

## EVALUACIÓN ECONÓMICA DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA EMPRESA AGROFORESTAL MATANZAS

### ECONOMIC EVALUATION OF CLIMATE CHANGE MITIGATION ALTERNATIVES IN THE MATANZAS AGROFORESTRY ENTERPRISE

Ing. Yaneli Peña Guerra<sup>1\*</sup>, Dr.C Arnaldo F. Álvarez Brito<sup>2</sup>, Dr.C Carlos Gómez Gutiérrez<sup>3</sup>, Ing. Ubaldo Ortíz Betancourt<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geografía Tropical. La Habana, Cuba, CP 10400. <https://orcid.org/0000-0003-0089-9637>

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones Agroforestales. La Habana, Cuba, CP 32700. <https://orcid.org/0000-0001-8417-6086>

<sup>3</sup>Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. Universidad de La Habana. La Habana, Cuba. CP 10400  
<https://orcid.org/0000-0002-7483-8354>

<sup>4</sup>Empresa Agroforestal Matanzas. Matanzas, Cuba, CP 40100. <https://orcid.org/0009-0004-9543-4991>

\*Autor para la correspondencia (e-mail): [sonya910624@gmail.com](mailto:sonya910624@gmail.com)

Recibido para su publicación: 14/11/2024 - Aceptado para su publicación: 28/12/2024

#### Resumen

Las empresas agroforestales enfrentan una polémica referente a la estrategia de mitigación a seguir con el patrimonio forestal que administran, en especial lo referido al tema económico. La Empresa Agroforestal Matanzas ha decidido llevar a cabo una estrategia de mitigación, para lo cual ha seleccionado cuatro alternativas de mitigación. Para complementar la evaluación de los efectos ambientales esperables de las alternativas elegidas y la toma de decisiones de la empresa, se decidió evaluar económicamente estas alternativas a través de un análisis costo-beneficio tomando como año base el 2022. Para ello se utilizó el cálculo de Valor Actual Neto, la Tasa Interna de Retorno y el Período de Recuperación de la inversión. Se obtuvo como resultado que la remoción de carbono atmosférico por el aumento del fomento no aumenta las existencias de carbono, mientras que el del logro alcanza muy pequeños aumentos; por su parte, el aumento Incremento Medio Anual en bosques artificiales alcanza la mayor contribución a la mitigación del cambio climático y tres de las alternativas evaluadas son factibles económicamente al tener un Valor Actual Neto positivo; sin embargo, las más rentables son el Aumento del Incremento Medio Anual y del Incremento Corriente Anual.

**Palabras Clave:** Patrimonio Forestal, Análisis Costo-Beneficio, Mitigación.

#### Abstract

Agroforestry enterprises face a controversy regarding the mitigation strategy to follow with the forest assets they manage, especially regarding the economic issue. The Matanzas Agroforestry Enterprise has decided to carry out a mitigation strategy, for which it has selected four mitigation alternatives. To complement the evaluation of the expected environmental effects of the chosen alternatives and the company's decision-making, it was decided to economically evaluate these alternatives through a cost-benefit analysis taking 2022 as the base year. To do so, the calculation of Net Present Value, the Internal Rate of Return and the Investment Recovery Period were used. The result was that the removal of atmospheric carbon due to the increase in promotion does not increase carbon stocks, while the achievement reaches very small increases; on the other hand, the increase in Average Annual Increment in artificial forests reaches the greatest contribution to the mitigation of climate change and three of the evaluated alternatives are economically feasible by having a positive Net Present Value; However, the most profitable are the Increase in the Average Annual Increment and the Current Annual Increment.

**Key Words:** Forest Assets, Cost-Benefit Analysis, Mitigation.

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático y el aumento del nivel del mar plantean una grave amenaza a los pequeños estados insulares, los que presentan características que limitan su capacidad para adaptarse al cambio climático y en particular, a ese impacto. Estos cambios son manifiestos en las tendencias pasadas y futuras del clima cubano, con una tendencia a que los períodos cálidos fueron cada vez más frecuentes mientras los fríos disminuyeron; decreció la cobertura nubosa media anual y estacional y, aumentó la ocurrencia de huracanes intensos, mientras que el nivel medio del mar se ha estimado que aumente en 29,3 cm en 2050 y en 95,0 cm en 2100 (República de Cuba, 2020).

El patrimonio forestal administrado por las empresas agroforestales constituye un sumidero natural de carbono, por lo que se ha decidido evaluar alternativas de mitigación en dependencia de las características de dicho patrimonio y el estado económico de las empresas, con el objetivo de aumentar la remoción de carbono atmosférico mediante inversiones ambientales, las que serán retribuidas por medio del pago por el servicio ambiental (PSA) de remoción de carbono.

La evaluación económica de los efectos esperables de acciones de mitigación sustentadas en la modificación de la gestión técnica habitual del patrimonio forestal establece un argumento para la fundamentación no solo de la inversión ambiental, sino también de la fuerza de trabajo necesaria para su implementación. Ello permite calcular y argumentar la creación y composición de nuevos puestos de trabajo que redunden en una mejoría de la situación social existente en la zona donde sean implementadas dichas acciones.

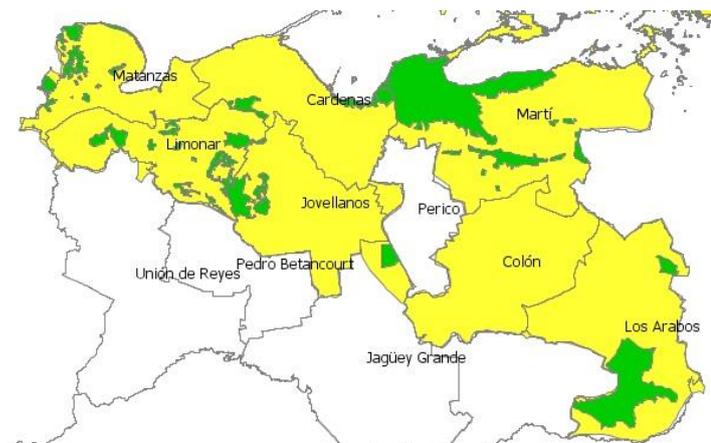
Evaluaciones económicas anteriores realizadas en el país sobre los servicios ambientales de los bosques, incluida la mitigación del cambio climático mediante la remoción de carbono atmosférico, han empleado diferentes metodologías que no han llegado a facilitar a los administradores del patrimonio forestal una herramienta efectiva para la adopción de decisiones, principalmente en el contexto empresarial.

La Empresa Agroforestal Matanzas seleccionó varias alternativas de mitigación para aumentar las remociones por lo que el objetivo de este trabajo es evaluarlas ambiental y económicamente para que la Empresa pueda decidir de manera informada la que más convenga a sus objetivos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Caracterización de la empresa

La Empresa Agroforestal (EAF) ocupa la región norte y central de la provincia de igual nombre (Figura 1). Su patrimonio forestal se localiza en los municipios de Matanzas, Limonar, Cárdenas, Jovellanos, Jagüey Grande, Martí y Los Arabos (EAF Matanzas, 2022). La precipitación media anual es 1 447,8 mm; la temperatura máxima media anual es 30,8 °C y la mínima media anual 20,5 °C (ONEI, 2023).



**Figura 1.** Distribución geográfica de la EAF Matanzas. Fuente: EAF Matanzas

**Figure 1.** Geographical distribution of the AFE Matanzas. Source: AFE Matanzas

Cuenta con bosques que están categorizados como Productor, Protector de aguas y suelos y Protector del litoral. Presenta una composición mayoritaria de bosques naturales con las formaciones Semideciduo sobre calizas, Semideciduo sobre suelos de mal drenaje, Semideciduo sobre suelos ácidos, Encinar, Manglar, Charrascal y Cuabal (EAF Matanzas, 2023).

### **Resultados de la valoración para pagar el carbono**

En 2018 la Iniciativa para el Financiamiento de la Biodiversidad (BIOFIN) escogió la Empresa para valorar el pago del carbono removido por la biomasa aérea como uno de los servicios ambientales de los bosques.

Para ello la Empresa suministró la información sobre las existencias de madera correspondiente a los años 2016 y 2017 y la tonelada de CO<sub>2</sub> removido fue cotizada a \$ 1,00 en bosques productores de madera y a \$ 2,00 en bosques protectores del suelo, el agua y el litoral, así como en los destinados a la conservación de la biodiversidad. El resultado de tal evaluación dio una remoción total de 1 147,9 Mt CO<sub>2</sub> por lo que correspondería pagar a la Empresa \$ 1 733 389,22 (Mercadet, Álvarez y Ajete, 2020).

### **Cálculo de carbono**

La evaluación de la retención de carbono parte de dos datos primarios: el área, expresada en hectáreas, cuya fuente es la dinámica forestal de la Empresa y, el volumen de madera, expresado en metros cúbicos, cuya fuente es la tasación de los bosques incluida en el proyecto de ordenación de la misma.

El procesamiento de los datos es realizado utilizando el sistema SUMFOR v-4.01 (Álvarez, Mercadet y Peña, 2019), empleando el siguiente procedimiento general para el año base: El volumen de los fustes (por especie o por formación) se convierte en biomasa empleando la densidad básica de la madera y, a través del factor de expansión de la biomasa (FEB), se calcula la biomasa aérea (fuste + copa); la biomasa total se calcula como la suma de la aérea más la subterránea, y esta última se estima mediante su relación con la biomasa aérea. El producto de la biomasa total por la fracción de carbono en la madera, de cada especie o formación, permite el cálculo del carbono retenido por la biomasa.

Posteriormente, asumiendo que el tamaño del patrimonio y la gestión técnica del mismo se mantienen constantes en el tiempo, el sistema calcula la variación temporal de la retención de carbono a mediano plazo (10 años), dando origen a la línea base de carbono – LBC (que puede ser considerada como un escenario *Business as Usual* – BAU), que es la resultante de la inversión silvícola realizada (financiamiento utilizado para el manejo del patrimonio, en base a lo establecido por el proyecto de ordenación forestal).

### **Alternativas de mitigación**

En aras de aumentar la mitigación mediante la modificación de la gestión del patrimonio forestal, la Empresa solicitó en 2023 que fueran evaluados los efectos de cuatro alternativas seleccionadas entre un total de 10 (Tabla 1), para que fueran analizadas desde el punto de vista ambiental y económico mediante el programa SUMFOR 4.01, a fin de conocer sus posibles resultados.

**Tabla 1.** Condiciones de las alternativas de mitigación evaluadas. Fuente: elaboración propia.

**Table 1.** Conditions of the mitigation alternatives evaluated. Source: Own elaboration.

| Alternativas de Mitigación seleccionadas    | Cambios en la gestión del patrimonio |                           |                    |                        |                            |
|---|--------------------------------------|---------------------------|--------------------|------------------------|----------------------------|
|   | Valor 2022                           | Variación 2023-2032       | Gestión anual (ha) | Costo Unitario (\$/ha) | Período Implementación (a) |
| 1. Aumentar plan de fomento                 | 132 ha/a                             | 145 ha/a                  | 145                | 7 839.46               | 5                          |
| 2. Aumentar el logro de la reforestación    | 52 %                                 | 57 %                      | 145                | 3 318.56               | 5                          |
| 9. Aumentar incremento bosques artificiales | 6.52 m <sup>3</sup> /ha/a            | 6,59 m <sup>3</sup> /ha/a | 480                | 1 367.19               | 7                          |
| 10. Aumentar incremento bosques naturales   | 3.46 m <sup>3</sup> /ha/a            | 3,49 m <sup>3</sup> /ha/a | 180                | 1 634.23               | 7                          |

### Cálculo y comparación de retenciones por las alternativas de mitigación

A partir de los datos suministrados, el sistema repite para cada alternativa el mismo procedimiento de cálculo seguido para obtener la línea base, pero modificando las variables según la alternativa a considerar.

En el caso particular de las alternativas 9 y 10 se requiere especificar adicionalmente la superficie a manejar anualmente, porque puede suceder que debido al tamaño de los patrimonios administrados por las empresas o UEB y a las gestiones técnicas a realizar para ello, no sea posible atenderlo totalmente en un plazo de 10 años.

Finalmente, para obtener los resultados de la alternativa, el sistema compara la retención de la alternativa contra la de la línea base, o sea:

$$\text{Magnitud de la mitigación} = \text{Retención de la alternativa} - \text{Retención de la línea base}$$

La modificación de la gestión técnica del patrimonio forestal prevista en cada alternativa de mitigación y el financiamiento requerido para realizarla es considerada una inversión ambiental, que se adicionaría a la inversión silvícola prevista para el área evaluada.

### Evaluación de las alternativas de mitigación

A partir de la gestión del patrimonio forestal reportada para 2022 se procesaron los datos con en SUMFOR 4.01 y se obtuvo la línea base de las existencias de carbono para el periodo 2023-2032 y luego, considerando las modificaciones de la gestión seleccionadas (Tabla 1) el sistema repitió el mismo procedimiento de cálculo para cada alternativa, comparando los resultados con los de la línea base.

La evaluación económica se basó en lo expresado por Fallot (2015) a través de un análisis de factibilidad económica basado en la relación coste-beneficio, para lo que se procedió a determinar los egresos e ingresos en que se incurrirían para llevarlas a cabo, con la finalidad de calcular los flujos de caja (FC) correspondientes, determinados mediante la expresión:

$$FC = \text{Ingresos} - \text{Egresos}$$

Donde:

Ingresos: todo recurso financiero que ingresa la empresa por mitigación.

Egresos: todo egreso de efectivo necesario para que la empresa lleve a cabo las alternativas (incluye los costes variables y fijos).

Cuantificados los flujos de caja se procedió a la utilización de la técnica económica de Valor Actual Neto (VAN) para calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión, determinado por la expresión (Gómez, 2008):

$$VAN = \left( \sum_{t=1}^n ((B_t - C_t) / (1 - r)^t) \right) - I_0$$

Donde:

$B_t$ : beneficios en el año  $t$ .

$C_t$ : costes en el año  $t$ .

$r$ : tasa de descuento (10 %).

$I_0$ : inversión inicial.

Considerando los resultados de la siguiente manera:

- $VAN > 0$  Beneficios: valor actual de las entradas  $>$  Valor actual de las salidas.
- $VAN = 0$  Indiferencia: No existen utilidades ni pérdidas.
- $VAN < 0$  Pérdidas: Valor actual de las entradas  $<$  Valor actual de las salidas.

Para apoyar los resultados obtenidos por el VAN se determinó la Tasa Interna de Retorno (TIR), que es el promedio geométrico de los rendimientos futuros esperados de la inversión y permite apoyar los resultados obtenidos por el VAN, variable que fue determinada mediante la expresión (Gómez, 2008):

$$VAN = \left( \sum_{t=1}^n ((B_t - C_t) / (1 - r)^t) \right) - I_0 = 0$$

Considerando los resultados de la siguiente manera:

- $TIR > 10\%$ : Muy Rentable
- $TIR = 10\%$ : Rentable
- $TIR < 10\%$ : No rentable

Para conocer el tiempo de recuperación de la inversión (TRI) se aplicó la expresión (Gómez, 2008):

$$\left( \sum_{t=1}^{TR} ((I_t - C_t) / (1 - r)^t) \right) - I_0 = 0$$

Donde,

$I_t$ : inversión en el año  $t$ .

$C_t$ : flujo de caja en el año  $t$ .

$R$ : tasa de descuento (10 %).

$I_0$ : inversión inicial.

Además, se realizó el análisis de los gastos totales, eficiencia económica de la inversión ambiental y de los ingresos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Valoración ambiental

Los resultados alcanzados para la línea base y para las alternativas de mitigación son mostrados en la Tabla 2 y representados en la Figura 2. En ellos se observa que el aumento del plan de fomento no origina aumentos de las existencias de carbono con respecto a la línea base, mientras que el aumento del logro produce un aumento negligible, lo que no es el caso para los incrementos de volumen, pues en ambos casos (bosques naturales y artificiales) sus respectivas existencias superaron la de la línea base, especialmente en el último de los casos citados.

Resultados similares han sido obtenidos por Mercadet, Álvarez y Ajete (2020) para otras empresas agroforestales del país, destacando con ello el importante papel que desempeña el adecuado manejo de la cantidad de árboles por hectárea y el control de la competencia tanto para la producción de madera, como para la remoción de carbono atmosférico.

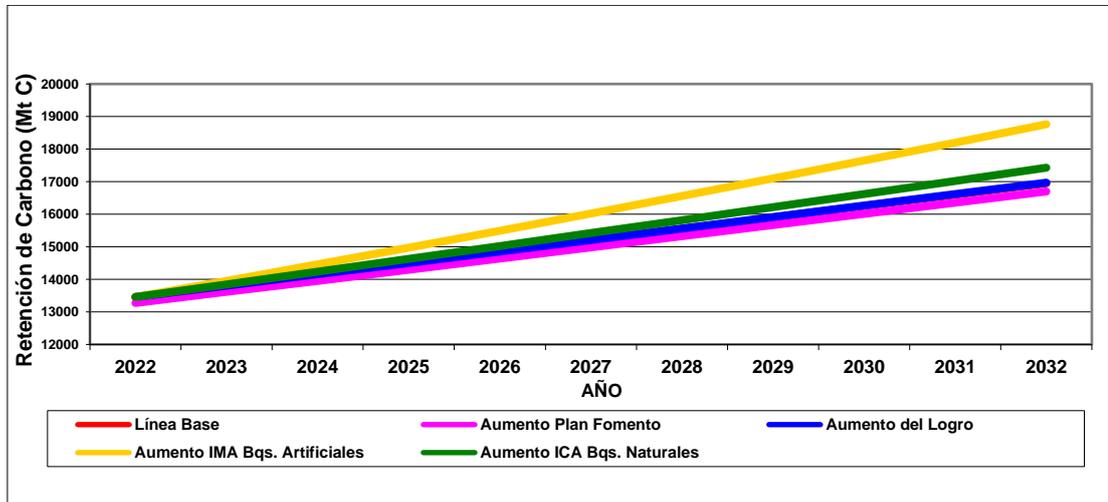
**Tabla 2.** Variación general del carbono retenido por la línea base y por alternativa de mitigación (Mt C). Fuente: SUMFOR 4.01.

**Table 2.** Overall variation in carbon sequestered by the baseline and by mitigation alternative (Mt C). Source: SUMFOR 4.01.

| Nº | Alternativa                  | Año      |          |          |          |          |          |
|----|------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|    |                              | 2022     | 2023     | 2024     | 2025     | 2026     | 2027     |
| 0  | Línea Base                   | 13 457,7 | 13 806,2 | 14 154,7 | 14 503,3 | 14 853,6 | 15 203,6 |
| 1  | Plan Fomento                 | 13 274,8 | 13 615,0 | 13 954,8 | 14 294,4 | 14 637,6 | 14 981,0 |
| 2  | Logro                        | 13 457,7 | 13 806,0 | 14 154,3 | 14 502,5 | 14 854,6 | 15 207,1 |
| 9  | Incremento Bqs. Artificiales | 13 457,7 | 13 955,7 | 14 460,4 | 14 971,6 | 15 493,0 | 16 021,1 |
| 10 | Incremento Bqs. Naturales    | 13 457,7 | 13 845,8 | 14 235,3 | 14 626,1 | 15 021,9 | 15 419,2 |

| Nº | Alternativa  | AÑO      |          |          |          |          |
|----|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|    |              | 2028     | 2029     | 2030     | 2031     | 2032     |
| 0  | Línea Base   | 15 553,3 | 15 902,7 | 16 251,8 | 16 600,6 | 16 949,2 |
| 1  | Plan Fomento | 15 324,3 | 15 667,8 | 16 011,5 | 16 355,1 | 16 698,6 |
| 2  | Logro        | 15 559,5 | 15 911,8 | 16 264,1 | 16 616,3 | 16 968,4 |

|    |                       |          |          |          |          |          |
|----|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 9  | IMA Bqs. Artificiales | 16 556,1 | 17 097,8 | 17 646,3 | 18 201,6 | 18 763,6 |
| 10 | ICA Bqs. Naturales    | 15 818,0 | 16 218,4 | 16 620,3 | 17 023,7 | 17 428,6 |



**Figura 2.** Variación temporal de las existencias de carbono en la línea base y en las alternativas de mitigación. Fuente: SUMFOR 4.01

**Figure 2.** Temporal variation in carbon stocks in the baseline and in mitigation alternatives. Source: SUMFOR 4.01

### Valoración económica-financiera

Desde el punto de vista económico-financiero las alternativas obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 3.

Los ingresos del fomento son inferiores a los gastos y por tanto no es económicamente factible; en el caso del logro, presenta los menores niveles de gastos, la mayor eficiencia y el más rápido tiempo de retorno de la inversión, pero también alcanza las menores utilidades, mientras que el incremento de los bosques artificiales resulta más costoso que el de los bosques naturales, pero su eficiencia y utilidades son mayores, con menor tiempo de retorno.

El comportamiento de la TIR en las alternativas es muy bajo y ninguna sobrepasa la tasa de descuento, lo que significa que la tasa de retorno es inferior a la tasa de descuento y esto influye en la rentabilidad de la inversión para ejecutar cada alternativa.

**Tabla 3.** Evaluación económico-financiera de las alternativas de mitigación. Fuente: SUMFOR 4.01.

**Table 3.** Economic-financial evaluation of mitigation alternatives. Source: SUMFOR 4.01.

| Variable      | Unidad                 | Alternativa de mitigación |            |                            |                          |
|---------------|------------------------|---------------------------|------------|----------------------------|--------------------------|
|               |                        | Plan de fomento           | Logro      | Incremento IMA bqs. artif. | Incremento ICA bqs. nat. |
| Gasto total   | (\$)                   | 103.480,87                | 21.902,50  | 6.562.512,00               | 2.941.614,00             |
| Eficiencia    | (\$/tCO <sub>2</sub> ) | -----                     | 0,30       | 0,99                       | 1,67                     |
| Ingreso bruto | (\$)                   | 0,00                      | 147.726,84 | 13.306.066,04              | 6.743.554,04             |
| Ingreso neto  | (\$)                   | 0,00                      | 125.824,35 | 3.515.981,45               | 574.367,45               |
| VAN           | (\$)                   | -----                     | 57.893,06  | 3.893.370,68               | 285.740,11               |

|     |            |       |      |      |       |
|-----|------------|-------|------|------|-------|
| TIR | (%)        | ----- | 0,23 | 0,00 | -0,19 |
| TRI | Años/meses | ----- | 4/9  | 5/11 | 9/0   |

A partir de la conjugación de los resultados ambientales y económicos, la Empresa deberá decidir, según su situación financiera, cómo proceder.

Aumentar el plan de fomento fue la única alternativa con resultados desfavorables, similar a los reportados por Peña, Álvarez y González (2022) para la EAF Mayabeque; las otras tres alternativas obtuvieron resultados positivos, pero el incremento de volumen, tanto en bosques artificiales como en bosques naturales, fue la de mejor comportamiento, lo que difiere de los resultados de Álvarez (2019 a, b) para la EAF Granma, donde esas alternativas no fueron las mejores.

## CONCLUSIONES

- La remoción de carbono atmosférico presenta un resultado variable: el aumento del fomento no aumenta las existencias de carbono, mientras que el del logro alcanza muy pequeños aumentos; por su parte, el aumento IMA en bosques artificiales alcanza la mayor contribución a la mitigación del cambio climático.
- Tres de las alternativas evaluadas son factibles económicamente al tener un VAN positivo; sin embargo, las más rentables son el Aumento del IMA y del ICA, elementos a considerar en la toma de decisiones por la Empresa Agroforestal Matanzas.

## ÉTICA Y CONFLICTO DE INTERESES

Las personas autores del manuscrito en cuestión, declaran que han cumplido totalmente con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la producción del manuscrito; que no hay conflictos de intereses de ningún tipo; que todas las fuentes financieras que se mencionan completa y claramente en la sección de agradecimientos; y que están totalmente de acuerdo con la versión final editada del artículo.

## REFERENCIAS

- Álvarez, A.; A. Mercadet y Y. Peña. (2019). Elaboración y puesta a punto de la v-4.0 del sistema automatizado SUMFOR. Inf. Técn. Inst. Invest. Agro-Forestales, La Habana, Cuba.
- Álvarez, Y. (2019a). Formuladas las alternativas de mitigación de la Empresa Agro-Forestal Granma. Inf. Técn. Inst. Invest. Agro-Forestales, La Habana, Cuba.
- Álvarez, Y. (2019b). Valoración económica de las alternativas de mitigación de la EAF Granma. Inf. Técn. Inst. Invest. Agro-Forestales, La Habana, Cuba.
- Empresa Agroforestal Matanzas (2023). Actualización del proyecto de organización y desarrollo de la economía forestal. Matanzas, Cuba.
- Fallot, A. (2015). Propuesta metodológica para la evaluación económica cuantitativa de respuestas al cambio climático en territorios rurales de América Latina: Principios y pasos para el cálculo de costos y beneficios de acciones de mitigación o adaptación y el desarrollo de una herramienta práctica. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01161724>

- Gómez, C. (2008). *Economía Ambiental*. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. La Habana, Cuba.
- Mercadet, A., A. Álvarez y A. Ajete. (2020). *La Mitigación del Cambio Climático por el Sector Forestal Cubano*. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, Cuba.
- ONEI-Oficina Nacional de Estadística e Información (2023). *Anuario Estadístico de la Provincia Matanzas 2022*. La Habana, Cuba.
- Peña, Y.; Álvarez, A.; González, G. (2022). Evaluación económica de las alternativas de mitigación para la Empresa Agroforestal Mayabeque. *Sostenibilidad: económica, social y ambiental*, 4, 25-34.  
<https://doi.org/10.14198/Sostenibilidad2022.4.02>
- República de Cuba. (2020). *Tercera Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. CITMA. La Habana, Cuba.