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 |  | Dinámica de sobra en sistemas agroforestales con café | (Andrade & Segura, 2016) | Edad del árbol | E | *año* | Años transcurridos desde el momento de la plantación. |  |  |  | | Número de árboles | NA |  | Número de árboles por hectárea, según densidad de siembra. |  | | Área de sombra | AS | *m2* | Área de sombra por árbol, depende de la edad del árbol (E). |  | | |
| |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | año | m2 | #/ha | m2 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 | | |
|  | |
| **Número de árboles** | |
| Ecuación en el modelo dinámico: IF TIME<10 THEN 42,053+2,6966\*TIME ELSE 70 | |
| |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | Número de árboles | t | RAPPORT DÉTAILLÉ |  |  |  |  |  | | 43,00 | 0 |  |  |  |  |  |  | | 45,15 | 1 | *Statistiques de la régression* |  |  |  |  | | 47,41 | 2 | Coefficient de détermination multiple | 0,99769 |  |  |  |  | | 49,78 | 3 | Coefficient de détermination R^2 | 0,99539 |  |  |  |  | | 52,27 | 4 | Coefficient de détermination R^2 | 0,99488 |  |  |  |  | | 54,88 | 5 | Erreur-type | 0,64156 |  | F table | 3,360303024 |  | | 57,62 | 6 | Observations | 11 |  | T table | 1,833112933 |  | | 60,51 | 7 | ANALYSE DE VARIANCE |  |  |  |  |  | | 63,53 | 8 |  | *Degré de liberté* | *Somme des carrés* | *Moyenne des carrés* | *F* | *Valeur critique de F* | | 66,71 | 9 | Régression | 1 | 799,8616106 | 799,8616106 | 1943,304037 | 7,94745E-12 | | 70,04 | 10 | Résidus | 9 | 3,704389204 | 0,4115988 |  |  | |  |  | Total | 10 | 803,5659998 |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  | *Coefficients* | *Erreur-type* | *Statistique t* | *Probabilité* | *Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%* | |  |  | Constante | 42,0528 | 0,361888456 | 116,2037388 | 1,31434E-15 | 41,23414306 | |  |  | t | 2,69657 | 0,061170314 | 44,08292229 | 7,94745E-12 | 2,558189321 | | |
| **Materia Orgánica en el Suelo** | |
| |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | **Indicador** | | | **Fuente** | **Descripción** | **Ecuación del indicador en el modelo dinámico** | | **Nombre** | **Sigla** | **Unidad** | | Materia orgánica en el suelo | MOs |  | (Cardona & Sadeghian, 2013) | Datos reportados en el municipio de Chinchiná, Caldas, Colombia. Se reporta la cantidad de materia orgánica en toneladas por hectárea, relacionada con el número de árboles y la edad de los árboles. |  | | |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | *ton/ha año* | *m2 de sobra /ha* |  | | **time** | **Materia orgánica en el suelo** | **Dinámica de sombra** | **Stock de actividad biológica en el suelo** | | **0** | 0,00 | 0 | 780000 | | **1** | 0,65 | 260,1234568 | 1932000 | | **2** | 1,80 | 535,2459677 | 3132000 | | **3** | 2,31 | 826,3520751 | 4432000 | | **4** | 4,50 | 1134,4725 | 5946700 | | **5** | 4,43 | 1460,687264 | 7514700 | | **6** | 5,67 | 1806,128901 | 9124700 | | **7** | 7,02 | 2171,985781 | 11154700 | | **8** | 11,00 | 2559,505546 | 13574700 | | **9** | 10,07 | 2969,998683 | 16624700 | | **10** | 13,00 | 3404,842241 | 20644700 | | |
| |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | | RAPPORT DÉTAILLÉ |  |  |  |  | | *Statistiques de la régression* | |  |  |  | | Coefficient de détermination multiple | 0,993910933 |  |  |  | | Coefficient de détermination R^2 | 0,987858942 |  |  |  | | Coefficient de détermination R^2 | 0,875398825 |  |  |  | | Erreur-type | 0,838857216 |  |  |  | | Observations | 11 |  |  |  | | ANALYSE DE VARIANCE | |  |  |  | |  | *Degré de liberté* | *Somme des carrés* | *Moyenne des carrés* | *F* | | Régression | 2 | 515,296 | 257,6481466 | 366,1431663 | | Résidus | 9 | 6,33313 | 0,703681429 |  | | Total | 11 | 521,629 |  |  | |  | *Coefficients* | *Erreur-type* | *Statistique t* | *Probabilité* | | Constante | 0 | #N/A | #N/A | #N/A | | Dinámica de sombra | 0,002029947 | 0,00184 | 1,105290054 | 0,297704018 | | Stock de ABS | 2,85E-07 | 3,3E-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 / cm3 | (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 MO2 – 0,00008 MO3 (R^2=0,69) | DA = 1,77 – 0,14 MO + 0,006 MO2 – 0,00008 MO3 (R^2=0,69)  Donde:  MO: materia orgánica | | |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  |  |  |  | | **t** | **Densidad aparente** | **Materia orgánica en el suelo** | Nota: la materia orgánica proviene de la descomposición de la hojarasca. | | 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 | | 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 | DS: dinámica media de sombra | *MO: materia orgánica.*  *NA: número de árboles* | | |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | | Fracción | ton/ ha aña | # 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 |  |  | F tabla | 3,46330407 | | Observations | 9 |  |  | 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 |  | Datos de media anual | (Vásquez-Vela, 2014; Montagnini et al., 2015) | Datos reportados del número de lombrices por m2, hasta una profundidad de 10 cm en el suelo. | Donde: RHs: retención de humedad en el suelo  DA: densidad aparente | | |
| |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | # lombrices / m2 | # lombrices / ha |  |  |  | | **t** | **Actividad biológica en el suelo** | **Actividad biológica en el suelo** | **Retención de humedad en el suelo** | **Densidad aparente** | 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 Vázquez- 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. | | 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 |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  | | *Statistiques de la régression* | |  |  |  |  | | 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 / m2 | # 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 | | 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 |  | 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 |  | Hace referencia al número de lombrices por m2 hasta 10 cm de profundidad. |  |  | | Humus producido | Hum |  | Valores reportados de humus producido por lombrices a partir de hojarasca | | Nitrógeno total | Nt |  | 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 |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  | | *Statistiques de la régression* | |  |  |  |  | | 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 |  |  |  |  |  | |  | *Degré de liberté* | *Somme des carrés* | *Moyenne des carrés* | *F* | *Valeur critique de F* | | Régression | 2 | 43773,75074 | 21886,87537 | 433,9392663 | 3,23669E-07 | | Résidus | 6 | 302,6258797 | 50,43764662 |  |  | | Total | 8 | 44076,37662 |  |  |  | |  |  |  |  |  |  | |  | *Coefficients* | *Erreur-type* | *Statistique t* | *Probabilité* | *Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%* | | 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 CO2-eq | CC |  | Ecuaciones para determinar la captura de CO2 en el fuste para árboles y plantas de café. | (Moraga et al., 2012) | Captura de CO2 para árboles: | CCArb |  | 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. |  | | Captura de CO2 para Cafetos: | CCCaf |  | Dónde: FCCO2Caf: factor de captura de CO2 para cafetos (0,48 kg CO2 capturado/ kg biomasa de cafetos). DB: diámetro basal de planta de café a 15 cm del suelo (cm). h: altura total de una planta de café (m). DSCaf: densidad de siembra de cafetos [cafetos/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). | |
| |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  |  |  | Kg/ha | kg CO2-eq/ha |  |  |  | kg/ha | kg CO2/ha | kg CO2/ha | | **t** | **Número de árboles/ha** | **DAP Guamo calculado [cm]** | **Biomasa de árboles** | **CO2 de árboles** | **Número de cafetos/ha** | **DB promedio cafetos** | **Altura promedio cafetos [cm]** | **Biomasa de cafetos** | **Captura de CO2 cafetos** | **Captura de CO2-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 |  | Se considera solamente el rendimiento del café pergamino seco | (Sánchez & Narváez, 2015; Farfán & Sánchez, 2016) | Datos reportados de rendimiento café pergamino seco | RCPS |  | Donde: BE: balance energético.  DS: dinámica de sombra.  PAL: prácticas agroecológicas locales.  PC: pérdida de cosecha | | |
| |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | **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 |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  | | *Statistiques de la régression* | |  |  |  |  | | 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 | | 1,00 | 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 zoqueo 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** | **Unidad** | | 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 asociado 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 | 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 | | 0,03 | 192,08 | 0,54 | 4,00 | | 0,02 | 176,42 | 0,56 | 4,00 | | |
| |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | RAPPORT DÉTAILLÉ |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  | | *Statistiques de la régression* | |  |  |  |  | | 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 | |  |  |  |  | |  | *Degré de liberté* | *Somme des carrés* | *Moyenne des carrés* | *F* | *Valeur critique de F* | | Régression | 3 | 0,057298023 | 0,019099341 | 138,65514 | 1,34891E-06 | | Résidus | 8 | 0,001101977 | 0,000137747 |  |  | | Total | 11 | 0,0584 |  |  |  | |  | *Coefficients* | *Erreur-type* | *Statistique t* | *Probabilité* | *Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%* | | Constante | 0 | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | | Precipitación | 0,000203215 | 8,95198E-05 | 2,270055288 | 0,05288587 | -3,21813E-06 | | Retención de humedad en el suelo | 0,145915976 | 0,069524858 | 2,098759783 | 0,06907064 | -0,014408634 | | Diversificación de la producción | -0,020343131 | 0,005241568 | -3,88111513 | 0,00466743 | -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). |  | | |
| |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | 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 | | 2 | 256,75 | | 3 | 290,75 | | 4 | 194,02 | | 5 | 264,37 | | 6 | 298,75 | | 7 | 205,17 | | 8 | 216,21 | | 9 | 192,08 | | 10 | 176,42 | | |
| **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 | # | **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 %. **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.  **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.  Nota: El valor otorgado a cada estrategia (A1, A2, y A3) es excluyente. | PCS= (A1 + A2+ A3) / 3 | PAL = (PCS + PCA + PCB)/3 | | Prácticas de cosecha, protección y uso eficiente del agua | PCA | # | **E1=∑ (estrategias de almacenamiento de agua**)  Embalses grandes (1), embalses pequeños y medios (1), conservación in situ en el suelo (1), micro tanques (1).  **E2=∑ (estrategias de cosecha de agua)** cosecha de agua de lluvia (2), cosecha de agua de neblina (2)  **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).  Nota: el valor otorgado a cada estrategia (E1, E2, E3) será la suma de las acciones aplicadas. | PCA = (E1+ E2 + E3) / 3 | | 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, aspersión 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, Quintero & Tascón, 2008) | Pulpa de café | Pulp | kg/ha año | Considerando que la pulpa del café y el mucílago son dos residuos biodegradables y altamente contaminantes al recurso hídrico por su alta demanda biológica de oxígeno, son los dos residuos considerados para su aprovechamiento. | **Pulp = 2 \* RCPS** | **RBA = Pulp + Muc + Cisc** | | (Garavito & Puerta, 1998) | Mucílago | 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 | | |
| **Mucílago:** 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 mucílago, obteniendo una relación de 0,096 kg de mucílago / litro de agua. Con esta relación se realiza el cálculo de la cantidad de agua demanda en un desmucilaginador mecánico, y posteriormente, el potencial de mucilago a obtener. | |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | |  |  |  | | **Rendimiento café pergamino seco** Kg/ ha año | **Agua utilizada en desmuciginadores mecánicos** Litros | **Mucílago** kg mucílago/ 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 |  | 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. |  |  | | (Mejía Naranjo, 2014) | Energía de leña generada en el agroecosistema | EL |  | 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 *guamo inga sp* en MJ / kg. |  | | (Rodríguez & Zambrano, 2013) | Energía de biogás generada en biodigestores | Ebiog |  | 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 desmucilagado mecánico. Posteriormente, se multiplica esta cantidad de mucílago por la capacidad de generación de biogás en el biodigestor (CGB). |  | | (Rodríguez & Zambrano, 2013; Rosero, Sánchez, & Narváez, 2015) | Energía generada por cisco | EC |  | 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. |  | | (Rodríguez & Zambrano, 2013) | Energía generada por el café pergamino seco | ECPS |  | 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. |  | | |
| **Energía de elementos mayores y menores generados en el agroecosistema:** asociado a los elementos mayores y menoresresultantes 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 | 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. | |  |  |  | 0,0135 | kg P / kg humus | |  |  |  | 0,012 | kg K / kg humus | |  |  |  | 0,004 | kg S / kg humus | |  |  |  | 0,0075 | kg Ca / kg humus | | |
| |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | kg/ ha año | 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 respetivos 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 santafereño 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 | m2 de sombra/ha |  | | **Rendimiento de la leña** | **Dinámica de sombra** | **Ecuación del indicador “rendimiento de la leña” en el modelo dinámico** | | 0,00 | 0,00 | Nonlinear Regression:  Method: Algorithm Gauss-Newton  Max iterations 200  Tolerance 0,00001    Equation:  Parameter estimates:  Parameter Estimate SE Estimate  Theta1 38556,6 5471,83  Theta2 2421,9 645,21  Summary: Iterations: 18; Final SSE: 16918044; DFE: 9; MSE: 1879783; S: 1371,05 | | 3739,50 | 260,12 | | 6978,75 | 535,25 | | 9808,73 | 826,35 | | 12299,41 | 1134,47 | | 14505,53 | 1460,69 | | 19910,00 | 1806,13 | | 18229,49 | 2171,99 | | 19810,80 | 2559,51 | | 21237,94 | 2970,00 | | 22530,41 | 3404,84 |   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** | | 0,00 | Donde:  RL: rendimiento de la leña  Cpl: poder calorífico para leña proveniente de la especie guamo *inga sp* | | 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 (gasolina), energía eléctrica para el despulpado. | (Mora Delgado, Ramírez, y Quirós Madrigal, 2006; Sadeghian & González, 2012). | Energía inyectada proveniente de fertilizantes de síntesis química | EIFSQ |  | 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, fosforo, potasio, magnesio y azufre. | Donde  RF: requerimiento Fertilizante de síntesis química. FOG: fertilizantes orgánicos generados. *i:* elemento mayor o menor | EIAPE= EIFSQ + EICE + EIJ | | | | | (Ospina, Duque & Farfan, 2004; Salamanca Gavidia, 2017). | Energía inyectada proveniente de jornales | EIJ |  | 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, 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. | 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 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 |  | 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 |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | kg/ha año | kg/ha año | kg/ha año | kg/ha año | kg/ha año | | **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) | 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). | | (K2O) | 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 | | |
| |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | MJ/ ha año | MJ/ ha año | MJ/ ha año | MJ/ ha año | MJ/ ha año | MJ/ ha año | | **Energía N síntesis química** | **Energía P síntesis química** | **Energía K síntesis química** | **Energía Mg síntesis química** | **Energía S síntesis química** | **Requerimientos totales de energía de fertilizantes de síntesis química** | | 9 471,76 | 371,96 | 206,65 | 79,99 | 0,00 | 10 130,36 | | 10 148,32 | 247,98 | 413,29 | 119,99 | 0,00 | 10 929,57 | | 17 127,00 | 353,40 | 1 813,50 | 342,00 | 342,00 | 19 977,90 | | 17 127,00 | 353,40 | 1 813,50 | 342,00 | 342,00 | 19 977,90 | | 17 127,00 | 353,40 | 1 813,50 | 342,00 | 342,00 | 19 977,90 | | 17 127,00 | 353,40 | 1 813,50 | 342,00 | 342,00 | 19 977,90 | | 17 127,00 | 353,40 | 1 813,50 | 342,00 | 342,00 | 19 977,90 | | 17 127,00 | 353,40 | 1 813,50 | 342,00 | 342,00 | 19 977,90 | | 17 127,00 | 353,40 | 1 813,50 | 342,00 | 342,00 | 19 977,90 | | 17 127,00 | 353,40 | 1 813,50 | 342,00 | 342,00 | 19 977,90 | | 17 127,00 | 353,40 | 1 813,50 | 342,00 | 342,00 | 19 977,90 | | |
| **Uso de insumos externos (agroquímicos):** se calcula de la resta entre los requerimientos de elementos mayores y menores para la fertilización del cultivo y los aportes de estos elementos mediante los fertilizantes orgánicos generados por el agroecosistema. | |
| |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | kg/ha año | kg/ha año | kg/ha año | kg/ha año | kg/ha año |  | kg/ha año | | **t** | **Nitrógeno (N)** | **Fósforo (P)** | **Potasio (K)** | **Magnesio (Mg)** | **Azufre (S)** |  | **Uso de insumos externos (agroquímicos)** | | 0,00 | 4,86 | 40,00 | 22,22 | 8,89 | 0,00 |  | 75,96 | | 1,00 | 5,03 | 26,28 | 42,00 | 11,97 | 0,00 |  | 80,24 | | 2,00 | 41,04 | 33,37 | 185,06 | 32,11 | 36,94 |  | 328,51 | | 3,00 | 25,71 | 25,90 | 176,77 | 26,79 | 34,82 |  | 289,99 | | 4,00 | 0,00 | 0,00 | 141,98 | 4,49 | 25,97 |  | 172,44 | | 5,00 | 0,00 | 17,58 | 162,51 | 18,15 | 32,73 |  | 230,97 | | 6,00 | 0,00 | 0,00 | 137,75 | 2,15 | 26,02 |  | 165,92 | | 7,00 | 0,00 | 0,00 | 134,82 | 0,74 | 26,74 |  | 162,30 | | 8,00 | 0,00 | 0,00 | 122,05 | 0,00 | 27,47 |  | 149,52 | | 9,00 | 0,00 | 0,00 | 125,55 | 0,00 | 27,47 |  | 153,02 | | 10,00 | 0,00 | 0,00 | 114,52 | 0,00 | 27,47 |  | 142,00 | | |
| **Energía inyectada al agroecosistema por insumos externos (agroquímicos):**   |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | MJ/ ha año | MJ/ ha año | MJ/ ha año | MJ/ ha año | MJ/ ha año |  | MJ/ ha año | | **t** | **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)](http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/358/1/avt0370.pdf) | | | | | | 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 | | **t** | **Rendimiento café pergamino seco** | **Combustibles fósiles (gasolina)** | **Energía eléctrica despulpado 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** | **Descripción** | | Balance energético | BE |  | Energía generada por el agroecosistema | EG |  | Proveniente de las fuentes de energía generadas por el agroecosistema |  |  | | Energía inyectada al agroecosistema proveniente del exterior | EIAPE |  | Energía inyectada de agroquímicos, combustibles y energía eléctrica | | |
| |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 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 | | 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 |  | 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 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. | (Altieri et al., 2012; Funes-Monzote, 2011; Casimiro-Rodríguez, 2016) | Energía de fertilizantes externos de síntesis química | EFESQ |  |  | 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. |  | | (Segura & Andrade, 2012) | Energía eléctrica despulpado inyectada | EED |  |  | | (Segura & Andrade, 2012) | Energía de gasolina | EG |  | 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 | |  | Requerimientos totales de energía de fertilizantes de síntesis química | RTEFSQ |  | 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. |  | AsA = (Diversificación\_de\_la\_producción + Superficie\_de\_producción\_de\_autoconsumo)/2 | | Superficie de producción de autoconsumo | 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 | | |
| |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | | **time** | **Diversificación de la producción** | **Superficie de producción de autoconsumo** | **Autosuficiencia alimentaria** | **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 cafeteras, se destina en promedio el 20% del área total para siembra de alimentos y materiales para autoconsumo. En el caso del agroecosistema tipo, estaría entre 0,5 y 1 ha. Los mismos autores reportan en fincas cafeteras hasta 11 productos diferentes para autoconsumo, incluyendo derivados animales (carnes, lácteos y huevos). | | 0 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 2 | 1 | 1 | 1 | | 3 | 2 | 2 | 2 | | 4 | 2 | 3 | 2,5 | | 5 | 3 | 3 | 3 | | 6 | 3 | 3 | 3 | | 7 | 4 | 3 | 3,5 | | 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. |  | | |
|  | |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | **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 (carnes, 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 |  |  |  | |  |  |  |  |  |  | |  | *Coefficients* | *Erreur-type* | *Statistique t* | *Probabilité* | *Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%* | | 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 |  | | 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** | 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. | | 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 | | |
| **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) | Donde:  DI: diversificación de ingresos | | 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 | |  | | *Statistiques de la régression* | | | | 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 |  | |  | *Degré de liberté* | *Somme des carrés* | *Moyenne des carrés* | *F* | *Valeur critique de F* | | 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. |  | | |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | | **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). | Escala:  (4): 6 o más productos;  (3): 5 a 4 productos;  (2): 3 productos;  (1): 2 productos;  (0): 1 producto. | Nota: el RE estará en el rango entre cero y uno [0 – 1] | | 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). | 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. | | |
| |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | | **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 | | 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 |  | | |
| |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | Relaciones de cálculo: |  |  |  |  |  |  | | RCPS kg café pergamino seco | 4,94 | kg café cereza | 1 | jornal | 1 | empleo agrícola | | ha año | 1 | kg café pergamino seco | 82,6 | kg café cereza | 173 | 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 |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  | | *Statistiques de la régression* | |  |  |  |  | | Coefficient de détermination multiple | 1 |  |  |  |  | | Coefficient de détermination R^2 | 1 |  |  |  |  | | Coefficient de détermination R^2 | 1 |  |  |  |  | | Erreur-type | 4,41E-17 |  |  |  |  | | Observations | 8 |  | Ftabla 3,779716079  Ttabla 2,015048373 |  |  | |  |  |  |  |  |  | | ANALYSE DE VARIANCE |  |  |  |  |  | |  | *Degré de liberté* | *Somme des carrés* | *Moyenne des carrés* | *F* | *Valeur critique de F* | | Régression | 2 | 1,929398059 | 0,964699029 | 4,96405E+32 | 1,79995E-81 | | Résidus | 5 | 9,71686E-33 | 1,94337E-33 |  |  | | Total | 7 | 1,929398059 |  |  |  | |  |  |  |  |  |  | |  | *Coefficients* | *Erreur-type* | *Statistique t* | *Probabilité* | *Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%* | | 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. |  | | | |
| |  |  | | --- | --- | | **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 9 | | Theta1 3386,57 1095,43 | Final SSE 41455049 | | Theta4 -313,35 0,30 | DFE 7 | | Theta2 71,47 1040,89 | MSE 5922150 | | 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. |  | | |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | **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 |  |  |  | |  |  |  | F tabla | 3,006452417 | | ANALYSE DE VARIANCE |  |  | T tabla | 1,833112933 | |  | *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. |  | | | |
| 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 económico y el acceso agua potable. | 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. |  | | | 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) adaptado del índice de Índice de seguridad alimentaria global. | ISA escala:  Entre 0 y 2 bajo.  Entre 2 y 3 medio.  Entre 3 y 4 alto. | | 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). | 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%. |  | | 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 |  | | 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 |  | 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 |  |  | | Área sembrada con café en el Dpto. de Caldas | ASCC |  | | |
| |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | **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 |  | |  | |  |  |  | | *Statistiques de la régression* | | |  | |  |  |  | | 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 |  |  | |  |  |  | | |  | *Degré de liberté* | *Somme des carrés* | | *Moyenne des carrés* | *F* | *Valeur critique de F* | | | Régression | 2 | 876168,6828 | | 438084,3414 | 1485,189 | 5,20523E-11 | | | Résidus | 9 | 2654,717394 | | 294,9685993 |  |  | | | Total | 11 | 878823,4002 | |  |  |  | | | |
| |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | *Coefficients* | *Erreur-type* | *Statistique t* | *Probabilité* | *Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%* | | 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 | | |
| **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 |  | 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 |  | Adim. | (ver Nota 1) |  | | Área sembrada con café en el Dpto. Caldas | | ASCC | Datos reportados |  |  | | |
| 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 | |
| **Café pergamino seco especial producido en el Dpto. de caldas** | |
| |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | **Indicador** | | | | **Información** | | | **Fuente** | | **Variables principales** | | | | **Ecuación del indicador en el modelo dinámico** | | **Descripción** | **Sigla** | | **Unidad** | **Descripción** | | **Siglas** | **Unidad** | | Café pergamino seco especial producido en el Dpto. de caldas | CPSEPC | |  | 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 | | Rendimiento del café pergamino seco | | RCPS |  |  | | | Área sembrada con cafés especiales en el Dpto. de Caldas | | ASCE |  | | 1 | | kg café verde u oro | | | 4,94 | kg café cereza | | (Segura & Andrade, 2012). | | | 6,62 | | kg café cereza | | | 1 | kg café pergamino seco | | | | | |
| |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | AÑO | **Sacos (60kg) café especiales oro** | **Café especiales oro kg/año** | **Café especiales cereza kg/año** | **Café especiales pergamino seco kg/año** | **Rendimiento café pergamino seco** |  | **Área sembrada con cafés especiales en el dpto. (ha/ año)** | | 2006 | 162000,0 | 9720000,0 | 64346400,0 | 13025587,0 | 0,00 |  | 25987,2 | | 2007 | 306186,0 | 18371160,0 | 121617079,2 | 24618841,9 | 0,00 |  | 29061,4 | | 2008 | 320080,0 | 19204800,0 | 127135776,0 | 25735987,0 | 367,00 |  | 37715,7 | | 2009 | 301409,7 | 18084584,0 | 119719946,1 | 24234806,9 | 1104,00 |  | 49344,8 | | 2010 | 333071,0 | 19984258,5 | 132295791,6 | 26780524,6 | 4177,00 |  | 28420,7 | | 2011 | 364732,2 | 21883933,1 | 144871637,1 | 29326242,3 | 4168,00 |  | 29348,1 | | 2012 | 396393,5 | 23783607,6 | 157447482,6 | 31871960,0 | 4159,00 |  | 30857,6 | | 2013 | 428054,7 | 25683282,2 | 170023328,0 | 34417677,7 | 3910,00 |  | 31747,8 | | 2014 | 459715,9 | 27582956,7 | 182599173,5 | 36963395,5 | 3654,54 |  | 34740,9 | | 2015 | 491377,2 | 29482631,3 | 195175019,0 | 39509113,2 | 3654,54 |  | 37151,1 | | 2016 | 523038,4 | 31382305,8 | 207750864,5 | 42054830,9 | 3654,54 |  | 39036,0 | | |
|  | |
| |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | RAPPORT DÉTAILLÉ |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  | | *Statistiques de la régression* | |  |  |  |  | | Coefficient de détermination multiple | 0,98764539 |  |  |  |  | | Coefficient de détermination R^2 | 0,975443416 |  |  |  |  | | Coefficient de détermination R^2 | 0,861603795 |  |  |  |  | | Erreur-type | 5352232,049 |  | F tabla | 3,00645242 |  | | Observations | 11 |  | T tabla | 1,83311293 |  | | ANALYSE DE VARIANCE |  |  |  |  |  | |  | *Degré de liberté* | *Somme des carrés* | *Moyenne des carrés* | *F* | *Valeur critique de F* | | Régression | 2 | 1,02411E+16 | 5,1205E+15 | 178,750241 | 2,2951E-07 | | Résidus | 9 | 2,57817E+14 | 2,8646E+13 |  |  | | Total | 11 | 1,04989E+16 |  |  |  | |  |  |  |  |  |  | |  | *Coefficients* | *Erreur-type* | *Statistique t* | *Probabilité* | *Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%* | | Constante | 0 | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | | RCPS | 764,6560622 | 185,6568423 | 4,11865274 | 0,00260317 | 344,671107 | | Área sembrada con cafés especiales en el Dpto. (ha/ año) | 600,4493742 | 78,91775166 | 7,60854639 | 3,2973E-05 | 421,925017 | | |
| **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 |  |  | | | Área sembrada con cafés especiales en el Dpto. de Caldas | ASCE |  | | |
| 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.federaciondecafeteros.org/fnc/inc_nuestros_projectos/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 |  | 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 |  |  | | | |
| |  |  | | --- | --- | |  |  | | **INCLUSION MUJERES (Concejos 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 |  | | 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 |  | 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 |  |  | | Área sembrada con cafés en el Dpto. de Caldas | ASCC |  | | |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | **Año** | **Número de pozos sépticos implementados** | **ASCC**  **(ha/ año)** | Nonlinear Regression: *Method* 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 | |  |  |  | |  |  |  | |  |  |  | |  |  |  | |  |  |  | |  |  |  | |  |  |  | |  |  |  | |  |  |  | |  |  |  | |  |  |  | |  |  |  | |  |  |  | |  |  |  | |  |  |  | |  |  |  | |  |  |  | | |