posteriormente, el potencial de mucilago a obtener.									
	Rendimiento café pergamino seco Kg/ ha año	Agua utilizada en desmuciginadores mecánicos Litros	Mucilago kg mucilago/ ha año						
	0,00	0,00	0,00						
	0,00	0,00	0,00						
	367,00	367,00	35,23						
	1104,00	1104,00	105,98						
	4177,00	4177,00	400,99						
	1831,00	1831,00	175,78						
	4159,00	4159,00	399,26						
	3910,00	3910,00	375,36						
	3654,54	3654,54	350,84						
	3654,54	3654,54	350,84						
	3654,54	3654,54	350,84						
Cisco del café: según Rosero, Sánchez y Narváez (2015), por cada kilogramo de café pergamino seco producido, se tiene el potencial de obtener 0,184 kg de cisco. Basado en esta relación se calculó el residuo de cisco.									
	Rendimiento café pergamino seco kg / ha año	Cisco kg / ha año							

0,00	0,00
0,00	0,00
367,00	67,53
1104,00	203,14
4177,00	768,57
1831,00	336,90
4159,00	765,26
3910,00	719,44
3654,54	672,44
3654,54	672,44
3654,54	672,44

Valorización de residuos:

Pulpa kg/ha año	Mucílago kg / ha año	Cisco kg / ha año	Valorización de residuos kg / ha año
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00
734,00	35,23	67,53	836,76
2208,00	105,98	203,14	2517,12
8354,00	400,99	768,57	9523,56
3662,00	175,78	336,90	4174,68
8318,00	399,26	765,26	9482,52
7820,00	375,36	719,44	8914,80
7309,08	350,84	672,44	8332,35
7309,08	350,84	672,44	8332,35
7309,08	350,84	672,44	8332,35

Energía generada por el agroecosistema

Indicador		Fuente	Variables principales			Descripción	Ecuación de variables principales	Ecuación del indicador
Nombre	Sigla		Nombre	Siglas	Unidad			
Energía generada por el agroecosistema [MJ / ha año]	EGA	(Mora Delgado, Ramírez & Quirós Madrigal, 2006)	Energía de fertilizantes orgánicos	EFO	$\frac{MJ}{ha\ año}$	Se tienen dos fuentes de fertilizantes orgánicos, la primera es la actividad biológica de las lombrices directamente en el suelo y la segunda el humus de lombriz de pulpa de café. Primero se realiza la suma de cada elemento (N, P, K, Ca, Mg, S) de las dos fuentes en kg / ha año, y luego se multiplica por la capacidad calorífica respectiva de cada elemento en MJ / kg.	$EFO = N (CpN) + P (CpP) + K (CpK) + Ca (CpCa) + Mg (CpMg) + S (CpS)$	$EG = EFO + EL + Ebiog + EC + ECPS$
		(Mejía Naranjo, 2014)	Energía de leña generada en el agroecosistema	EL	$\frac{MJ}{ha\ año}$	Proveniente de los árboles sembrados para la provisión de sombra en el agroecosistema En donde RL es el rendimiento de la leña producida en el agroecosistema en kg/ ha aña, y el CpL es la capacidad calorífica de la leña de <i>guamo inga sp</i> en MJ / kg.	$EL = RL \times CpL$	
		(Rodríguez & Zambrano, 2013)	Energía de biogás generada en biodigestores	Ebiog	$\frac{MJ}{ha\ año}$	Proveniente del biodigestor que trata las aguas contaminadas con el mucílago. De los cálculos realizados en el indicador de Residuos Biodegradables Aprovechados, se tienen la cantidad de mucílago en kg / ha año contenido en las aguas utilizadas para el	$Ebiog = M (CGB)$	

Valoración de los servicios ecosistémicos en agroecosistemas: contribuciones desde la economía ecológica

						desmucilagado mecánico. Posteriormente, se multiplica esta cantidad de mucilago por la capacidad de generación de biogás en el biodigestor (CGB).			
		(Rodríguez & Zambrano, 2013; Rosero, Sánchez, & Narváez, 2015)	Energía generada por cisco	EC	$\frac{MJ}{ha\ año}$	Del proceso de paso de café pergamino seco a café oro, se genera un residuo llamado cisco, el cual se calcula en kg / ha año y posteriormente se multiplica por su capacidad calorífica en MJ / kg cisco.	EC = C(CisC)		
		(Rodríguez & Zambrano, 2013)	Energía generada por el café pergamino seco	ECPS	$\frac{MJ}{ha\ año}$	Se calcula multiplicando el rendimiento de la producción de café pergamino seco en kg / ha año por la capacidad calorífica de este café en MJ / kg.	ECPS = RCPS (CpCPS)		
Energía de elementos mayores y menores generados en el agroecosistema: asociado a los elementos mayores y menores resultantes de la materia orgánica producida a partir de la descomposición de la hojarasca (proveniente de los árboles que dan sombra) y del humus de lombriz generado de la transformación del residuo "pulpa del café".									
Elementos mayores y menores provenientes de la descomposición de la hojarasca: Se calcula la regresión lineal de cada parámetro en función de la materia orgánica proveniente de hojarasca, basados en reportes presentados por Farfán, Baute, Sánchez, y Menza (2013).									
		Ton/ha año	kg/ha año	kg/ha año	kg/ha año	kg/ha año			
t	Materia orgánica en el suelo	Fósforo (P)	Potasio (K)	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)				
0	0	0,00	0,00	0,0	0,0				
1	0,65	0,39	2,45	7,9	1,4				
2	1,8	1,07	6,77	21,9	3,8				
3	2,31	1,37	8,69	28,1	4,9				
4	4,5	2,67	16,93	54,7	9,5				
5	4,4305	2,62	16,67	53,8	9,3				
6	5,6658	3,36	21,31	68,9	11,9				
7	7,0175	4,16	26,40	85,3	14,7				
8	11	6,52	41,38	133,7	23,1				
9	10,07	5,96	37,88	122,4	21,1				
10	13	7,70	48,90	158,0	27,3				
Elementos mayores y menores provenientes del humus de lombriz que transforma la pulpa del café:									
1	kg humus de lombriz	0,015 kg N / kg humus							
		0,008 kg Mg / kg humus							
		0,0135 kg P / kg humus							
		0,012 kg K / kg humus							
		0,004 kg S / kg humus							
		0,0075 kg Ca / kg humus							
Nota: datos consolidados de los autores Alemán y Reyes (2017), Blandón-Castaño, Dávila-Arias y Rodríguez-Valencia (1999). Nota: según Dávila y Ramírez (1996) sobre la lombricultura en pulpa de café, se obtuvo la siguiente relación: por cada 25 kg de pulpa de café se pueden obtener 9 kg de humus de lombriz.									
	kg/ ha año	kg/ha año	kg/ha año	kg/ha año	kg/ha año	kg/ha año	kg/ha año	kg/ha año	
t	Rendimiento café pergamino seco	Pulpa	Humus de Lombriz (de pulpa)	Fósforo (P)	Potasio (K)	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)	Azufre (S)	Nitrógeno (N)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	367,00	734,00	264,24	3,57	3,17	1,98	2,11	1,06	3,96
3	1104,00	2208,00	794,88	10,73	9,54	5,96	6,36	3,18	11,92
4	4177,00	8354,00	3007,44	40,60	36,09	22,56	24,06	12,03	45,11
5	1831,00	3662,00	1318,32	17,80	15,82	9,89	10,55	5,27	19,77
6	4159,00	8318,00	2994,48	40,43	35,93	22,46	23,96	11,98	44,92
7	3910,00	7820,00	2815,20	38,01	33,78	21,11	22,52	11,26	42,23
8	3654,54	7309,08	2631,27	35,52	31,58	19,73	21,05	10,53	39,47

9	3654,54	7309,08	2631,27	35,52	31,58	19,73	21,05	10,53	39,47
10	3654,54	7309,08	2631,27	35,52	31,58	19,73	21,05	10,53	39,47

Valores de poder calorífico, reportados por Mora, Ramírez y Quirós (2006), para elementos mayores y menores derivados de fertilizantes orgánicos (humus y materia orgánica):

Fósforo (P)	Poder calorífico (P) =	4,01	MJ / kg
Potasio (K)	Poder calorífico (K) =	4,02	MJ / kg
Magnesio (Mg)	Poder calorífico (Mg) =	4,03	MJ / kg
Calcio (Ca)	Poder calorífico (Ca) =	4,04	MJ / kg
Azufre (S)	Poder calorífico (S) =	4	MJ / kg
Nitrógeno (N)	Poder calorífico (N) =	4	MJ / kg

Los valores calculados a continuación, son la suma de las dos fuentes de elementos mayores y menores, generados desde los fertilizantes reportadas anteriormente (hojarasca y humus de lombriz) y multiplicados por sus respectivos poderes caloríficos, para obtener finalmente la energía generada por el agroecosistema proveniente de fertilizantes orgánicos.

kg/ha año	kg/ha año	kg/ha año	kg/ha año	kg/ha año	kg/ha año	MJ/ ha año	MJ/ ha año	MJ/ ha año	MJ/ ha año	MJ/ ha año	MJ/ ha año
Nitrógeno (N)	Fósforo (P)	Potasio (K)	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)	Azufre (S)	Nitrógeno (N) energía	Fósforo (P) energía	Potasio (K) energía	Calcio (Ca) energía	Magnesio (Mg) energía	Azufre (S) energía
119,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	478,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
176,60	0,39	2,45	7,90	1,37	0,00	706,4	1,5	9,8	31,9	5,5	0,0
183,96	4,63	9,94	23,86	5,89	1,06	735,8	18,6	40,0	96,4	23,8	4,2
199,29	12,10	18,23	34,04	11,21	3,18	797,2	48,5	73,3	137,5	45,2	12,7
232,20	43,27	53,02	77,25	33,51	12,03	928,8	173,5	213,1	312,1	135,0	48,1
240,37	20,42	32,49	63,74	19,85	5,27	961,5	81,9	130,6	257,5	80,0	21,1
246,81	43,78	57,25	91,32	35,85	11,98	987,3	175,6	230,1	368,9	144,5	47,9
311,20	42,16	60,18	106,40	37,26	11,26	1244,8	169,1	241,9	429,9	150,2	45,0
370,99	42,04	72,95	153,43	44,15	10,53	1483,9	168,6	293,3	619,8	177,9	42,1
467,57	41,49	69,45	142,12	42,20	10,53	1870,3	166,4	279,2	574,2	170,1	42,1
616,27	43,22	80,48	177,73	48,35	10,53	2465,1	173,3	323,5	718,0	194,9	42,1

Energía de leña generada en el agroecosistema: Los rendimientos de la leña fueron calculados con base en dos estudios, el primero de Farfán, Baute, Sánchez y Menza (2013), sobre guamo santaferense en sistemas agroforestales con café y el segundo estudio de Salazar (1985) con relación a la producción de leña y biomasa de *Inga densiflora benth.*

Kg/ha año	m ² de sombra/ha	Ecuación del indicador "rendimiento de la leña" en el modelo dinámico
Rendimiento de la leña	Dinámica de sombra	
0,00	0,00	Nonlinear Regression:
3739,50	260,12	Method: Algorithm Gauss-Newton
6978,75	535,25	Max iterations 200
9808,73	826,35	Tolerance 0,00001
12299,41	1134,47	
14505,53	1460,69	Equation: Rendimiento de la leña = 38556,6 × dinámica de sombra / (2421,91 + dinámica de sombra)
19910,00	1806,13	Parameter estimates:
18229,49	2171,99	Parameter Estimate SE Estimate
19810,80	2559,51	Theta1 38556,6 5471,83
21237,94	2970,00	Theta2 2421,9 645,21
22530,41	3404,84	Summary: Iterations: 18; Final SSE: 16918044; DFE: 9; MSE: 1879783; S: 1371,05

El poder calorífico (Cpl) para leña proveniente de la especie guamo *inga sp* es reportado por Mejía (2014) con un valor de 17,76 MJ/kg leña guamo *inga sp*. Para obtener la energía de leña generada en el agroecosistema, se multiplica el rendimiento de la leña por el Cpl.

Energía de leña generada en el agroecosistema (ELG) MJ/ ha año	Ecuación del indicador en el modelo dinámico
---	---

Valoración de los servicios ecosistémicos en agroecosistemas: contribuciones desde la economía ecológica

0,00	$ELG = RL \times Cpl$ Donde: RL: rendimiento de la leña Cpl: poder calorífico para leña proveniente de la especie guamo <i>inga sp</i>		
66413,60			
123942,67			
174203,05			
218437,50			
257618,23			
292517,23			
323755,78			
351839,82			
377185,87			
400140,15			
Energía de biogás generada en biodigestores: según datos reportados por Rodríguez y Zambrano (2013) sobre los subproductos del café como fuente de energía renovable, se obtuvo la siguiente relación: por cada kg de mucílago, es posible generar 2 MJ de biogás (2 MJ Biogás / kg mucílago), proveniente de biodigestores utilizados para tratar aguas contaminadas con mucílago.			
kg / ha año	Litros	kg mucílago/ ha año	MJ / ha año
Rendimiento café pergamino seco	Agua utilizada en desmuciginadores mecánicos	Mucílago	Biogás (biodigestores de aguas con mucílago)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00
367,00	367,00	35,23	70,46
1104,00	1104,00	105,98	211,97
4177,00	4177,00	400,99	801,98
1831,00	1831,00	175,78	351,55
4159,00	4159,00	399,26	798,53
3910,00	3910,00	375,36	750,72
3654,54	3654,54	350,84	701,67
3654,54	3654,54	350,84	701,67
3654,54	3654,54	350,84	701,67
Energía generada por cisco: según Rosero, Sánchez y Narváez (2015) se tiene el potencial de obtener 0,184 kg de cisco por cada kg de café pergamino seco. La energía se aplica para obtener las cantidades potenciales del residuo de cisco, posteriormente se multiplica por el poder calorífico del cisco reportado por Roa et al (1999) citado por Oliveros, Sanz, Ramírez y Peña (2013) y también reportado por Rodríguez y Zambrano (2013).			
kg / ha año	kg / ha año	MJ / ha año	
Rendimiento café pergamino seco	Cisco	Energía de Cisco	
0,00	0,00	0,00	
0,00	0,00	0,00	
367,00	67,53	1211,18	
1104,00	203,14	3643,45	
4177,00	768,57	13785,04	
1831,00	336,90	6042,71	
4159,00	765,26	13725,63	
3910,00	719,44	12903,88	
3654,54	672,44	12060,80	
3654,54	672,44	12060,80	
3654,54	672,44	12060,80	
Energía generada por el café pergamino seco: según Rodríguez y Zambrano (2013) el café pergamino seco (cps) presenta un poder calorífico de 15,6 MJ / kg cps			
kg / ha año	MJ / ha año		

Rendimiento café pergamino seco	Energía del café pergamino seco
0,00	0,00
0,00	0,00
367,00	5725,20
1104,00	17222,40
4177,00	65161,20
1831,00	28563,60
4159,00	64880,40
3910,00	60996,00
3654,54	57010,82
3654,54	57010,82
3654,54	57010,82

Finalmente, se obtiene la energía generada por el agroecosistema en MJ / ha año:

t	Energía de fertilizantes orgánicos	Energía de leña generada en el agroecosistema	Energía de biogás generada en biodigestores	Energía generada por cisco	Energía generada por el café pergamino seco	Energía generada por el agroecosistema
0,00	478,30	0,00	0,00	0,00	0,00	478,30
1,00	755,20	66413,60	0,00	0,00	0,00	67 168,80
2,00	918,75	123942,67	70,46	1211,18	5725,20	131 868,28
3,00	1114,36	174203,05	211,97	3643,45	17222,40	196 395,22
4,00	1810,68	218437,50	801,98	13785,04	65161,20	299 996,40
5,00	1532,56	257618,23	351,55	6042,71	28563,60	294 108,65
6,00	1954,28	292517,23	798,53	13725,63	64880,40	373 876,07
7,00	2280,85	323755,78	750,72	12903,88	60996,00	400 687,22
8,00	2785,65	351839,82	701,67	12060,80	57010,82	424 398,77
9,00	3102,16	377185,87	701,67	12060,80	57010,82	450 061,33
10,00	3916,89	400140,15	701,67	12060,80	57010,82	473 830,34

Energía inyectada al agroecosistema proveniente del exterior

Nombre	Sigla	U	Información	Fuente	Variables principales			Descripción	Ecuaciones del indicador en el modelo dinámico	
					Nombre	Siglas	U			
Energía inyectada al agroecosistema proveniente del exterior	EIAPE	MJ / ha año	Calculada en función de la energía inyectada de fertilizantes de síntesis química que ingresan, la energía proveniente de jornales y finalmente de combustible	(Mora Delgado, Ramírez, y Quirós Madrigal, 2006; Sadeghian & González, 2012).	Energía inyectada proveniente de fertilizantes de síntesis química	EIFSQ	$\frac{MJ}{ha\ año}$	La energía inyectada por concepto de elementos mayores y menores en los fertilizantes de síntesis química será la diferencia entre los requerimientos de fertilización del cultivo en unidades energéticas y los fertilizantes generados en el agroecosistema de origen orgánico, igualmente en unidades energéticas, de los elementos: nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y azufre.	$EIFSQ = \sum_{i=1}^n Rf_i - FOG_i$	EIAPE= EIFSQ + EICE + EIJ
				(Ospina, Duque & Farfan, 2004; Salamanca Gavidia, 2017).	Energía inyectada proveniente de jornales	EIJ	$\frac{MJ}{ha\ año}$	Durante los primeros años se cuentan los jornales para el establecimiento del cultivo por hectárea, incluyendo producción de plántulas de café. Durante el año 3, se incluyen jornales de manejo, fertilización,	IF TIME<2 THEN ("Jornales 1er y 2º año [jornales/ha año]"**Energía jornales [MJ/ jornal]") ELSE IF TIME=2 THEN ("Jornales en el 3er año [jornales/ha año]"**Energía	

Valoración de los servicios ecosistémicos en agroecosistemas: contribuciones desde la economía ecológica

			(gasolina), energía eléctrica para el despulpado.				zoqueo, control integrado de plagas, recolección de frutos y procesamiento. La energía se calcula al multiplicar la cantidad de jornales por hectárea al año reportados en literatura por la energía humana requerida.	jornales [MJ/ jornal]" ELSE IF TIME>2 THEN ("Jornales a partir del 4º año [jornales/ ha año]"**Energía jornales [MJ/jornal]" ELSE 0
			(Segura & Andrade, 2012; Tobasura, Moreno, Aya & Mora, 2011; Farfán & Sánchez, 2016; Pérez, Pulgarín, Loaiza, Restrepo, Quintero & Tascón, 2008)	Energía inyectada proveniente de combustibles (gasolina) y electricidad	EICE	$\frac{MJ}{ha\ año}$	Energía utilizada de combustibles fósiles utilizados en el manejo de las plantaciones de café (renovación de las plantaciones y aplicaciones de agroquímicos), el transporte de granos de café, personal, leña y otros insumos (gasolina) y electricidad para el despulpado del café.	EICE = "Energía de gasolina [MJ/kg de café pergamino seco]" (Rendimiento del café pergamino seco [kg/ha año]) + "Energía eléctrica por kg de café pergamino seco [MJ/ ha año]" (Rendimiento del café pergamino seco [kg/ha año])

Energía inyectada proveniente de fertilizantes de síntesis química

Requerimientos de fertilización: reportados por Sadeghian, S., y González, H. (2012). Considerando el supuesto del modelo para el agroecosistema tipo de 4444 plantas de café por hectárea.

Año	N kg/planta	P kg/planta	K kg/planta	Mg kg/planta	
0	0,028	0,009	0,005	0,002	
1	0,03	0,006	0,01	0,003	
	N kg/ha	P kg/ha	K kg/ha	Mg kg/ha	S kg/ha
2 al 10	225	38	195	38	38

t	Nitrógeno (N)	Fósforo (P)	Potasio (K)	Magnesio (Mg)	Azufre (S)
0,00	124,43	40,00	22,22	8,89	0,00
1,00	133,32	26,66	44,44	13,33	0,00
2,00	225,00	38,00	195,00	38,00	38,00
3,00	225,00	38,00	195,00	38,00	38,00
4,00	225,00	38,00	195,00	38,00	38,00
5,00	225,00	38,00	195,00	38,00	38,00
6,00	225,00	38,00	195,00	38,00	38,00
7,00	225,00	38,00	195,00	38,00	38,00
8,00	225,00	38,00	195,00	38,00	38,00
9,00	225,00	38,00	195,00	38,00	38,00
10,00	225,00	38,00	195,00	38,00	38,00

(P2O5) (K2O)	Fósforo (P)	15,13	MJ / kg	Valores de poder calorífico para elementos mayores y menores en fertilizantes de síntesis química, reportados por Mora, Ramírez y Quirós (2006).
	Potasio (K)	9,3	MJ / kg	
	Magnesio (Mg)	9	MJ / kg	
	Calcio (Ca)	4,04	MJ / kg	
	Nitrógeno (N)	76,12	MJ / kg	
	Azufre (S)	9	MJ / kg	

Valoración de los servicios ecosistémicos en agroecosistemas: contribuciones desde la economía ecológica

Energía inyectada al agroecosistema por insumos externos (agroquímicos):						
t	MJ/ ha año	MJ/ ha año	MJ/ ha año	MJ/ ha año	MJ/ ha año	MJ/ ha año
	Nitrógeno (N) energía	Fósforo (P) energía	Potasio (K) energía	Magnesio (Mg) energía	Azufre (S) energía	Energía de fertilizantes externos de síntesis química
0,00	369,79	605,14	206,6	80,0	0,0	1261,6
1,00	0,00	397,60	390,6	107,7	0,0	895,9
2,00	3123,96	504,84	1721,0	289,0	332,5	5971,3
3,00	1957,05	391,88	1644,0	241,1	313,4	4547,4
4,00	0,00	0,00	1320,4	40,4	233,7	1594,6
5,00	0,00	265,96	1511,4	163,3	294,5	2235,2
6,00	0,00	0,00	1281,1	19,3	234,2	1534,6
7,00	0,00	0,00	1253,8	6,7	240,7	1501,2
8,00	0,00	0,00	1135,0	0,0	247,3	1382,3
9,00	0,00	0,00	1167,6	0,0	247,3	1414,9
10,00	0,00	0,00	1065,1	0,0	247,3	1312,4

Energía inyectada proveniente de combustibles (gasolina) y electricidad: Los combustibles fósiles utilizados en el manejo de las plantaciones de café (renovación de las plantaciones y aplicaciones de agroquímicos), el transporte de granos de café, personal, leña y otros insumos, según datos reportados por (Segura & Andrade, 2012).

7,59	L gasolina / ton café verde u oro					
7,59	L gasolina	1	kg café verde u oro	4,94	kg café cereza	
1000	kg café verde u oro	6,62	kg café cereza	1	kg café pergamino seco	
0,005663837	L gasolina		34,78 MJ		0,196988246	MJ gasolina
	Kg café pergamino seco		1	L gasolina		Kg café pergamino seco

Energía eléctrica para el despulpado (Segura & Andrade, 2012):

36,45	KJ/ kg café pergamino seco					
2,55	kWh / ton café verde					
2,55	kWh	1	kg café verde u oro	4,94	kg café cereza	0,0019 kWh
1000	kg café verde	6,62	kg café cereza	1	kg café pergamino seco	kg café pergamino seco
0,0019	kWh	3,6	MJ	0,006850332	MJ	
	kg café pergamino seco	1	kWh		kg café pergamino seco	

Leña para el secado del grano del café proveniente de la poda de árboles de sombra (Segura & Andrade, 2012)

212,48	kg / ton café verde					
212,48	kg Leña	1	kg café verde u oro	4,94	kg café cereza	0,1586 kg Leña
1000	kg café verde	6,62	kg café cereza	1	kg café pergamino seco	kg café pergamino seco
0,1586	kg Leña	17,76	MJ	2,815982676	MJ	
	kg café pergamino seco	1	kg Leña		kg café pergamino seco	

Relaciones:

- 5 kg café cereza / kg café pergamino seco Farfán y Sánchez (2016)
- 4,94 kg café cereza / kg café pergamino seco Pérez, Pulgarín, Loaiza, Restrepo, Quintero y Tascón (2008)
- 6,62 kg café cereza / kg café verde u oro
- 17,76 MJ/kg leña guamo inga sp Mejía (2014).

Trabajo humano = 7 MJ/ jornal (Tobasura, Moreno, Aya, & Mora, 2011, pág. 106)
 Gasolina = 34,78 MJ/ L

Energía asociada a Jornales

175 jornales/ ha año			Ospina, Duque y Farfán (2004)				
78 jornales/ ha año		1er y 2º año	Salamanca (2017)				
109,2 jornales/ ha año		3er año					
kg/ ha año	MJ/ ha año	MJ/ ha año	MJ/ ha año	MJ/ ha año	MJ/ ha año	MJ/ ha año	MJ/ ha año
t	Rendimiento café pergamino seco	Combustibles fósiles (gasolina)	Energía eléctrica desulpado inyectada	Energía de leña requerida para secado del grano	Leña generada en el agroecosistema	Energía de leña inyectada	Energía inyectada por jornales
0,00	0,00	0,00	0,00*	0,00	0,00	0,00*	546,00
1,00	0,00	0,00	0,00*	0,00	66413,60	0,00	546,00
2,00	367,00	72,29	2,51	1033,47	123942,67	0,00	764,40
3,00	1104,00	217,48	7,56	3108,84	174203,05	0,00	1225,00
4,00	4177,00	822,82	28,61	11762,36	218437,50	0,00	1225,00
5,00	1831,00	360,69	12,54	5156,06	257618,23	0,00	1225,00
6,00	4159,00	819,27	28,49	11711,67	292517,23	0,00	1225,00
7,00	3910,00	770,22	26,78	11010,49	323755,78	0,00	1225,00
8,00	3654,54	719,90	25,03	10291,12	351839,82	0,00	1225,00
9,00	3654,54	719,90	25,03	10291,12	377185,87	0,00	1225,00
10,00	3654,54	719,90	25,03	10291,12	400140,15	0,00	1225,00

* En modelo dinámico, si la diferencia entre el valor requerido de energía y el valor generado de energía en el agroecosistema es negativa, se considera que no es necesario inyectar energía del exterior y por ende la energía inyectada se considera como cero.

Energía inyectada al agroecosistema proveniente del exterior

t	Energía inyectada proveniente de fertilizantes de síntesis química	Energía inyectada proveniente de jornales	Energía inyectada proveniente de combustibles (gasolina) y electricidad	Energía inyectada al agroecosistema proveniente del exterior
0,00	1261,57	546,00	0,00	1807,57
1,00	895,86	546,00	0,00	1441,86
2,00	5971,29	764,40	74,81	6810,50
3,00	4547,40	1225,00	225,04	5997,44
4,00	1594,60	1225,00	851,43	3671,03
5,00	2235,23	1225,00	373,23	3833,46
6,00	1534,63	1225,00	847,76	3607,39
7,00	1501,16	1225,00	797,01	3523,17
8,00	1382,32	1225,00	744,94	3352,26
9,00	1414,85	1225,00	744,94	3384,79
10,00	1312,35	1225,00	744,94	3282,29

Balance energético

Nombre del indicador	Sigla	Unidad	Variables principales			Ecuación del indicador	Ecuación del indicador en el modelo dinámico
			Nombre	Siglas	Unidades		
Balance energético	BE	$\frac{MJ}{ha\ año}$	Energía generada por el agroecosistema	EG	$\frac{MJ}{ha\ año}$	Proveniente de las fuentes de energía generadas por el agroecosistema	BE = EG - EIPE
			Energía inyectada al agroecosistema proveniente del exterior	EIAPE	$\frac{MJ}{ha\ año}$		
t	Energía generada por el agroecosistema		Energía inyectada al agroecosistema proveniente del exterior		Balance energético	Stock energía inyectada al AE	Stock energía generada por el AE
0	478,30		1807,57		-1 329,27	1 807,57	478,30

$$IF\ Time < 1\ Then - 1329,27\ ELSE - 22557,48 + 15,92 \times Stock\ EIAPE - 0,0504 \times Stock\ EG$$

Valoración de los servicios ecosistémicos en agroecosistemas: contribuciones desde la economía ecológica

1	67168,80	1441,86	65 726,94	3 249,43	67 647,09
2	131868,28	6810,50	125 057,78	10 059,92	199 515,37
3	196395,22	5997,44	190 397,78	16 057,36	395 910,59
4	299996,40	3671,03	296 325,37	19 728,39	695 906,99
5	294108,65	3833,46	290 275,19	23 561,85	990 015,64
6	373876,07	3607,39	370 268,68	27 169,24	1 363 891,71
7	400687,22	3523,17	397 164,05	30 692,41	1 764 578,94
8	424398,77	3352,26	421 046,52	34 044,67	2 188 977,71
9	450061,33	3384,79	446 676,54	37 429,46	2 639 039,04
10	473830,34	3282,29	470 548,05	40 711,75	3 112 869,38

RAPPORT DÉTAILLÉ

Statistiques de la régression

Coefficient de détermination multiple	0,988023829		
Coefficient de détermination R^2	0,976191086		
Coefficient de détermination R^2	0,970238858		
Erreur-type	28255,11416	F tabla	3,11311764
Observations	11	T tabla	1,85954804

ANALYSE DE VARIANCE

	Degré de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F
Régression	2	2,61866E+11	1,30933E+11	164,004305
Résidus	8	6386811809	798351476,1	
Total	10	2,68253E+11		

	Coefficients	Erreur-type	Statistique t	Probabilité
Constante	-22557,47985	22789,05556	-0,989838293	0,35124279
Stock energía inyectada al AE	15,91953309	2,294244499	6,938899974	0,00011975
stock energía generada por el AE	-0,050382247	0,02874082	-1,752985699	0,11769688

Dependencia de insumos externos

Nombre del indicador	Sigla	U	Información	Fuente	Indicadores	Sigla	Unidad	Descripción	Ecuaciones	Ecuación del indicador en el modelo dinámico
Dependencia de insumos externos	DIE	$\frac{MJ}{ha\ año}$	Incluye la Energía generada por el agroecosistema en MJ/ha año (energía de fertilizantes orgánicos producidos, energía de leña generada en el agroecosistema, energía de biogás generada en biodigestores, energía generada por cisco, energía generada por el café pergamino seco) y	(Altieri et al., 2012; Funes-Monzote, 2011; Casimiro-Rodríguez, 2016)	Energía de fertilizantes externos de síntesis química	EFESQ	$\frac{MJ}{ha\ año}$		Escala: (4): de 0 a 20% de insumos externos. (3): de 20 a 40 % de insumos externos. (2): de 40 a 60% de insumos externos. (1): de 60 a 80% de insumos externos. (0): de 80 a 100 %	$DIE = \frac{(EFESQ + EED + EG) \times 100}{(RTEFSQ + EG + EED)}$
				(Segura & Andrade, 2012)	Energía eléctrica despulpado inyectada	EED	$\frac{MJ}{ha\ año}$			
				(Segura & Andrade, 2012)	Energía de gasolina	EG	$\frac{MJ}{ha\ año}$	Los combustibles fósiles utilizados en el manejo de las plantaciones de café (renovación de las		

			la energía inyectada en MJ/ha año (valores de energía de fertilizantes de síntesis química requeridos por el cultivo del café bajo sombra, energía inyectada proveniente de jornales, energía inyectada proveniente de combustibles (gasolina) y electricidad.					plantaciones y aplicaciones de agroquímicos), el transporte de granos de café, personal, leña y otros insumos	de insumos externos.	
					Requerimientos totales de energía de fertilizantes de síntesis química	RTEFSQ	$\frac{MJ}{ha\ año}$	Requerimientos de fertilización para el cultivo de café, de gasolina y energía eléctrica para el despulpado.		

	MJ / ha año	MJ / ha año	MJ / ha año	MJ / ha año	%	
t	Energía de fertilizantes externos de síntesis química	Energía eléctrica despulpado inyectada	Energía de gasolina	Requerimientos totales de energía de fertilizantes de síntesis química	Dependencia de insumos externos	Dependencia de insumos externos
0	1261,57	0,00	0,00	10130,36	12,45	4,00
1	895,86	0,00	0,00	10929,57	8,20	4,00
2	5971,29	2,51	72,29	19977,90	30,15	3,00
3	4547,40	7,56	217,48	19977,90	23,62	3,00
4	1594,60	28,61	822,82	19977,90	11,74	4,00
5	2235,23	12,54	360,69	19977,90	12,82	4,00
6	1534,63	28,49	819,27	19977,90	11,44	4,00
7	1501,16	26,78	770,22	19977,90	11,06	4,00
8	1382,32	25,03	719,90	19977,90	10,27	4,00
9	1414,85	25,03	719,90	19977,90	10,42	4,00
10	1312,35	25,03	719,90	19977,90	9,93	4,00

Autosuficiencia alimentaria

Indicador			Información	Fuente	Variables principales			Variables secundarias			Ecuación del indicador	Ecuación del indicador en el modelo dinámico	
Nombre	Sigla	U			Descripción	Siglas	U	Descripción					
Autosuficiencia alimentaria	AsA	#	Relacionado con los productos y superficie destinada para autoconsumo	(Sarandón et al., 2008)	Diversificación de la producción	A1	#	Un sistema es sustentable si la producción alimentaria es diversificada y contribuye a satisfacer el nivel nutricional de la familia. Escala: (4): más de 9 productos; (3): de 7 a 9; (2): de 5 a 3; (1): de 3 a 2 productos; (0): menos de 2 productos.	A2	#	Escala: (4): más de 1 ha; (3): 0,5 a 1 ha; (2): 0,3 a 0,5 ha; (1): 0,1 a 0,3 ha; (0) <= 0,1hs	$AsA = \frac{(A1 + A2)}{2}$	$AsA = (Diversificación_de_la_producción + Superficie_de_producción_de_autoconsumo)/2$

time	Diversificación de la producción	Superficie de producción de autoconsumo	Autosuficiencia alimentaria
0	0	0	0
1	1	1	1

Nota: las calificaciones de diversificación en la producción y superficie para autoconsumo se realizan con base en lo reportado por Aristizábal y Duque (2009), quienes encontraron que, en fincas

Valoración de los servicios ecosistémicos en agroecosistemas: contribuciones desde la economía ecológica

2	1	1	1	cafeteras, se destina en promedio el 20% del área total para
3	2	2	2	siembra de alimentos y materiales para autoconsumo. En el caso
4	2	3	2,5	del agroecosistema tipo, estaría entre 0,5 y 1 ha. Los mismos
5	3	3	3	autores reportan en fincas cafeteras hasta 11 productos diferentes
6	3	3	3	para autoconsumo, incluyendo derivados animales (carne,
7	4	3	3,5	lácteos y huevos).
8	4	3	3,5	
9	4	3	3,5	
10	4	3	3,5	

Diversificación de la producción											
Indicador			Información	Fuente	Variables principales			Variables secundarias		Ecuación del indicador	Ecuación del indicador en el modelo dinámico
Nombre	Sigla	U			Descripción	Siglas	U	Descripción			
Diversificación de la producción	Dprod	#	Relacionado con el número de productos para alimentación en el agroecosistema.	Aristizabal y Duque (2009)	Diversificación de la producción	A1	#	Un sistema es sustentable si la producción alimentaria es diversificada y contribuye a satisfacer el nivel nutricional de la familia.	Escala: (4): más de 9 productos; (3): de 7 a 9; (2): de 5 a 3; (1): de 3 a 2 productos; (0): menos de 2 productos.	IF (-0,920922 + 1,12140045 × SRiesgo Económico) < 4 THEN (-0,920922 + 1,12140045 × S Riesgo Económico) ELSE 4	

time	Diversificación de la producción	Stock riesgo económico	Nota: Las calificaciones de diversificación en la producción y superficie para autoconsumo se realizan en base a lo reportado por quienes encontraron un promedio de hasta 20% en área dedicada para autoconsumo. Entre 0,5 y 1 ha. Se reportan productos de autoconsumo en fincas cafeteras. En promedio de 1 hectárea dedicada a autoconsumo y hasta 11 productos diferentes para autoconsumo incluyendo derivados animales (carne, lácteos y huevos).
0	0	0,8	
1	1	1,5	
2	1	2,1	
3	2	2,6	
4	2	3,0	
5	3	3,3	
6	3	3,6	
7	4	3,9	
8	4	4,2	
9	4	4,4	
10	4	4,7	

RAPPORT DÉTAILLÉ						
Statistiques de la régression						
Coefficient de détermination multiple	0,975566203					
Coefficient de détermination R^2	0,951729416					
Coefficient de détermination R^2	0,946366018					
Erreur-type	0,333419581			F tabla	3,360303024	
Observations	11			T tabla	1,833112933	
ANALYSE DE VARIANCE						
	Degré de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Valeur critique de F	
Régression	1	19,7268	19,72675517	177,4489569	3,14855E-07	
Résidus	9	1,00052	0,111168617			

Total	10	20,7273			
	<i>Coefficients</i>	<i>Erreur-type</i>	<i>Statistique t</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%</i>
Constante	-0,920922742	0,27896	-3,301239505	0,00921168	-1,551980251
Stock Riesgo económico	1,121400045	0,08418	13,32099684	3,14855E-07	0,930965112

Índice de seguridad alimentaria

Nombre del indicador	Sigla	Información	Fuente	Indicadores	Sigla	U	Descripción	Ecuación del indicador	
Índice de seguridad alimentaria	ISA	#	ISA: entre 0 y 2 bajo. Entre 2 y 3 medio. Entre 3 y 4 Alto. Relaciona diversificación en la producción, superficie destinando para autoconsumo, alimentos producidos para autoconsumo, gasto en alimentos y autoconsumo por nutriente y requerimiento diarios de calorías.	(Autor, 2018) adaptado del Índice de seguridad alimentaria global. http://foodsecurityindex.eiu.com/	Autosuficiencia alimentaria	AsA		Relacionado con los productos y superficie destinada para autoconsumo	$ISA = \frac{AsA + APA + GA + ANRC}{4}$
					Alimentos producidos para autoconsumo	APA	#	Escala: (4) del 80% al 100%, (3) del 60% al 79%, (2) del 30% al 59%, (1) del 0% al 29%.	
					Gasto en alimentos	GA	#	Escala: (1) del 80% al 100%, (2) del 60% al 79%, (3) del 30% al 59%, (4) del 0% al 29%.	
					Autoconsumo por nutriente y requerimiento diario de calorías	ANRC	#	Escala: (4) del 80% al 100%, (3) del 60% al 79%, (2) del 30% al 59%, (1) del 0% al 29%	

t	Autosuficiencia alimentaria	Alimentos producidos para autoconsumo	Gasto en alimentos	Autoconsumo por nutriente y requerimiento diario de calorías	Índice de seguridad alimentaria
0	1	0	1	1	0,5
1	1	1	1	1	1,0
2	1	1	1	1	1,0
3	2	1	1	2	1,5
4	2,5	1	1	2	1,6
5	3	1	1	2	1,8
6	3	1	1	2	1,8
7	3,5	1	1	2	1,9
8	3,5	2	2	2	2,4
9	3,5	2	2	2	2,4
10	3,5	2	2	2	2,4

Nota: las variables fueron calculadas basado en los reportes de los autores Aristizábal y Duque (2009). También se consideró el estudio de los autores Pérez-Sánchez et al. (2016), quienes reportaron que como máximo se logra suplir el 42% de los requerimientos de nutrientes, en relación a las necesidades de consumo de alimentos y los generados en el agroecosistema para autoconsumo.

Estrategias o mecanismos de agregación de valor

Indicador			Descripción	Fuente	Ecuación del indicador en el modelo dinámico
Nombre	Sigla	Unidad			
Estrategias o mecanismos de agregación de valor	EMAV	#	Escala: número de estrategias de agregación de valor. (4) cuenta con más de 3 estrategias de agregación de valor. (3) cuenta con 3 estrategias de agregación de valor. (2) cuenta con 2 estrategias de agregación de valor. (1) cuenta con 1 estrategias de agregación de valor. (0) no posee mecanismos de agregación de valor.	Autor (2018) basado en (Casimiro-Rodríguez, 2016; Castro, 2017)	$IF (-0,429111598 * DI + 1,686035334 * TIME) < 4 THEN (-0,429111598 * DI + 1,686035334 * TIME) ELSE 4$ Donde: DI: diversificación de ingresos

Valoración de los servicios ecosistémicos en agroecosistemas: contribuciones desde la economía ecológica

Diversificación de ingresos: un sistema será sustentable si el productor puede comercializar más de 1 producto ya que, si sufriera alguna pérdida o daño de este, podría compensarlo con los demás productos que vende (Sarandón et al., 2008). Se calcula mediante la escala: (4): 6 o más productos; (3): 5 a 4 productos; (2): 3 productos; (1): 2 productos; (0): 1 producto.						
Año	Estrategias o mecanismos de agregación de valor	Estrategias agregación valor			Diversificación de ingresos (DI)	Stock diversificación de ingresos
0	0	0			0	0
1	0	0			0	0
2	3	Café, pulpa de café, mucilago.			2	2
3	4	Café, pulpa de café, mucilago, fertilización orgánica y prácticas agroecológicas locales.			2	4
4	4	Café, pulpa de café, mucilago, fertilización orgánica y prácticas agroecológicas locales.			3	7
5	4	Café, pulpa de café, mucilago, fertilización orgánica y prácticas agroecológicas locales.			3	10
6	4	Café, pulpa de café, mucilago, fertilización orgánica y prácticas agroecológicas locales.			4	14
7	4	Café, pulpa de café, mucilago, fertilización orgánica y prácticas agroecológicas locales.			4	18
8	4	Café, pulpa de café, mucilago, fertilización orgánica y prácticas agroecológicas locales.			4	22
9	4	Café, pulpa de café, mucilago, fertilización orgánica y prácticas agroecológicas locales.			4	26
10	4	Café, pulpa de café, mucilago, fertilización orgánica y prácticas agroecológicas locales.			4	30
RAPPORT DÉTAILLÉ						
<i>Statistiques de la régression</i>						
Coefficient de détermination multiple				0,986700215		
Coefficient de détermination R^2				0,973577315		
Coefficient de détermination R^2				0,85953035		
Erreur-type				0,634201848		
Observations				11		
ANALYSE DE VARIANCE						
			T tabla	1,833112933		
			Ftabla	3,006452417		
		<i>Degré de liberté</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Valeur critique de F</i>
Régression		2	133,3800921	66,69004607	165,8082026	3,07897E-07
Résidus		9	3,619907852	0,402211984		
Total		11	137			
		Coefficients	Erreur-type	Statistique t	Probabilité	Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%
Constante		0	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Stock diversificación de ingresos		-0,42911598	0,071643602	-5,989592516	0,000205102	-0,591185067
tiempo		1,686035334	0,191440762	8,807086392	1,01903E-05	1,252966242
Canales de comercialización						
Indicador			Fuente	Descripción	Ecuación del indicador en el modelo dinámico	
Descripción	Sigla	Unidad				
Canales de comercialización	C2	#	(Sarandón et al., 2008)	La diversificación en los canales de comercialización disminuye el riesgo económico (Sarandón et al., 2008). Escala: Número de vías (canales) de comercialización. (4): 5 o más canales; (3): 4 canales; (2): 3 canales; (1): 2 canales; (0): 1 canal.	IF TIME < 3 THEN 0 ELSE IF TIME < 5 THEN 1 ELSE IF TIME < 7 THEN 2 ELSE 3	

t	Canales de comercialización	Canales de comercialización
1	0	Intermediario
2	0	Asociaciones o cooperativas
3	1	Café de origen
4	1	Certificación comercio justo
5	2	Rainforest alliance, bird friends
6	2	Rainforest alliance, bird friends
7	3	Rainforest alliance, bird friends
8	3	Rainforest alliance, bird friends
9	3	Rainforest alliance, bird friends
10	3	Rainforest alliance, bird friends

Riesgo económico									
Indicador			Información	Fuente	Variables principales		Ecuación y variables principales	Ecuación del indicador	
Nombre	Sigla	Un			Descripción	Siglas			Descripción
Riesgo económico	RE	#	Un sistema será sustentable si minimiza el riesgo económico, asegurando la estabilidad en la producción (Sarandón et al., 2008).	(Sarandón et al., 2008)	Diversificación de ingresos	DI	Un sistema será sustentable si el productor puede comercializar más de 1 producto, ya que, si sufriera alguna pérdida o daño de este, podría compensarlo con los demás productos que vende (Sarandón et al., 2008).	<p>Escala: (4): 6 o más productos; (3): 5 a 4 productos; (2): 3 productos; (1): 2 productos; (0): 1 producto.</p>	$RE = \frac{1}{((DI + C2 + C3)/3)}$ <p>Nota: el RE estará en el rango entre cero y uno [0 – 1]</p>
					Canales de comercialización	C2	La diversificación comercial disminuye el riesgo económico (Sarandón et al., 2008).	Número de vías (canales) de comercialización. (4): 5 o más canales; (3): 4 canales; (2): 3 canales; (1): 2 canales; (0): 1 canal.	
					Dependencia de insumos externos	C3	Un sistema con una alta dependencia de insumos no es sustentable en el tiempo (Sarandón et al., 2008).	<p>Escala: (4): de 0 a 20% de insumos externos. (3): de 20 a 40 % de insumos externos. (2): de 40 a 60% de insumos externos. (1): de 60 a 80% de insumos externos. (0): de 80 a 100 % de insumos externos.</p>	

t	Diversificación de ingresos	Canales de comercialización	Dependencia de insumos externos	Riesgo económico
0	0	0	4,00	0,75
1	0	0	4,00	0,75
2	2	0	3,00	0,60
3	2	1	3,00	0,50
4	3	1	4,00	0,38
5	3	2	4,00	0,33
6	4	2	4,00	0,30
7	4	3	4,00	0,27
8	4	3	4,00	0,27
9	4	3	4,00	0,27

Valoración de los servicios ecosistémicos en agroecosistemas: contribuciones desde la economía ecológica

10	4	3	4,00	0,27		
Generación de empleo agrícola						
Indicador			Información	Fuente	Relaciones de cálculo	Ecuación del indicador en el modelo dinámico
Descripción	Sigla	Unidad				
Generación de empleo agrícola	GEA	Jornales /área	Generación de empleo agrícola (GEA). Se establece la totalidad de los jornales requeridos para la recolección del café.	(Mora-Delgado, 2004)	Se utilizan las siguientes relaciones para el cálculo: Según Duque y Dussán (2005) y Salazar et al., (2016): 82,6 kg de café cereza / 1 jornal. Según el DANE (2005): 173 jornales / 1 empleo agrícola Según Segura y Andrade (2012): 4,94 kg café cereza / 1 kg café pergamino seco	IF TIME < 2 THEN 0 ELSE 5,44E – 16 + 0,005780347 × Jornales para recolección – 5,769E – 16 × Riesgo económico
Relaciones de cálculo:						
$\frac{\text{RCPS kg café pergamino seco}}{\text{ha año}} \times \frac{4,94 \text{ kg café cereza}}{1 \text{ kg café pergamino seco}} \times \frac{1 \text{ jornal}}{82,6 \text{ kg café cereza}} = \frac{1}{173} \text{ empleo agrícola / jornales}$						
	kg / ha año	kg / ha año	jornales / ha año	empleo / ha año		
t	Rendimiento café pergamino seco	Rendimiento café cereza/ha	Jornales para recolección	Generación de empleo agrícola		
0	0,00	0,00	0,00	0,00		
1	0,00	0,00	0,00	0,00		
2	367,00	1 812,98	21,95	0,13		
3	1 104,00	5 453,76	66,03	0,38		
4	4 177,00	20 634,38	249,81	1,44		
5	1 831,00	9 045,14	109,51	0,63		
6	4 159,00	20 545,46	248,73	1,44		
7	3 910,00	19 315,40	233,84	1,35		
8	3 654,54	18 053,43	218,56	1,26		
9	3 654,54	18 053,43	218,56	1,26		
10	3 654,54	18 053,43	218,56	1,26		
t	Generación de empleo agrícola	Jornales para recolección (x1)	Riesgo económico (x2)			
0	0,00	0,00	0,75			
1	0,00	0,00	0,75			
2	0,13	21,95	0,60			
3	0,38	66,03	0,50			
4	1,44	249,81	0,38			
5	0,63	109,51	0,33			
6	1,44	248,73	0,30			
7	1,35	233,84	0,27			
8	1,26	218,56	0,27			
9	1,26	218,56	0,27			
10	1,26	218,56	0,27			
RAPPORT DÉTAILLÉ						
<i>Statistiques de la régression</i>						
Coefficient de détermination multiple		1				
Coefficient de détermination R^2		1				
Coefficient de détermination R^2		1				

Erreur-type	4,41E-17	Ftabla	3,779716079		
Observations	8	Ttabla	2,015048373		
ANALYSE DE VARIANCE					
	<i>Degré de liberté</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Valeur critique de F</i>
Régression	2	1,929398059	0,964699029	4,96405E+32	1,79995E-81
Résidus	5	9,71686E-33	1,94337E-33		
Total	7	1,929398059			
	<i>Coefficients</i>	<i>Erreur-type</i>	<i>Statistique t</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%</i>
Constante	5,44109E-16	1,50291E-16	3,620367984	0,015213648	1,57774E-16
Jornales para recolección	0,005780347	3,49924E-19	1,65189E+16	1,54313E-80	0,005780347
Riesgo económico	-5,76911E-16	2,6035E-16	-2,215908619	0,077526082	-1,24616E-15

Capacitación y sensibilización ambiental

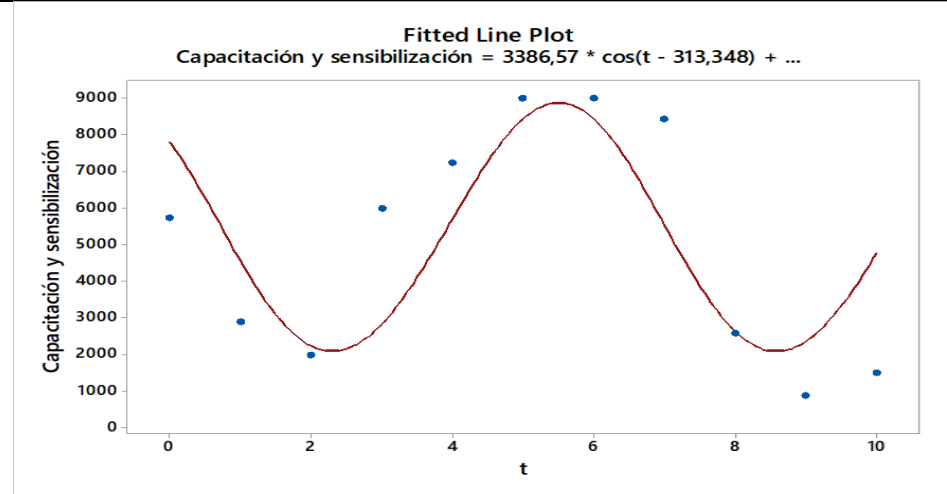
Indicador			Información	Fuente	Descripción	Ecuación del indicador en el modelo dinámico
Descripción	Sigla	Unidad				
Capacitación y sensibilización ambiental	CaSA	#	Proyecto desarrollado por la federación de cafeteros de Caldas, incluye a todos los miembros de la familia cafetera y se programan las capacitaciones en función de los recursos económicos disponibles de la federación.	Informes de gestión de la federación de cafeteros de Caldas entre los años 2005 a 2017.	Considerando que la cantidad anual de personas que reciben capacitación y sensibilización en temas ambientales depende de gestiones administrativas y presupuestales de la federación de cafeteros de Caldas, se decide establecer una ecuación en función del tiempo que represente la dinámica del indicador.	$\text{CaSA} = 3386,57 \times \text{COS}(\text{TIME} - 313,348) + 71,4747 \times \text{COS}(2 \times \text{TIME} - 313,348) + 5433,44$

Capacitación y sensibilización ambiental	t
5750,0	0,0
2900,0	1,0
2000,0	2,0
6000,0	3,0
7250,0	4,0
9000,0	5,0
9000,0	6,0
8450,0	7,0
2594,0	8,0
880,0	9,0
1521,0	10,0

Nonlinear Regression: (software Minitab)

Method	
Algorithm	Gauss-Newton
Max iterations	200
Tolerance	0,00001

Parameter Estimates			Summary	
Parameter	Estimate	SE Estimate	Iterations	
Theta1	3386,57	1095,43	Final SSE	41455049
Theta4	-313,35	0,30	DFE	7
Theta2	71,47	1040,89	MSE	5922150



Valoración de los servicios ecosistémicos en agroecosistemas: contribuciones desde la economía ecológica

Theta3	5433,44	749,75	S	2433,55		
Nivel educativo						
Indicador			Información	Fuente	Variables secundarias	Ecuación del indicador en el modelo dinámico
Descripción	Sigla	Unidad			Descripción	
Nivel educativo	NE	#	Evalúa el nivel educativo de los miembros de la unidad familiar del agroecosistema. El 61,3% de los cafeteros cuenta con menos de cuatro años de escolaridad (Schuh-Moore, Flórez & Grajeda, 2010).	Autor (2018) basado en (Portela, 2001) y Cardona (2013)	Evalúa el nivel educativo de los miembros (en porcentaje) de la unidad familiar del agroecosistema. Escala: (4): 100% educación básica, secundaria o superior; (3): 80% - 50% educación básica, secundaria o superior; (2): 49% - 31% educación básica, secundaria o superior; (1): 30% - 11% educación básica, secundaria o superior; (0): 10% o menos educación básica, secundaria o superior.	$IF (0,000106438$ \times <i>Capacitación y sensibilización ambiental</i> $+ 0,247185509 \times TIME$ $< 3,7 THEN 0,000106438$ \times <i>Capacitación y sensibilización ambiental</i> $+ 0,247185509 \times TIME ELSE 3,6$
t	Nivel educativo	Capacitación y sensibilización ambiental	Nota 1: la asignación de calificación al nivel educativo se basa en información reportada por Cardona (2013) y la escala propuesta anteriormente, en la descripción del indicador.			
0	1	7800				
1	1	4600				
2	1	2200				
3	1	2800				
4	2	5700				
5	2	8400				
6	2	8400				
7	2	5500				
8	2	2600				
9	3	2400				
10	3	4800				
RAPPORT DÉTAILLÉ						
Statistiques de la régression						
Coefficient de détermination multiple	0,988853609					
Coefficient de détermination R^2	0,97783146					
Coefficient de détermination R^2	0,864257177					
Erreur-type	0,321641398					
Observations	11					
ANALYSE DE VARIANCE						
	Degré de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F		
Régression	2	41,0689213	20,53446065	198,4903599		
Résidus	9	0,931078698	0,103453189			
Total	11	42				
	Coefficients	Erreur-type	Statistique t	Probabilité		
Constante	0	#N/A	#N/A	#N/A		
Capacitación y sensibilización ambiental	0,000106438	2,57121E-05	4,139616058	0,00252308		
t	0,247185509	0,023952187	10,31995585	2,75142E-06		

Acceso a Agua potable

Nombre del indicador	Sigla	Unidad	Información	Fuente	Descripción	Ecuación del indicador
Acceso a Agua potable	AAP	%	Evalúa el acceso al agua potable para actividades domésticas en el agroecosistema.	Autor (2018) basado en (Portela, 2001), (Cardona & Ochoa, 2013; Cerdán et al., 2012; Bacon et al., 2012; Rositano & Ferraro, 2014)	AT: cantidad de agua utilizada en el agroecosistema derivada de fuentes de agua tratada (m3). TAUA: total de agua utilizada en el agroecosistema (m3). Porcentaje de agua potable disponible en el agroecosistema para actividades domésticas. (4): 81% - 100% agua potable utilizada. (3): 41% - 80% agua potable utilizada. (2): 31% - 40% agua potable utilizada. (1): 11% - 30% agua potable utilizada. (0): 10% o menos agua potable utilizada.	$AAP = \frac{AT}{TAUA} \times 100$

Según lo reportado por Gutiérrez y Quintero (2017), los datos en 2005 sobre cobertura de agua potable rural para el departamento de caldas fueron de 15,84% y, entre al año 2016 a 2019, la cobertura de agua potable se incrementó hasta el 17,63% según la evaluación del plan departamental de agua de Caldas del periodo 2009 a 2015.

t	Agua potable
0	0
1	0
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1
8	1
9	1
10	1

Calidad de vida

Nombre del indicador	Sigla	Un	Información	Fuente	Nombre variables principales	Sigla	UN	Descripción	Ecuación y variables principales	Ecuación del indicador
Calidad de vida	Cv	#	La calidad de vida es un indicador adimensional que mide el nivel de bienestar del grupo familiar en el agroecosistema derivado de la ponderación del nivel educativo, el índice de seguridad alimentaria, el riesgo	Autor (2018) basado en (Valdivieso, 2011)	Nivel educativo	NE	#	Evalúa el nivel educativo de los miembros de la unidad familiar del agroecosistema. Autor (2018) basado en (Portela, 2001)	(4): 100% educación básica secundaria o superior; (3): 80% - 50% educación básica primaria; (2): 49% - 31% educación básica primaria; (1): 30% - 11% educación básica primaria; (0): 10% o menos educación básica primaria.	$Cv = \frac{NE + ISA + \left(\frac{1}{RE}\right) + AAP}{4}$
					Índice de seguridad alimentaria	ISA	#	Relaciona diversificación en la producción, superficie destinando para autoconsumo, alimentos producidos para autoconsumo, gasto en alimentos y autoconsumo por nutriente y requerimiento diarios de calorías (Autor, 2018)	ISA escala: Entre 0 y 2 bajo. Entre 2 y 3 medio. Entre 3 y 4 alto.	

Valoración de los servicios ecosistémicos en agroecosistemas: contribuciones desde la economía ecológica

			económico y el acceso agua potable.				adaptado del índice de Índice de seguridad alimentaria global.			
					Riesgo económico	RE	#	Un sistema será sustentable si minimiza el riesgo económico, asegurando la estabilidad en la producción para las futuras generaciones (Sarandón et al., 2008).	$RE = \frac{1}{((DI + C2 + C3)/3)}$ Donde Di: diversificación de ingresos C2: canales de comercialización C3: dependencia de insumos externos	
					Acceso a agua potable	AAP	#	AT: cantidad de agua utilizada en el agroecosistema derivada de fuentes de agua tratada (m3). TAUA: total de agua utilizada en el agroecosistema (m3). Escala: acceso a agua potable (tratada). (4) del 76% al 100%, (3) del 51% al 75%, (2) del 26% al 50%, (1) del 0% al 25%.	$AAP = \frac{AT}{TAUA} \times 100$	
Calidad de vida con acceso a crédito	$Cv_{(AC)}$	#	El indicador de calidad de vida, se ve mejorado alrededor de un 30% cuando las familias cafeteras cuentan con acceso a crédito según (Echavarría-Soto, Villamizar-Villegas & McAllister, 2017).	(Echavarría-Soto, Villamizar-Villegas & McAllister, 2017).	Calidad de vida	Cv	#	Se estima un factor de acceso a crédito en la mejora de la calidad de vida de (1,3).	No aplica	$Cv_{(AC)} = Cv \times 1,3$
					Factor de acceso a crédito	Fac	#			
t	Nivel educativo	Índice de seguridad alimentaria	Riesgo económico	Riesgo económico inverso (1/riesgo económico)	Cobertura agua potable tratada	Calidad de vida	Calidad de vida con acceso a crédito			
0	1	0,5	0,75	1,33	0	0,7	0,9			
1	1	1	0,75	1,33	0	0,8	1,0			
2	1	1	0,60	1,67	1	1,2	1,5			
3	1	1,5	0,50	2,00	1	1,4	1,9			
4	2	1,625	0,38	2,67	1	1,8	2,2			
5	2	1,75	0,33	3,00	1	1,9	2,6			
6	2	1,75	0,30	3,33	1	2,0	2,7			
7	2	1,875	0,27	3,67	1	2,1	2,8			
8	2	2,375	0,27	3,67	1	2,3	3,0			
9	3	2,375	0,27	3,67	1	2,5	3,1			
10	3	2,375	0,27	3,67	1	2,5	3,3			

Venta de fertilizantes de síntesis química en la zona por agremiaciones								
Nombre del indicador	Sigla	Unidad	Información	Fuente	Descripción de variables principales	Siglas	Unida	Ecuación del indicador en el modelo dinámico
Venta de fertilizantes de síntesis química en la zona por agremiaciones	VFSQ	$\frac{\text{kg}}{\text{ha año}}$	En el departamento de Caldas, a través de la federación de cafeteros, los caficultores pueden adquirir fertilizantes de síntesis química para suplir las necesidades de nutrientes en sus cultivos de café.	Informes de gestión de la federación de cafeteros de Caldas entre los años 2005 y 2017.	Uso de insumos externos (agroquímicos)	UIEA	$\frac{\text{kg}}{\text{ha año}}$	VFSQ = 0,042672022 (UIEA) + 0,003346563 (ASCC)
					Área sembrada con café en el Dpto. de Caldas	ASCC	$\frac{\text{ha}}{\text{año}}$	
Venta de fertilizantes (kg/ ha año)		Uso de insumos externos (agroquímicos)		Área sembrada con café en el departamento de Caldas (ha/ año)				
269,8		76,0		89520,0				
312,6		80,2		89100,0				
305,0		328,5		87700,0				
283,4		290,0		85000,0				
280,1		172,4		83880,0				
279,5		231,0		81920,0				
276,9		165,9		80520,0				
276,2		162,3		78580,0				
272,1		149,5		77560,0				
275,2		153,0		74530,0				
275,1		142,0		72370,0				
RAPPORT DÉTAILLÉ								
<i>Statistiques de la régression</i>								
Coefficient de détermination multiple		0,998488476						
Coefficient de détermination R^2		0,996979237						
Coefficient de détermination R^2		0,885532485						
Erreur-type		17,1746499		F tabla		3,00645247		
Observations		11		T tabla		1,83311293		
ANALYSE DE VARIANCE								
		<i>Degré de liberté</i>	<i>Somme des carrés</i>		<i>Moyenne des carrés</i>		<i>F</i>	<i>Valeur critique de F</i>
Régression		2	876168,6828		438084,3414	1485,189		5,20523E-11
Résidus		9	2654,717394		294,9685993			
Total		11	878823,4002					
		<i>Coefficients</i>	<i>Erreur-type</i>	<i>Statistique t</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%</i>		
Constante		0	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A		
Uso de insumos externos (agroquímicos)		0,042672022	0,069683967	0,612365002	0,555450146	-0,114964062		
Área sembrada con café en el Dpto. Caldas (ha/ año)		0,003346563	0,000163357	20,48617209	7,34549E-09	0,002977024		

Valoración de los servicios ecosistémicos en agroecosistemas: contribuciones desde la economía ecológica

Área sembrada con cafés especiales en el Dpto. de Caldas										
Indicador			Información	Fuente	Variables principales				Ecuación del indicador en el modelo dinámico	
Nombre	Sigla	Unidad			Descripción	Siglas	Ecuación	Unidad		
Área sembrada con cafés especiales en el Dpto. de Caldas	ASCE	$\frac{ha}{año}$	En el departamento de Caldas, apoyados por la federación de cafeteros, los caficultores están sembrando cafés especiales (de origen, de preparación, sostenibles y cafés orgánicos)	Informes de gestión de la federación de cafeteros de Caldas entre los años 2005 y 2017	Relación: área cafés especiales ASCE / área cafés totales en caldas	R	$R = \frac{ASCE}{ASCC}$	Adim.	$R = 0,000000006 (ASCC)^2 - 0,0011 (ASCC) + 53,316/10$ (ver Nota 1)	ASCE = R (ASCC)
					Área sembrada con café en el Dpto. Caldas	ASCC	Datos reportados	$\frac{ha}{año}$		

Nota 1: en los informes de gestión de la federación de cafeteros de Caldas, desde el 2005 se reporta el área total sembrada de café en el Dpto. de caldas, pero con relación a los datos de área sembrada con cafés especiales en el departamento, solamente se encontró información para el periodo 2003 a 2009. A partir del 2010, los informes dejaron de reportar el dato de hectáreas sembradas con cafés especiales, por tanto, se propuso la estrategia de establecer una relación entre el área con café especiales y el área total sembrada con café para los 7 años conocidos, con estos datos se halló una ecuación que correlaciona área café especiales/área total sembrada de café vs área total sembrada de café (figura A)

Año	Área sembrada con cafés especiales en el Dpto. (ha/ año)	Área cafés especiales / área cafés totales en caldas	Área sembrada con café en el Dpto. Caldas (ha/ año)	Área sembrada con cafés especiales en el Dpto. (ha/ año) Calculada
2003	5987,360493	0,07	88510	0,30
2004	11336,45582	0,12	90870	0,29
2005	13093,13486	0,15	89520	0,29
2006	25987,17431	0,29	89100	0,29
2007	29061,36262	0,33	87700	0,30
2008	37715,6598	0,44	85000	0,32
2009	49344,82932	0,59	83880	0,33

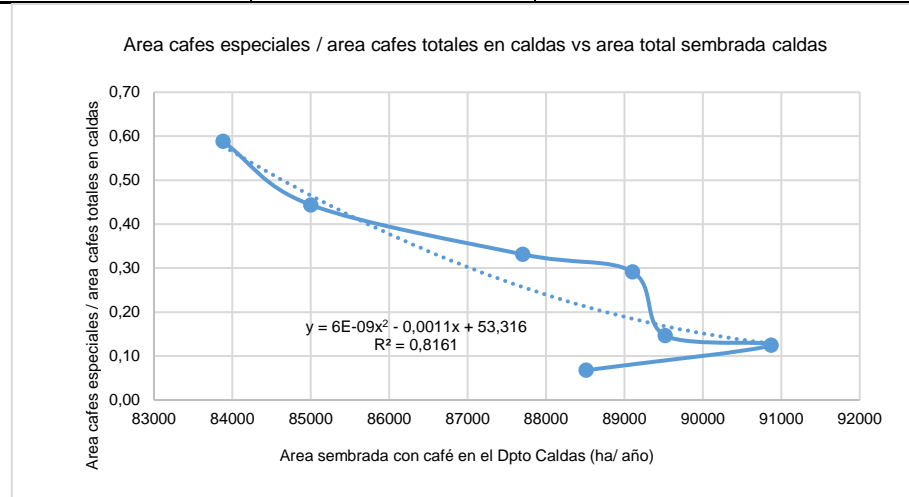


Figura A. correlación área café especiales/área total sembrada de café vs área total sembrada de café

Valoración de los servicios ecosistémicos en agroecosistemas: contribuciones desde la economía ecológica

Stock de área de establecimiento forestal								
Nombre del indicador	Sigla	Unidad	Información	Fuente	Descripción	Siglas	Unidad	Ecuación del indicador en el modelo dinámico
Stock de área de establecimiento forestal			En el departamento de Caldas, se desarrolla el programa forestal de río Magdalena – KFW desde 1995, para mayores detalles leer la nota 1	Informes de gestión de la Federación de Cafeteros de Caldas entre los años 2005 y 2017	Variación del área de establecimiento forestal	VAEF	$\frac{ha}{año}$	$SAEF(t) = SAEF(t - dt) + (VAEF) dt$ $INIT SAEF = 10300 ha$ VAEF = -843,712 × COS (Área sembrada con cafés especiales en el Dpto. Caldas - 12,8937) + 594,438 × COS (2 × Área sembrada con cafés especiales en el Dpto. Caldas - 12,8937) + 1033,02
					Área sembrada con cafés especiales en el Dpto. de Caldas	ASCE	$\frac{ha}{año}$	
Nota 1 : programa forestal del río Magdalena – KFW: inició en el año 1995 y se proyecta hasta el año 2020. Se implementa con recursos provenientes del gobierno alemán y el fondo nacional del café (https://caldas.federaciondecaseros.org/fnc/inc_nuestros_proyectos/category/182). Se desarrolla con el objetivo de contribuir a la estabilización del balance hídrico y a la reducción de la erosión en subcuencas prioritarias de la cuenca media y alta del río Magdalena, a través de un incremento del uso forestal sostenible en pendientes y zonas altas degradadas, contribuyendo de esta manera a la restauración de caudales que abastecen acueductos veredales y municipales. En el departamento de Caldas, el proyecto se ejecuta a través de la fundación ecológica cafetera (FEC) en los municipios de Pensilvania, Manzanares, Marquetalia y Samaná.								
Año	Establecimiento forestal, hectáreas establecidas (stock)			Variación del establecimiento forestal	Área sembrada con cafés especiales en el Dpto. (ha/año)			
2006,0	11260,0			874,0	25987,2			
2007,0	12570,0			1310,0	29061,4			
2008,0	15361,0			2791,0	37715,7			
2009,0	17008,0			1647,0	49344,8			
2010,0	17177,0			169,0	28420,7			
2011,0	17826,0			649,0	29348,1			
2012,0	18100,0			274,0	30857,6			
2013,0	18337,0			237,0	31747,8			
2014,0	18410,0			73,0	34740,9			
2015,0	18519,0			109,0	37151,1			
2016,0	18606,0			87,0	39036,0			
Nonlinear Regression: (software Minitab) Method Algorithm Gauss-Newton Max iterations 200 Tolerance 0,00001 Variación del ESTABLECIMIENTO F = -843,712 * cos ('Área sembrada con cafés especia' - 12,8937) + 594,438 * cos (2 * 'Área sembrada con cafés especia' - 12,8937) + 1033,02 Summary Iterations 17 Final SSE 2865639 DFE 7 MSE 409377 S 639,826								
CALCULO DEL MAPE								
Establecimiento forestal ha establecidas (stock)				Stock de área de establecimiento forestal [ha/año] Calculado			MAPE	

11260,0	10300,0	8,5
12570,0	10986,9	12,6
15361,0	12428,1	19,1
17008,0	12867,4	24,3
17177,0	13426,0	21,8
17826,0	14242,8	20,1
18100,0	14990,2	17,2
18337,0	15634,1	14,7
18410,0	16787,1	8,8
18519,0	18098,8	2,3
18606,0	18626,4	0,1
Valor promedio MAPE=		13,60

Mujeres en consejos participativos

Nombre del indicador	Sigla	Unidad	Información	Fuente	Indicador	Siglas	Unidad	Ecuación del indicador en el modelo dinámico
Mujeres en consejos participativos	MCP	# mujeres año	Proyecto de mujeres cafeteras en el Departamento de Caldas. Se plantea la hipótesis de la dependencia entre el área sembrada con cafés especiales en el Dpto. y el número de mujeres que se integran a los consejos participativos cafeteros	Informes de gestión de la Federación de Cafeteros de Caldas entre los años 2005 y 2017	Área sembrada con cafés especiales en el Dpto. Caldas	ASCE	$\frac{ha}{año}$	MCP = 0,0169285083 (ASCE)

INCLUSION MUJERES (Consejos participativos)	Área sembrada con cafés especiales en el Dpto. (ha/ año) Variable X1
ND	25987
ND	29061
ND	37716
ND	49345
ND	28421
500	29348
600	29600
550	31000
533	32600
554	34300
550	36200

RAPPORT DÉTAILLÉ*Statistiques de la régression*

Coefficient de détermination multiple	0,995715672		
Coefficient de détermination R^2	0,991449699		
Coefficient de détermination R^2	0,791449699	F tabla	4,060419947
Erreur-type	55,5731703	T tabla	2,015048373
Observations	6		

ANALYSE DE VARIANCE

	Degré de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F
Régression	1	1790563,114	1790563,114	579,7747376
Résidus	5	15441,88628	3088,377257	

Valoración de los servicios ecosistémicos en agroecosistemas: contribuciones desde la economía ecológica

Total		6	1806005					
		Coefficients	Erreur-type	Statistique t	Probabilité			
Constante		0	#N/A	#N/A	#N/A			
Área sembrada con cafés especiales en el Dpto. (ha/ año)		0,016928508	0,000703055	24,07851195	2,30231E-06			
Pozos sépticos implementados al año								
Nombre del Indicador	Sigla	Unidad	Información	Fuente	Indicador	Sigla	Unidad	Ecuación del indicador en el modelo dinámico
Stock pozos sépticos	SPs	$\frac{\#Ps}{año}$	Proyecto de apoyo en acciones de saneamiento básico para las familias cafeteras, en el cual se donan pozos sépticos para ser implementados en las fincas. Se plantea la hipótesis que la cantidad de PSI se relacionan con el área total sembrada con café en el Dpto.	Informes de gestión de la federación de cafeteros de Caldas entre los años 2005 y 2017	Variación en la implementación de pozos sépticos al año	VIPs	$\frac{\#Ps}{año}$	$SPs(t) = SPs(t - dt) + (VIPs) dt$ $INIT Stock_pozos_sépticos = 518$ $VIPs = 170,264 \times COS(ASCC - 45,0632) - 105,181 \times COS(2 \times ASCC - 45,0632) + 509,729$
					Área sembrada con cafés en el Dpto. de Caldas	ASCC	$\frac{ha}{año}$	
Año	Número de pozos sépticos implementados	ASCC (ha/ año)	Nonlinear Regression: <i>Method</i> Algorithm Gauss-Newton (Software minitab) Max iterations 200 Tolerance 0,00001 Equation: Número de pozos sépticos implem = 170,264 * cos ('Área sembrada con café en el Dp' - 45,0632) - 105,181 * cos (2 * 'Área sembrada con café en el Dp' - 45,0632) + 509,729 Parameter Estimate SE Estimate Theta1 170,264 167,417 Theta4 -45,063 0,938 Theta2 -105,181 159,793 Theta3 509,729 115,185 Summary: Iterations 14 Final SSE 838150 DFE 7 MSE 119736 S 346,028					
2006	188	89100						
2007	1280	87700						
2008	708	85000						
2009	517	83880						
2010	300	81920						
2011	683	80520						
2012	473	78580						
2013	602	77560						
2014	166	74530						
2015	333	72370						
2016	454	70790						