

Characterization and life cycle assessment of alkali treated abaca fibers: the effect of reusing sodium hydroxide

PROBLEMA

El tratamiento alcalino con hidróxido de sodio (NaOH) mejora las propiedades de las fibras naturales como el abacá, pero implica un alto consumo de recursos químicos y genera impactos ambientales negativos, especialmente por la producción y disposición de NaOH. Además, la falta de estrategias circulares sostenibles limita la adopción masiva de estas fibras como sustitutos ecológicos de fibras sintéticas usadas en la industria de la construcción. Por ello, es urgente evaluar métodos que permitan reducir impactos sin comprometer la calidad del tratamiento.

OBJETIVO GENERAL

El estudio busca evaluar la viabilidad técnica y ambiental de reutilizar soluciones de NaOH en el tratamiento de fibras de abacá, mediante análisis térmico, morfológico, de resistencia a tracción y huella de carbono mediante Life Cycle Assessment (LCA), proponiendo un enfoque de economía circular para minimizar impactos y mejorar la sostenibilidad frente a fibras sintéticas convencionales.

MATERIAL CONVENCIONAL:



Fibras de Polipropileno

ALTERNATIVAS:



Fibra de Abacá



Fibra de Abacá Tratada

PROPUESTA

Se propone una estrategia de economía circular basada en la recirculación de una solución de hidróxido de sodio al 3% utilizado en el tratamiento alcalino de fibras naturales de abacá. El objetivo es aplicar hasta diez ciclos de reutilización de esta solución, evaluando en cada uno el comportamiento térmico mediante análisis TGA, la morfología con SEM y la resistencia mecánica mediante ensayos de tracción. Paralelamente, se desarrolla un análisis de ciclo de vida (LCA) para comparar el impacto ambiental de este tratamiento con fibras tratadas convencionalmente y fibras sintéticas de polipropileno usadas en hormigón. Buscando demostrar la viabilidad técnica y la reducción de la huella de carbono del proceso.

RESULTADOS

- Los resultados del análisis TGA y SEM, así como de los ensayos de tracción, mostraron que la recirculación de la solución de NaOH mantiene su eficacia hasta ocho ciclos. Durante este rango, la eliminación de lignina y hemicelulosa fue constante, permitiendo la formación de fibras elementales limpias. La resistencia a la tracción incrementó más del 34 % respecto a fibras sin tratamiento, sin diferencias estadísticas significativas entre ciclos T1–T8 ($P > 0.05$). A partir del ciclo 9, la calidad del tratamiento decreció sustancialmente.
- El tratamiento convencional (una sola vez) genera una huella de carbono de 1.48 kg CO₂ eq/kg fibra. Con la reutilización de la solución de NaOH hasta 8 ciclos, se reduce un 25 %, alcanzando 1.11 kg CO₂ eq/kg fibra. Esto se debe principalmente a la disminución del 70 % en el consumo de NaOH. La huella de carbono resultante es también 66 % menor que la de las fibras sintéticas de polipropileno.
- Las fibras de abacá tratadas con recirculación de NaOH presentan mejor desempeño ambiental y comparable resistencia mecánica frente al polipropileno. Este último tiene una huella de carbono de 3.30 kg CO₂ eq/kg y menor resistencia. El tratamiento hasta T8 ofrece buena resistencia y menor impacto ambiental en construcción sostenible.

CONCLUSIONES

- La recirculación del NaOH en tratamientos alcalinos de fibras de abacá es efectiva hasta ocho ciclos, permitiendo mantener las propiedades físicas y mecánicas de las fibras tratadas, lo cual valida su viabilidad técnica como refuerzo natural en compuestos de construcción.
- Desde una perspectiva ambiental, el tratamiento con recirculación de NaOH reduce significativamente la huella de carbono y el uso de recursos, ofreciendo una alternativa más sostenible frente a tratamientos convencionales y fibras sintéticas como el polipropileno, alineándose con principios de economía circular.



Figura 1. Etapas de producción de la fibra de abacá en Santo Domingo, Ecuador: (a) grupo de plantas de abacá, (b) proceso de desfibrado y (c) proceso de secado.

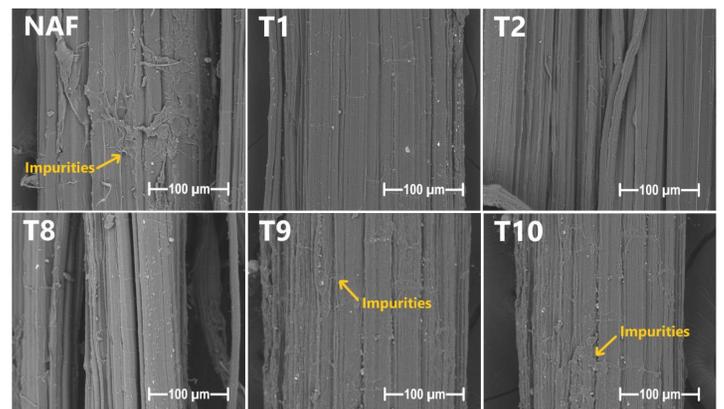


Figura 2. Resultados de microscopía electrónica de barrido (SEM) de la fibra natural de abacá (NAF) y de la fibra de abacá tratada (T) en 10 ciclos de reutilización de solución de NaOH (1–10).

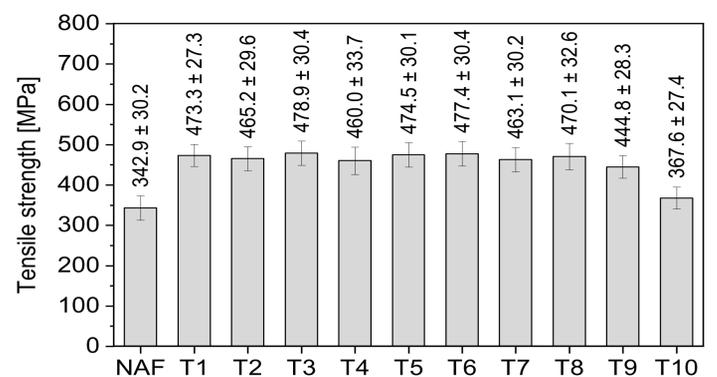


Figura 3. Resultados de la resistencia a la tracción de la fibra natural de abacá (NAF) y de la fibra de abacá tratada (T) en 10 ciclos de reutilización de solución de NaOH (1–10).

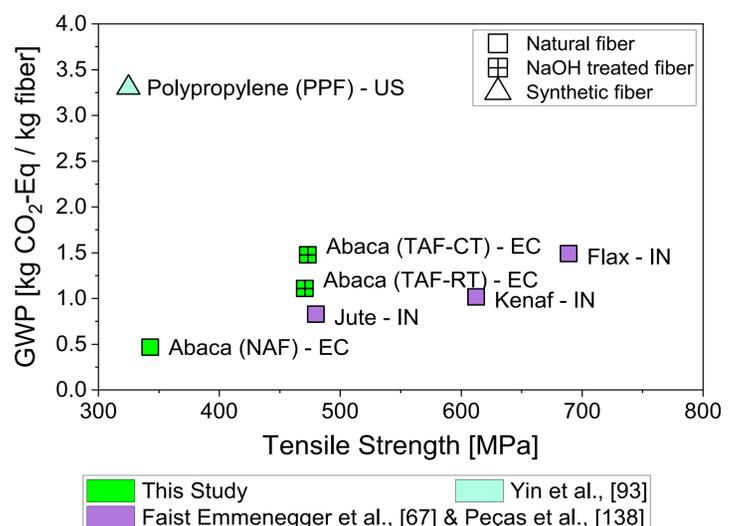


Figura 4. Resultados de Global warming potential de fibras en la literatura y este estudio. NAF: Fibra de abacá natural. TAF: Fibra de abacá tratada CT: Tratamiento convencional (1 ciclo). RT: Tratamiento con reutilización de la solución de NaOH durante 8 ciclos de recirculación. PPF: fibra de polipropileno