



Revista de Ciencias Sociales (Ve)
ISSN: 1315-9518
rcs_luz@yahoo.com
Universidad del Zulia
Venezuela

Problemas forestales e incidencias en el ser humano: Experiencia de Gmelina arbórea en Ecuador

Belezaca-Pinargote, Carlos; Solano-Apuntos, Edison; López-Tobar, Rolado; Macías-Moncayo, Mariela
Problemas forestales e incidencias en el ser humano: Experiencia de Gmelina arbórea en Ecuador
Revista de Ciencias Sociales (Ve), vol. 27, núm. Esp.3, 2021
Universidad del Zulia, Venezuela
Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28068276025>

Problemas forestales e incidencias en el ser humano: Experiencia de Gmelina arborea en Ecuador

Forest problems and human incidents: Gmelina arborea's experience in Ecuador

Carlos Belezaca-Pinargote
Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador
cbelezaca@uteq.edu.ec

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28068276025>

Edison Solano-Apuntes
Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador
esolano@uteq.edu.ec

Rolado López-Tobar
Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador
rlopez@uteq.edu.ec

Mariela Macías-Moncayo
Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador
mariela.macias2014@uteq.edu.ec

Recepción: 24 Febrero 2021

Aprobación: 13 Mayo 2021

RESUMEN:

Las especies forestales no son inmunes a problemas fitosanitarios generados por microorganismos patógenos, tal es el caso de *Gmelina arborea* Roxb. (melina) que está siendo afectada por una “marchitez vascular y pudrición del fuste” en Ecuador, desconociéndose su etiología, generando inconvenientes socio-económicos por pérdidas de empleos. En ese sentido, el objetivo consiste en analizar la incidencia de estos problemas forestales en el ser humano. La investigación fue descriptiva-experimental, se describió la sintomatología, evaluó la incidencia (I%) y severidad de la enfermedad en cinco categorías, e identificó fitopatógenos asociados a árboles enfermos. Se estudiaron tres plantaciones (2; 3,5 y 5 años de edad) en el Trópico Húmedo Ecuatoriano. Se delimitaron tres parcelas de 500 m., donde se diseccionaron árboles, cuyos tejidos se analizaron mediante cámara húmeda, sándwiches de zanahoria, medio de cultivo PDA. Como resultados los árboles enfermos mostraron clorosis, pérdida de turgencia, yemas de crecimiento muertas, emisión de brotes epicormicos en el fuste, y marchitez. La I% fue del 24,1%, 7,1%, y 21,3% en plantaciones de 2; 3,5 y 5 años, respectivamente y se identificaron dos tipos de hongos, lo cual preocupa a los madereros. Se concluye, en fortalecer la interacción academia-sociedad como alianza estratégica para el desarrollo forestal ecuatoriano.

PALABRAS CLAVE: Problemas forestales, inconvenientes socio-económicos, árboles enfermos, microorganismos patógenos, trópico húmedo ecuatoriano.

ABSTRACT:

Forest species are not immune to phytosanitary problems generated by pathogenic microorganisms, such is the case of *Gmelina arborea* Roxb. (melina) that is being affected by a “vascular wilting and stem rot” in Ecuador, its etiology being unknown, generating socio-economic inconveniences due to job losses. In this sense, the objective is to analyze the incidence of these forest problems in humans. The research was descriptive-experimental, the symptoms were described, the incidence (I%) and severity of the disease were evaluated in five categories, and phytopathogens associated with diseased trees were identified. Three plantations (2, 3.5 and 5 years old) in the Ecuadorian Humid Tropics were studied. Three plots of 500 m² were delimited, where trees were dissected, whose tissues were analyzed by means of a humid chamber, carrot sandwiches, PDA culture medium. As results the diseased trees showed chlorosis, loss of turgor, dead growth buds, emission of epicormic shoots in the stem, and wilting. The I% was 24.1%, 7.1%, and 21.3% in plantations of 2; 3.5 and 5 years, respectively and two types of fungi were identified, which worries loggers. It is concluded to strengthen the interaction between academia and society as a strategic alliance for Ecuadorian forestry development.

KEYWORDS: Forest problems, socio-economic drawbacks, diseased trees, pathogenic microorganisms, Ecuadorian humid tropics.

INTRODUCCIÓN

Las especies forestales no son inmunes a los problemas fitosanitarios generados por microorganismos patógenos, pese a la creencia social que se tiene. Los hongos son los principales agentes causales de enfermedades en bosques (plantaciones) plantados o naturales, y como cualquier otra especie vegetal, los árboles también son susceptibles al ataque de estos fitopatógenos, que llegan a comprometer seriamente su sobrevivencia, causar un detrimento importante en la productividad, pérdidas de valor a productos y subproductos forestales, y por consiguiente pérdidas de fuentes de trabajo, principalmente en comunidades rurales cercanas a los bosques (Terhonen, et al., 2019).

Gmelina arborea Roxb. (melina), es una especie forestal de rápido crecimiento, seleccionada por países en desarrollo para suministros de madera a mediano plazo desde plantaciones comerciales. En Ecuador, ha encontrado condiciones edafoclimáticas excelentes para su desarrollo, pese a ser originaria del sureste asiático (Rojas, et al., 2004; Moya, Araya y Vilchez, 2008). De acuerdo a la Subsecretaría de Producción Forestal del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGAP, 2016) del Ecuador, la producción de *G. arborea* está concentrada en la región tropical y subtropical de la región costa, donde se implementó el “Programa de Incentivos para la Reforestación con Fines Comerciales”, potenciando la productividad, competitividad y sostenibilidad del sector forestal, con varias especies, entre ellas “melina”.

Desde la introducción de *G. arborea* en Ecuador, se ha convertido en un rubro importante para el desarrollo y economía del país, con una significativa superficie plantada, donde hasta el año 2015 existían 11.458 ha, que representaban el 21,9% de las 52.395 ha plantadas con otras especies forestales de importancia económica (teca, balsa, pino, entre otras) registradas en el país, aportando aproximadamente con igual porcentaje de empleos directos e indirectos (MAGAP, 2016), que inciden concisamente sobre mejores condiciones de vida para los seres humanos vinculados a esta actividad (Herrera y Buitrago, 2010; López y Sarmiento, 2019), y el desarrollo económico del país (Proaño, et al., 2019).

De acuerdo con Arguedas-Gamboa (2004), la melina, al igual que otras especies forestales está propensa a experimentar enfermedades, llegando a comprometer seriamente su sobrevivencia, y, por tanto, generar pérdidas económicas significativas (al afectar directamente su productividad), provocar pérdidas de empleo y migraciones desde el campo hacia las ciudades (Arguedas-Gamboa, et al., 2018, Guillén, Menéndez y Moreira, 2019; Gutiérrez, et al., 2020).

En la última década, una compleja y agresiva enfermedad caracterizada por marchitez vascular y pudrición del fuste, está afectando plantaciones comerciales de la especie en el Trópico Húmedo Ecuatoriano (THE), manifestándose con un detrimento prematuro y gradual del vigor en los árboles, acompañada de decoloración del sistema foliar (clorosis) y retraso en el crecimiento. De acuerdo a observaciones realizadas por Saltos, 2019 así como Macías, 2019, los árboles enfermos excretan desde el fuste, exudados de color café oscuro, con fuerte olor a materia en descomposición, que indica una pudrición interna de la madera.

La enfermedad detectada en *G. arborea* parece estar asociada a microorganismos fungosos, debido a características propias de la enfermedad y presencia de signos a nivel de campo. Actualmente, el padecimiento de “marchitez vascular y pudrición del fuste”, se encuentra distribuida en casi todas las plantaciones de melina del THE, ocasionando pérdidas económicas, por la muerte de árboles en pie y la consiguiente reducción de empleos principalmente en el área rural, sin que hasta ahora se conozca su etiología, factores que la predisponen, y peor aún, mecanismos eficientes de prevención y control.

El desconocimiento sobre las causas de la enfermedad, hace necesario realizar un diagnóstico de los agentes fúngicos presentes en árboles enfermos, y describir detalladamente, la sintomatología de la enfermedad a nivel de campo en la zona central del THE, como aporte fundamental al desarrollo forestal del país, y evitar la pérdida de espacios laborales en áreas rurales (Dans, et al., 2019).

1. METODOLOGÍA

La investigación fue descriptiva-experimental, se describió la sintomatología, evaluó la incidencia (I%) y severidad de la enfermedad en cinco categorías, e identificó fitopatógenos asociados a árboles enfermos. Se delimitaron tres parcelas de 500 m., donde se diseccionaron árboles, cuyos tejidos se analizaron mediante cámara húmeda, sándwiches de zanahoria, medio de cultivo PDA.

En ese sentido, el estudio se realizó en tres plantaciones de melina, dos de las cuales estuvieron ubicadas en el cantón Valencia, provincia de Los Ríos, con edades de 2 años y 3,5 años, respectivamente, y una plantación en el cantón Pangua, provincia de Cotopaxi, con una edad de 5 años. Para las actividades de la investigación se integró a las comunidades ubicadas en el área de influencia de cada bosque, quienes designaron personas con experiencia para participar en las evaluaciones. Todas las plantaciones recibieron manejo silvicultural consistente en raleos y podas de formación, mediante el empleo de tijeras, sierras y motosierras. El manejo de malezas, se realizó de forma manual y química. La densidad inicial y al momento de las evaluaciones fueron diferentes entre las plantaciones (ver Tabla 1).

TABLA 1
Densidad inicial y densidad detectada al momento de las evaluaciones en tres plantaciones de G. arborea con diferentes edades

No.	Plantación (edad)	Densidad inicial (árboles ha ⁻¹)	Densidad al momento de evaluación (árboles ha ⁻¹)
1	2 años	1.111	1.080
2	3,5 años	1.111	840
3	5 años	1.111	940

Elaboración propia, 2020.

Las tres plantaciones presentaron variables edafoclimáticas similares, que de acuerdo a la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1967), están dentro de Bosque Húmedo Tropical (bh-T), a una altura entre 427 – 504 ms.n.m., con clima cálido y húmedo, temperatura, precipitación y humedad relativa media anual de 21.C, 2.700 mm, y 88 – 95%, respectivamente. Los suelos predominantemente son francos arcillosos.

1.1. Descripción sintomatológica, incidencia y severidad de la enfermedad

Con la participación activa de personas integrantes de las comunidades cercanas a los bosques estudiados, se delimitaron tres parcelas rectangulares de 500 m. en las plantaciones, dentro de las cuales se realizó un censo árbol por árbol, con el propósito de establecer el número total de árboles presentes, la cantidad de árboles con síntomas de enfermedad, árboles muertos y árboles aparentemente sanos. Para el cálculo se empleó la ecuación [1] usada por Belezaca, et al. (2018):

$$\text{Incidencia (\%)} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de árboles enfermos}}{\text{N}^{\circ} \text{ de árboles sanos}} \times 100 [1]$$

La severidad de la enfermedad, se estimó mediante una escala arbitraria de cinco categorías, propuesta por Salas-Rodríguez, et al. (2016) y Barros y Turpo (2020), que consideró las diferencias morfológicas visibles de ramas, hojas y fuste, y contrastó con árboles sanos (ver Tabla 2). Además, se realizó una descripción detallada de la sintomatología de la enfermedad, considerando diferencias morfológicas externas e internas entre árboles enfermos y sanos.

TABLA 2
Escala arbitraria de cinco categorías para evaluar la severidad
de la enfermedad de pudrición del fuste en *G. arborea*

Severidad (Criterio)	Síntomas
1	Árbol aparentemente sano, no hay evidencia de síntomas visibles.
2	Amarillamiento inicial de la copa (marchitez foliar evidente), el fuste puede tener pequeñas heridas necrosadas y con exudación negra en sitios diferentes a donde hubo podas, puede iniciar la aparición de rebrotes. No todos los síntomas se expresan.
3	El árbol está visiblemente enfermo. Hay lesiones tipo cancro en la corteza con indicios de pudrición, exposición y abultamiento de la corteza, exudación prominente, pérdida de más de un 50% del área foliar en un patrón progresivo, rebrotes desarrollados.
4	Afectación total del individuo, ausencia total de follaje, hay pérdida y desprendimiento evidente de ramas, aún se observan rebrotes en algunos sectores del tronco, la pudrición externa aparente alcanza un 75% del tronco, donde la zona cancerosa (cancro) se manifiesta con claridad.
5	Árbol completamente seco, podrido, la madera ya perdió completamente su valor comercial.

Elaboración propia, 2020, con base en Salas-Rodríguez, et al. (2016) y Barros y Turpo (2020).

1.2. Recolección de tejidos necrosados con participación de la comunidad

En las parcelas de todas las plantaciones estudiadas, se muestrearon 3 árboles ($7 \pm 0,5\%$) con síntomas de enfermedad, y apearon mediante un corte con motosierra sobre el nivel del suelo. Para detectar evidencias de los lugares de ingreso y diseminación del o los fitopatógenos en tejidos internos de árboles enfermos, se inspeccionó las heridas naturales y de origen antropogénico (poda de ramas, cortes de machete, entre otros) mediante cortes tangenciales y transversales en el fuste (cada 70 cm). En estas labores participaron activamente personas de las comunidades cercanas a los bosques estudiados.

Secciones de madera con evidencia de necrosis, se recolectaron, guardaron en bolsas plásticas, rotularon (fecha de recolección, procedencia, número de árbol, edad de la plantación, entre otros) y trasladaron al Laboratorio de Microbiología Ambiental y Vegetal de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), para su análisis fitopatológico.

1.3. Aislamiento e identificación de microorganismos fungos

En el laboratorio, los tejidos necróticos fueron acondicionados y analizados mediante tres estrategias metodológicas, y las evaluaciones se realizaron en conjunto con la participación de personas seleccionadas por las comunidades vinculadas al estudio:

a. Cámara húmeda: Tejidos necrosados se introdujeron en bolsas plásticas conteniendo papel humedecido, e incubaron durante 96 horas a temperatura constante ($24 \pm 2^\circ\text{C}$). Luego de la incubación y con ayuda de un estereomicroscopio, los tejidos se analizaron en busca de signos (micelio, cuerpos fructíferos, entre otros) presentes (Belezaca, Suárez y Vera, 2011; Belezaca, et al., 2018). Cuando se detectaron signos de microorganismos creciendo en la madera, estos se trasladaron al medio de cultivo papa-dextrosa-agar (PDA), más 0,2 ml de una mezcla de antibióticos (50 $\mu\text{g/ml}$ de penicilina y 25 $\mu\text{g/ml}$ de estreptomycin), bajo condiciones de asepsia (Parkinson, 1994; Suryanarayanan, 2013).

b. Siembra en sándwiches de zanahoria: Para estimular la manifestación, de microorganismos fungosos de difícil expresión inicial en medio de cultivo PDA, se realizaron siembras con segmentos de tejidos necrosados de aproximadamente 2 x 2 x 0,5 cm (largo, ancho y espesor) entre dos rodajas de zanahoria, apretados con cinta de papel, formando una especie de sándwiches (Piveta, et al., 2016; Belezaca, et al., 2018).

Por cada árbol enfermo muestreado se formaron 10 sándwiches, e introdujeron en recipientes plásticos estériles (1.000 cm.), cerraron e incubaron durante 120 horas (5 días). Después de la incubación y con asistencia de un estereomicroscopio, los sándwiches se analizaron en busca de signos (micelio, cuerpos fructíferos, entre otros) presentes sobre la zanahoria, y cuando fueron detectados, se trasladaron a medio de cultivo PDA + antibióticos, bajo condiciones de asepsia (Parkinson, 1994; Belezaca, et al., 2018).

c. Siembras directas en medio de cultivo PDA: Con un cuchillo afilado se cortaron segmentos de madera de aproximadamente 0,5 x 0,5 cm, a partir de tejidos necróticos internos de cada árbol enfermo muestreado, y sembraron cuatro pedacitos de madera necrótica en cinco placas de Petri conteniendo 10 ml de medio de cultivo PDA + 0,2 ml de una mezcla de antibióticos (50 µg/ml de penicilina y 25 µg/ml de estreptomicina) (Parkinson, 1994; Massimo, et al., 2015; Belezaca, et al., 2018), y dejó incubar durante 96 horas a 24±2.C. Pasado este tiempo, los hongos desarrollados en el medio de cultivo se identificaron con la ayuda de claves taxonómicas (Von Arx, 1981; Barnett y Hunter, 1987; Hanlin, 1992; Raja, et al., 2017).

1.4. Análisis estadísticos

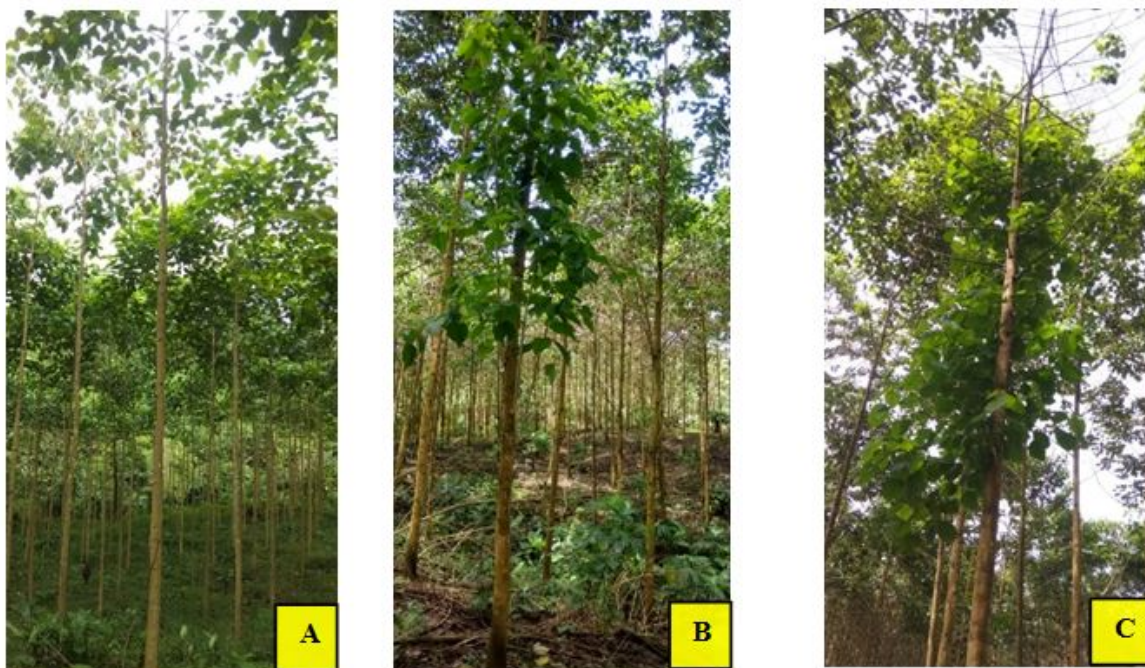
Los datos obtenidos a nivel de campo y laboratorio, se analizaron empleando herramientas de estadística descriptiva. Para establecer si existían o no diferencia estadísticas significativas en la presencia (número de colonias) de hongos aislados, los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de 95% ($P < 0.05$), previa comprobación de los supuestos de normalidad y homocedasticidad de varianzas. Posteriormente, se aplicó la prueba LSD (mínima diferencia significativa), con un nivel de significancia del 95% ($P < 0.05$). Para el efecto se empleó el paquete estadístico *SYSTAT* 11 versión para *Windows*.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1. Descripción sintomatológica de la enfermedad

Los árboles de *G. arborea* en estadios iniciales de la enfermedad, muestran una leve clorosis, y pérdida de turgencia en hojas de los extremos de ramas superiores, con características de marchitamiento. Considerando el bloqueo vascular y avance gradual de la enfermedad, los ápices de crecimiento se secan y progresivamente las ramas mueren completamente. En árboles enfermos el vigor disminuye significativamente, en comparación a árboles vecinos sanos, debido principalmente a la marchitez del área fotosintética. Una vez comprometida el área foliar, los árboles enfermos como mecanismo de supervivencia emiten numerosos brotes epicormicos en el fuste, estimulados por la necesidad de realizar fotosíntesis. Sin embargo, como el taponamiento vascular continúa impidiendo el flujo y reflujo de sustancias nutricionales, finalmente el árbol muere (ver Figura I).

FIGURA I:
Evolución de la enfermedad de marchitez vascular y pudrición del fuste en árboles de melina



Elaboración propia, 2020.

Nota: A = Primeros síntomas caracterizados por clorosis (marchitamiento) en las hojas producto del taponamiento vascular. B = Generación de múltiples brotes epicormicos en el fuste. C = Muerte del sistema foliar del árbol.

En árboles enfermos, es común observar la presencia de fluidos de tonalidad oscura, liberados desde heridas de origen antropogénico (heridas de podas, raleos, heridas naturales, entre otras), tal como se puede observar en la Figura II. De acuerdo a las observaciones y experiencias de los grupos sociales que viven cerca de los bosques, generalmente, en los árboles enfermos no se observa la presencia de insectos barrenadores de corteza y/o madera.

FIGURA II:
Presencia de fluidos de color oscuro emanados desde heridas



Elaboración propia, 2020.

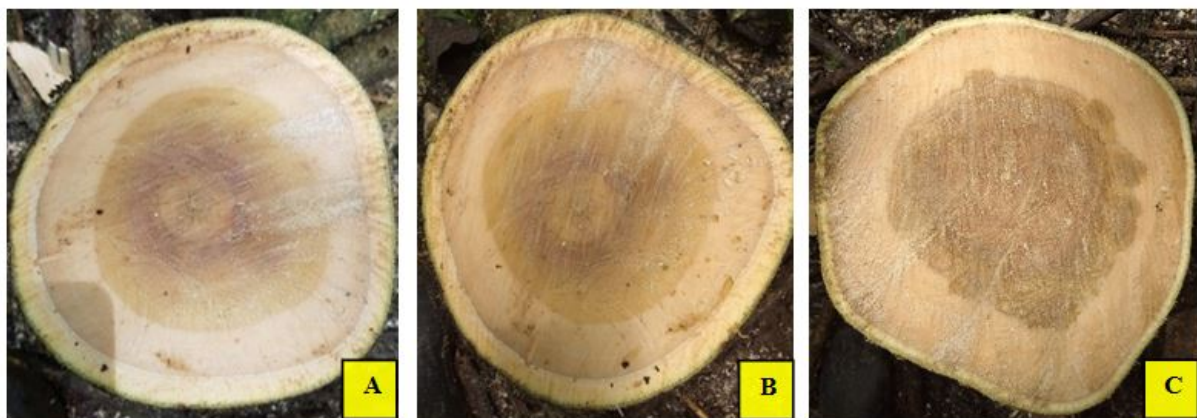
Nota: A = Heridas en el fuste causadas por malas prácticas de raleo. B y C= Heridas de podas no protegidas en el fuste. D = Herida natural por partidura de la corteza en la parte baja del fuste.

Esta enfermedad presenta una sintomatología compleja, similar a la reportada en otras especies forestales de importancia económica de la región, como en *Schizolobium parahybum* (Geldenhuis, et al., 2004; Belezaca, et al., 2011), *Acrocarpus fraxinifolius* (Belezaca, et al., 2012), que destruyeron plantaciones enteras entre las décadas de 1990 y 2000; *Tectona grandis* (Belezaca, et al., 2018), cuya enfermedad apareció a principios de la década pasada y continua eliminado miles de árboles en el THE, hasta el presente.

Al realizar cortes transversales en la base de los árboles (5 – 10 cm sobre el nivel del suelo), en la mayoría de los casos no se observaron síntomas de necrosis o taponamiento de los tejidos vasculares (ver Figura III).

FIGURA III:

Cortes transversales en la base de árboles de melina enfermos (5 – 10 cm sobre el nivel del suelo) muestran lignificación alrededor de la medula, pero ausencia de necrosis y daños vasculares



Elaboración propia, 2020.

Nota: A = árbol de 2 años de edad. B = árbol de 3.5 años de edad, C = árbol de 5 años de edad.

De igual manera, cortes transversales y longitudinales por sobre los 50 cm del nivel del suelo, evidencian los daños ocasionados por él o los patógenos en tejidos vasculares, necrosamiento y taponamiento de vasos conductores, que impiden el normal flujo y reflujo de soluciones nutritivas y fotoasimilados (ver Figura IV).

FIGURA IV:

Daños vasculares detectados mediante cortes transversal y longitudinal en árboles de melina enfermos (sobre los 50 cm del nivel del suelo), evidenciando necrosis en la albura, duramen, y taponamiento de tejidos vasculares



Elaboración propia, 2020.

Para establecer la forma de ingreso del o los fitopatógenos en tejidos xilemáticos de los árboles, se analizaron heridas naturales y de origen antropogénico. Resultó evidente que el ingreso del o los fitopatógenos, ocurre principalmente por heridas mecánicas de origen antropogénico, como podas de ramas y cortes accidentales durante las actividades de control de arvenses.

Se detectó que la mayor parte de heridas estaban cicatrizadas, sin embargo, enmascaraban el ingreso previo del patógeno, quien bajo la corteza estaba diseminado tanto en sentido radial, ascendente y descendente, colonizando la madera de albura y duramen, ocasionado necrosamiento y taponamiento de los tejidos vasculares, que finalmente, culminan con la muerte del árbol. En algunas ocasiones las heridas no se encuentran cicatrizadas, sino expuestas, desde donde emanan constantemente fluidos de color café con olor a materia orgánica en descomposición (ver Figura V).

FIGURA V:
Heridas mecánicas cicatrizadas y no cicatrizadas, como sitios de ingreso y diseminación del o los fitopatógenos asociados a la enfermedad de marchitez vascular y pudrición del fuste en árboles de melina



Elaboración propia, 2020.

Las observaciones a nivel de campo, dan cuenta que él o los fitopatógenos ingresan a los árboles de melina por heridas mecánicas, generadas mediante podas de ramas, y lesiones por herramientas afiladas (machetes) durante labores culturales, como limpieza de arvenses. Sin embargo, no hay que descartar factores abióticos como el viento, que pueden generar microlesiones por torceduras en el fuste, empleándolas como puertas de ingreso, y colonizadas fácilmente por hongos fitopatógenos (Kamgan, et al., 2010; Agler, et al., 2016).

No obstante, el comportamiento detectado en los árboles de *G. arborea* frente a la enfermedad no es uniforme; generalmente, la manifestación de los síntomas iniciales es difícil de detectar, puesto que la clorosis y pérdida de turgencia sucede cuando los tejidos xilemáticos y basculares de los árboles, están irremediablemente comprometidos y necrosados, tanto en sentido radial como tangencial, impidiendo el normal flujo de sabia (Valverde-Otárola, Arias-Aguilar y Castillo, 2018). La defoliación, muerte de yemas

de crecimiento y secamiento de ramas, son observables en estados avanzados de la enfermedad. Es común la presencia de heridas de origen natural y/o antropogénicas en el fuste, con abundante exudación de fluidos de color café oscuro, con un fuerte olor a materia orgánica en descomposición.

Es de destacar, la resiliencia que presentan varios árboles de melina, que al momento de ser evaluados no muestran ningún síntoma visible de enfermedad, sin embargo, al ser apeados y cortados transversal y longitudinalmente en el fuste, los tejidos internos están completamente necrosados en todas direcciones, lo cual dificulta identificar árboles en estadios iniciales de la enfermedad.

Por otra parte, observaciones a nivel de campo, dan cuenta de la existencia de árboles a quienes la enfermedad parece no ejercer mayores daños, lo que hace sospechar la presencia de individuos con aceptables niveles de tolerancia/resistencia frente a la enfermedad. Este comportamiento obedecería a la variabilidad genética, propia de individuos obtenidos a partir de semillas de libre polinización (Bräutigam, et al., 2013; Inza, et al., 2018), que pueden ser aprovechados en futuros programas de mejoramiento genético de la especie.

Desde la introducción de *G. arborea* en los sistemas de producción del THE a mediados de la década de 1980, no se habían reportado problemas fitosanitarios serios, pero en la última década debido al aumento de la superficie plantada con esta especie forestal, los problemas fitosanitarios son recurrentes como lo mencionan Saltos (2019) así como Macías (2019). Este comportamiento y la presencia de la enfermedad de “marchitez vascular y pudrición del fuste”, podrían estar relacionados con la masificación de plantaciones, aumento de la superficie plantada, susceptibilidad de la especie, el clima, y el impacto de las actividades antropogénicas a nivel global. Factores que, desde el punto de vista de la Patología Forestal, predisponen a los árboles a enfermarse (Haas, et al., 2011; Bostock, Pye y Roubtsova, 2014; Hughes, et al., 2015), generando un desconcierto socioeconómico.

2.2. Incidencia y severidad de la enfermedad

En la plantación de 2 años de edad, se detectaron en promedio 10 árboles enfermos, y 2 árboles muertos por parcela (500 m.), lo que permitió inferir la existencia de 200 árboles enfermos y 40 árboles muertos por ha^{-1} . En las parcelas de la plantación de 3,5 años, en promedio se encontraron 3 árboles enfermos y ningún árbol muerto, dando como resultado 60 árboles enfermos y cero árboles muertos por ha^{-1} . Mientras que, en la plantación de 5 años, se hallaron 4 árboles enfermos, y 2 árboles muertos en promedio por parcela, cuyos resultados representaron 80 árboles enfermos, y 40 árboles muertos por ha^{-1} . Estos resultados muestran que la incidencia de la enfermedad fue del 17,9%, 7,9%, y 8,5% para las plantaciones de melina de 2; 3,5 y 5 años, respectivamente (ver Tabla 3).

TABLA 3

Número de árboles aparentemente sanos, enfermos, muertos por ha^{-1} , e incidencia de la enfermedad de muerte regresiva y marchitez vascular en tres plantaciones de *G. arborea* de diferentes edades en el Trópico Húmedo Ecuatoriano

Plantación (edad)	Árboles ha^{-1} (Densidad)	Árboles aparentemente sanos ha^{-1}	Árboles enfermos ha^{-1}	Árboles muertos ha^{-1}	Incidencia (%)
2 años	1.080	$820 \pm 0,67$	$215 \pm 0,25$	$45 \pm 0,80$	$24,1 \pm 1,15$
3,5 años	840	$780 \pm 0,75$	$60 \pm 0,61$	$0,0 \pm 0,00$	$7,1 \pm 0,95$
5 años	940	$740 \pm 0,90$	$140 \pm 0,40$	$60 \pm 0,28$	$21,3 \pm 0,87$

Elaboración propia, 2020.

Nota: Valores representan el promedio de tres repeticiones con su respectivo error estándar.

La mayor parte de árboles enfermos presentes en la plantación de 2 años, se encasillaron en las escalas 2 y 4, lo cual indica que el 9,52% de los árboles se encontraron con presencia de la enfermedad, en estado de progreso medio, y el 7,14% estaban muertos en pie (escala 5). Mientras que, en la plantación de 3,5 años, los árboles enfermos se ubicaron en escala 2 con el 7,14%. En la plantación de 5 años, se detectaron árboles con diferentes niveles de la enfermedad encasillados en la escala 2, 3, 4 y 5, con 8,51%; 4,25%; 2,13% y 6,38%; respectivamente (ver Tabla 4).

TABLA 4
Severidad de la enfermedad de marchitez vascular y pudrición del fuste por ha-1, en plantaciones de G. arborea de 2; 3,5 y 5 años de edad

Plantación (edad)	Árboles ha ⁻¹ (Densidad)	No. árboles por escala				
		1	2	3	4	5
2 años	1.080	820	150	45	20	45
3,5 años	840	780	60	0	0	0
5 años	940	740	80	40	20	60

Elaboración propia, 2020.

La incidencia de la enfermedad detectada en las tres plantaciones, podría considerarse alta, y es una alerta sobre los daños que puede generar a la industria nacional de la melina, si no se consideran estrategias adecuadas de prevención y manejo de la enfermedad. Si bien, se encontraron árboles enfermos en todos los niveles de la escala propuesta, la mayor parte de los mismos se detectaron en estado inicial de la enfermedad, pero es cuestión de tiempo para que la sintomatología progrese y los árboles pasen a niveles superiores de la escala.

2.3. Variables dasométricas

El incremento diamétrico y altura de los árboles de melina, estuvo determinado por la edad de las plantaciones evaluadas. Los diámetros y alturas promedio se incrementaron con la edad, tal como se puede apreciar en la Tabla 5.

TABLA 5
Diámetros y alturas (máximos, medios y mínimos) obtenidos en tres plantaciones de G. arborea de 2; 3,5 y 5 años de edad, afectadas por la enfermedad de marchitez vascular y pudrición del fuste en el Trópico Húmedo Ecuatoriano

Plantación (edad)	Árboles ha ⁻¹ (Densidad)	No. árboles por parcela	Altura (m)		DAP (cm)			
			Máxima	Media	Mínima	Máximo	Medio	Mínimo
2 años	1.080	54	14,3	12,1 ± 0,18	9,0	18,9	12,9 ± 0,41	5,8
3,5 años	840	42	22,3	15,7 ± 0,31	15,3	25,5	20,0 ± 0,41	14,8
5 años	940	47	26,7	21,3 ± 0,49	13,3	30,4	20,5 ± 0,67	12,4

Elaboración propia, 2020.

Nota: Valores representan el promedio de tres parcelas con su respectivo error estándar.

2.4. Hongos aislados desde árboles enfermos

En el 33% de los tejidos leñosos necrosados incubados en cámara húmeda, se detectó la presencia de ascocarpos globosos de color negro, de morfología peritecial, que cubrían las áreas necróticas de la madera. Sándwiches de zanahoria, conteniendo tejidos necrosados, luego de la incubación mostraron presencia de micelio y peritecios en el 55% de los árboles enfermos.

Las siembras de pequeñas secciones de madera necrosada en medio de cultivo PDA, generaron colonias fúngicas color negro y presencia de peritecios globosos, con varios apéndices (fimbrias) en el extremo del cuello, mostrando acumulación de masas esféricas de ascosporas color amarillo pálido. Colonias puras del hongo, repicadas en medio de cultivo PDA, generaron peritecios jóvenes hialinos a las 72 horas, que van tornándose oscuros cuando maduran, hasta volverse completamente negros.

Los peritecios presentan una base globosa, cuello alargado con longitudes entre 800-900 μm , presencia de fimbrias en el extremo superior del cuello rodeando al ostiolo. Sobre las fimbrias, se agrupan masas de apariencia hialina o cremosa, constituidas por ascosporas maduras liberadas por lisis de las ascas al interior del peritecio. Las ascosporas, son unicelulares (no septadas), hialinas, tienen forma elíptica, con apariencia de sombrero, y dimensiones de 4-8 x 2-5 μm . Estas características permitieron identificar al hongo como *Ceratocystis fimbriata* Ellis & Halst. Además, se aislaron colonias fúngicas de color blanco y apariencia algodonosa, que mediante claves taxonómicas morfológicas se identificaron como *Fusarium* spp.

Asimismo, se detectaron diferencias estadísticas significativas en el número de colonias fúngicas aisladas en medio de cultivo PDA, desde tejidos necrosados de árboles enfermos. *Fusarium* spp., mostró mayor número de colonias, mientras que *C. fimbriata*, tuvo menor presencia. En la plantación de dos años de edad ($F=7,05$; $P=0.001$), se obtuvieron en promedio 15 colonias de *Fusarium* spp. y 5 de *C. fimbriata*, mientras que en árboles de 3,5 años ($F=19.3$; $P=0.000$) se obtuvo 17 y 3 colonias; y en árboles de 5 años ($F=17.4$; $P=0.000$) 6 y 14 colonias de *Fusarium* spp. y *C. fimbriata*, respectivamente (ver Tabla 6).

TABLA 6
Número de colonias de *C. fimbriata* y *Fusarium* spp. aisladas
desde árboles enfermos en tres plantaciones de *G. arborea*

Fitopatógenos	Edad de las plantaciones		
	2 años	5 años	7 años
<i>C. fimbriata</i>	5 \pm 0,35 a	3 \pm 0,27 a	6 \pm 0,21 a
<i>Fusarium</i> spp.	15 \pm 0,35 b	17 \pm 0,27 b	14 \pm 0,21 b
Total colonias	20	20	20

Elaboración propia, 2020

Nota: Valores corresponden al promedio de colonias obtenidas por cada árbol, con su respectivo error estándar.

La presencia de hongos fitopatógenos como *Fusarium* spp. y *C. fimbriata*, asociados a árboles enfermos de *G. arborea*, demuestra el riesgo que enfrentan las plantaciones de esta especie forestal en el THE, debido a que ambos microorganismos son altamente patogénicos en varias especies vegetales leñosas a nivel global. Existen evidencias que *Fusarium* spp. ocasiona daños en plantaciones de *Gmelina arborea* en Costa Rica (Arguedas-Gamboa, 2004; Murillo-Gamboa, et al., 2016), y en *Pinus radiata* en España (Hernández-Escribano, et al., 2018). Mientras que *C. fimbriata* está asociado a enfermedades en *Theobroma cacao* en Latinoamérica (Harrington, 2013), *A. fraxinifolius* y *Tectona grandis* en Ecuador (Belezaca, et al., 2012; Belezaca, et al., 2018), y *Eucaliptus* spp. en Brasil (Ferreira, et al., 2011).

Tomando en cuenta los hallazgos encontrados, así como los beneficios de tipo social que arrojan las plantaciones de melina para la producción de madera, sobre todo en renglones tales como creación de

empleos y futuros efectos en el desarrollo económico del país, resulta sumamente conveniente establecer alianzas estratégicas entre la academia y la sociedad, específicamente con comunidades aledañas a estas plantaciones, logrando la motivación en el “desarrollo de actitudes ambientales con la problemática de su entorno local” (Yangali, et al., 2021, p.387), con el fin de lograr el control y saneamiento de estas enfermedades forestales en detrimento de la estabilidad laboral, que conlleva a una mejor calidad de vida, así como en función del desarrollo forestal ecuatoriano.

CONCLUSIONES

La participación de las comunidades que habitan cerca de los bosques de *G. arborea* en el Trópico Húmedo del Ecuador, fue importante para la ejecución del presente proyecto, debido al conocimiento de su área geográfica y experiencia en la detección de síntomas en árboles enfermos. Lo cual fortalece la interacción academia-sociedad como una alianza estratégica para el desarrollo forestal ecuatoriano.

Por otra parte, pese a haberse encontrado dos hongos fitopatógenos (*Fusarium* spp. y *C. fimbriata*) asociados a árboles enfermos de *G. arborea*, aún falta confirmar la etiología de la enfermedad de marchitez vascular y pudrición del fuste, y determinar su patogenicidad mediante los Postulados de Koch, lo que podría representar una línea de investigación en el futuro.

Finalmente, el manejo forestal debe orientarse de tal manera que las transformaciones (inevitables y necesarias para producir los recursos o insumos que requiere la sociedad) permitan mantener bosques sanos, que sean ecológica, social y económicamente sustentables, y que puedan seguir generando a largo plazo bienes y servicios, que contribuyan al desarrollo del país. Por tanto, es indispensable que la población adopte una actitud positiva y, más aún, dinámica frente a la protección de los recursos forestales de los que depende su mercado laboral y lo que desempeña en la mejora de su bienestar y en el desarrollo de la economía local.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agler, M. T., Ruhe, J., Kroll, S., Morhenn, C., Kim, S-T., Weigel, D., y Kemel, E. M. (2016). Microbial hub taxa link host and abiotic factors to plant microbiome variation. *PLoS Biology*, 14(1), e1002352. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002352>
- Arguedas-Gamboa, M. (2004). Problemas fitosanitarios de la melina (*Gmelina arborea* (Roxb)) en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 1(2), 75-83.
- Arguedas-Gamboa, M., Rodríguez-Solís, M., Moya-Roque, R., y Berrocal-Jiménez, A. (2018). *Gmelina arborea* “death disease” in fast-growth plantations: Effects of soil and climatic conditions on severity and incidence and its implications for wood quality. *Forest Systems Journal*, 27(1), 1-12.
- Barnett, H. L., y Hunter, B. B. (1987). *Illustrated genera of imperfect fungi*. Macmillan Publishing Company.
- Barros, C., y Turpo, O. (2020). La formación en investigación y su incidencia en la producción científica del profesorado de educación de una universidad pública de Ecuador. *Publicaciones*, 50(2), 167–185. <https://doi.org/10.30827/publicaciones.v50i2.13952>
- Belezaca, C., Mora, W., Prieto, O., Cedeño, P., Moran, J., y Valenzuela, A. (Octubre de 2012). Hongos asociados a problemas fitosanitarios emergente en especies forestales de importancia económica del Trópico Húmedo Ecuatoriano. *XXI Congreso de la Sociedad Chilena de Fitopatología*. Puerto Varas, Chile.
- Belezaca, C., Solano-Apuntes, E., López-Tobar, R., Baque-Mite, R., Ávila-Loor, A., Cándor-Jiménez, M., Bohórquez-Barros, T., y Dueñas-Alvarado, D. (2018). Hongos fitopatógenos asociados a la enfermedad de marchitez vascular y muerte regresiva en plantaciones de *Tectona grandis* L.f. (teca) en el Trópico Húmedo Ecuatoriano. *Boletín Micológico*, 33(2), 17-29. <https://doi.org/10.22370/bolmicol.2018.33.2.1410>

- Belezaca, C., Suárez, C., y Vera, D. (2011). Hongos fitopatógenos asociados a la enfermedad de muerte regresiva y pudrición del fuste de pachaco (*Schizolobium parahybum*) en el Trópico Húmedo Ecuatoriano. *Boletín Micológico*, 26, 16-22.
- Bostock, R. M., Pye, M. F., y Roubtsova, T. V. (2014). Predisposition in plant disease: exploiting the nexus in abiotic and biotic stress perception and response. *Annual Review of Phytopathology*, 52, 517-549.
- Bräutigam, K., Vining, K. J., Lafon - Placette, C., Fossdal, C. G., Mirouze, M., Gutiérrez, J., Fluch, S., Fernández, M., Guevara, M. A., Abarca, D., Johnsen, O., Mauri, S., Strauss, S. H., Campbell, M. M., Rohde, A., Díaz-Sala, A., y Cervera, M-T. (2013). Epigenetic regulation of adaptive responses of forest tree species to the environment. *Ecology and Evolution*, 3(2), 399-415. <https://doi.org/10.1002/ece3.461>
- Dans, I., González-Sanmamed, M., y Muñoz-Carril, P.C. (2019). Redes sociales, adolescencia y familia: Desafíos y oportunidades. *Publicaciones*, 49(2), 117-132. <https://doi.org/10.30827/publicaciones.v49i2.8527>
- Ferreira, M. A., Harrington, T. C., Alfenas, A. C., y Mizubuti, E. S. G. (2011). Movement of genotypes of *Ceratocystis fimbriata* within and among *Eucalyptus* plantations in Brazil. *Phytopathology*, 101(8), 1005-1012. <https://doi.org/10.1094/PHTO-01-11-0015>
- Geldenhuis, M. M., Roux, J., Montenegro, F., De Beer, Z. W., Wingfield, M. J., y Wingfield, B. D. (2004). Identification and pathogenicity of *Graphium* and *Pesotum* species from machete wounds on *Schizolobium parahybum* in Ecuador. *Fungal Diversity*, 15, 137-151.
- Guillén, J. C., Menéndez, F. G., y Moreira, T. K. (2019). Migración: Como fenómeno social vulnerable y salvaguarda de los derechos humanos. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, XXV(E-1), 281-294.
- Gutiérrez, J. M., Romero, J., Arias, S. R., y Briones, X. F. (2020). Migración: Contexto, impacto y desafío. Una reflexión teórica. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, XXVI(2), 299-313.
- Haas, S. E., Hooten, M. B., Rizzo, D. M., y Meentemeyer, R. K. (2011). Forest species diversity reduces disease risk in a generalist plant pathogen invasion. *Ecology Letters*, 14(11), 1108-1116. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01679.x>
- Hanlin, R. T. (1992). *Illustrated genera of Ascomycetes*. Amer Phytopathological Society.
- Harrington, T. C. (2013). *Ceratocystis* diseases. In P. Gonthier y G. Nicolotti (Eds.), *Infectious forest diseases* (pp. 230-255). CABI.
- Hernández-Escribano, L., Iturrutxa, E., Aragonés, A., Mesanza, N., Berbegal, M., Raposo, R., y Elvira-Recuenco, M. (2018). Root infection of canker pathogens, *Fusarium circinatum* and *Diplodia sapinea*, in asymptomatic trees in *Pinus radiata* and *Pinus pinaster* plantations. *Forest*, 9(3), 128. <https://doi.org/10.3390/f9030128>
- Herrera, L., y Buitrago, R. E. (2010). El proyecto educativo institucional en el contexto del sector rural colombiano. *Publicaciones*, 40, 125-146.
- Holdridge, L. R. (1967). *Life zone ecology*. Tropical Science Center.
- Hughes, M. A., Smith, J. A., Ploetz, R. C., Kendra, P. E., Mayfield, A., Hanula, J., Hulcr, J., Stelinski, L. L., Cameron, S., Riggins, J. J., Carrillo, D., Rabaglia, R., y Eickwort, J. (2015). Recovery plan for laurel wilt on redbay and other forest species caused by *Raffaelea lauricola* and disseminated by *Xyleborus glabratus*. *Plant Health Progress*, 16(4), 173-210. <https://doi.org/10.1094/PHP-RP-15-0017>
- Inza, M. V., Aguirre, N. C., Torales, S. L., Pahr, N. M., Fassola, H. E., Fornes, L. F., y Zelener, N. (2018). Genetic variability of *Araucaria angustifolia* in the Argentinean Parana Forest and implications for management and conservation. *Trees*, 32, 1135-1146. <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1701-4>
- Kamgan, G., Solheim, H., De Beer, Z. W., Grobbelaar, J. W., Jacobs, K., Winfield, M. J. y Roux, J. (2010). *Ophiostoma* species, including *Ophiostomaborealis* sp. nov., infecting wounds of native broad-leaved trees in Norway. *Cryptogamie Mycologie*, 31(3), 285-303.
- López, J. L., y Sarmiento, G. (2019). Determinants of the wage gap in Ecuador: Analysis under a minceriano model related to dummy aggregate variables. *Espiraes*, 3(27), 70-84. <https://doi.org/10.31876/er.v3i27.556>
- Macías, M. L. (2019). *Determinación del agente causal de la enfermedad de marchitez vascular y pudrición del fuste de Gmelina arborea Roxb. en el Trópico Húmedo Ecuatoriano* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

- Massimo, N. C., Nandi, M. M., Arendt, K. R., Wilch, m. H., Riddle, J. M., Furr, S. H., Steen, C., U'Ren, J. M., Sandberg, D. C., y Arnold, A. E. (2015). Fungal endophytes in aboveground tissues of desert plants: Infrequent in culture, but highly diverse and distinctive symbionts. *Microbial Ecology*, 70, 61-76. <https://doi.org/10.1007/s00248-014-0563-6>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca - MAGAP (2016). Programa de incentivos para la reforestación con fines comerciales. MAGAP. <http://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2014/06/SPF-FOLLETO-PIF-2014-050614.pdf>
- Murillo-Gamboa, O., Salas-Rodríguez, A., Murillo-Cruz, R., y Ávila-Arias, C. (2016). Tasa de avance de la pudrición del tronco en melina *Gmelina arborea* Roxb. y posibilidades de manejo. *Revista Forestal Mesoamericana Kuru*, 13(32), 40-50. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v0i0.2551>
- Parkinson, D. (1994). Filamentous fungi. In R. W. Weaver, S. Angle, P. Bottomley, D. Bezdicsek, S. Smith, A. Tabatabai y A. Wollum (Eds), *Methods of soil analysis: Part 2 microbiological and biochemical properties*, 5.2 (pp. 329-350). Soil Science Society of America, Inc. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.2.c17>
- Piveta, G., Ferreira, M. A., Muniz, M. F. B., Valdetaro, D., Valdebenito-Sanhueza, R., Harrington, T., y Alfenas, A. C. (2016). *Ceratocystis fimbriata* on kiwifruit (*Actinidia* spp.) in Brazil. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 44(1), 13-24. <https://doi.org/10.1080/01140671.2016.1143020>
- Proaño, S. A., Quiñonez, E. S., Molina, C. J., y Mejía, M. O. (2019). Desarrollo económico local en Ecuador: Relación entre producto interno bruto y sectores económicos. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, XXV(E-1), 82-98.
- Raja, H. A., Miller, A. N., Pearce, C. J., y Oberlies, N. H. (2017). Fungal identification using molecular tools: A primer for the natural products research community. *Journal of Natural Products*, 80, 756-770. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.6b01085>
- Rojas, F., Arias, D., Moya, R., Meza, A., Murillo, O., y Arguedas, M. (2004). *Manual para productores de melina Gmelina arborea en Costa Rica*. <http://www.fonafifo.go.cr/media/1334/manual-para-productores-de-melina.pdf>
- Salas-Rodríguez, A., Murillo-Gamboa, O., Murillo-Cruz, R., Ávila-Arias, C., y Mata-Granados, X. (2016). Evaluación de la severidad de la pudrición del tronco de *Gmelina arborea* (Roxb). *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 13(32), 1-10. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v0i0.2547>
- Salto, R. R. (2019). *Identificación de microorganismos fungosos asociados a la enfermedad de marchitez vascular y pudrición del fuste de Gmelina arborea Roxb. (Melina) en la zona central del Trópico Húmedo Ecuatoriano* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Los Ríos, Ecuador.
- Suryanarayanan, T. S. (2013). Endophyte research: Going beyond isolation and metabolite documentation. *Fungal Ecology*, 6(6), 561-568. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2013.09.007>
- Terhonen, E., Blumenstein, K., Kovalchuk, A., y Asiegbu, F. O. (2019). Forest tree microbiomes and associated fungal endophytes: Functional roles and impact on forest health. *Forests*, 10(1), 42. <https://doi.org/10.3390/f10010042>
- Valverde-Otárola, J. C., Arias-Aguilar, D., y Castillo, M. (2018). Estimación del movimiento de flujo de savia en fustes y ramas de diferente grosor de *Samanea saman* Jacq. *Espirales*, 2(23), 59-68.
- Von Arx, J. A. (1981). *The genera of fungi sporulating in pure culture*. J. Cramer
- Yangali, J. S., Vásquez, M., Huaita, D., y Baldeón, M. (2021). Comportamiento ecológico y cultura ambiental, fomentada mediante la educación virtual en estudiantes de Lima-Perú. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, XXVII(1), 385-398.
- Moya, R., Araya, L., y Vilchez, B. (2008). Variation in the pith parameter of *Gmelina arborea* trees from fast growth plantations in Costa Rica. *Annals of Forest Science*, 65, 612. <https://doi.org/10.1051/forest:2008045>