

RESUMEN

La conservación y uso sustentable de los bosques tiene una serie de beneficios ambientales, sociales y económicos directamente relacionados con el bienestar humano. Este concepto, ya ampliamente reconocido en el mundo, ha dado origen a diversos tratados internacionales destinados a conservar la biodiversidad forestal global. Una de estas iniciativas es la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES).

Sin embargo, a pesar de los esfuerzos regulatorios, los índices de deforestación mundial muestran que desde el comienzo de la civilización se ha perdido alrededor del 46% de los bosques naturales, y que la tasa de deforestación se mantiene en un orden de 15 billones de árboles talados cada año. La tala ilegal y los delitos forestales inciden relevantemente en esta deforestación y representan unas de las mayores preocupaciones de los países con grandes masas boscosas. Un reciente informe del Banco Mundial afirma que los esfuerzos para frenar los delitos forestales, centrados principalmente en acciones preventivas, no han sido suficientes para detener la rápida desaparición de los bosques naturales, concluyendo que se necesitan nuevas ideas y estrategias para una preservación más efectiva de los bosques.

En tal contexto, el objetivo del presente artículo es mostrar algunas herramientas tecnológicas contemporáneas e innovadoras, que podrían contribuir complementariamente a la fiscalización de la tala ilegal y los delitos forestales; entre tales tecnologías se describen y comentan las potenciales aplicaciones de herramientas genéticas y de química instrumental, complementadas con tecnologías de información y comunicación (TIC).

Palabras clave: Herramientas tecnológicas, control, tala ilegal

SUMMARY

Conservation and sustainable use of forests have several environmental, social and economic benefits directly related to the men welfare. This concept, already worldwide recognized, has driven various international treaties to preserve the global forest biodiversity. One of these initiatives is the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES).

However, despite regulatory efforts, global deforestation rates show that since the beginning the civilization has lost about 46% of natural forests, and that the deforestation rate is held in the order of 15 billion trees felled each year. Illegal felling and forest crimes relevantly affect this deforestation and represent one of the biggest concerns of countries with large forest areas. A recent World Bank report says that efforts to curb forest crime, focusing mainly on preventive actions, have not been enough to stop the rapid natural forests disappearance, concluding that new ideas and strategies for more effective forests preservation are needed.

In this context, the objective of this article is to show some contemporary and innovative technological tools that could complementarily contribute to control illegal logging and forest crimes. Technologies as genetic tools and instrumental chemistry, supplemented by information and communication technologies (ICT) are described and discussed about its potential applications in this matter.

Keywords: Technology tools, control, illegal felling.

INTRODUCCIÓN

La conservación y uso sustentable de los bosques naturales tiene una serie de beneficios ambientales, sociales y económicos cada vez más valorados en el mundo. La purificación del agua y aire, la atenuación del clima local, la regulación de los ciclos biogeoquímicos, el suministro de hábitat para animales, y la belleza escénica, entre otros, constituyen servicios ecosistémicos del bosque que contribuyen a mantener o mejorar la calidad de vida del hombre (Noss, 1990; Leathwick y Austin, 2001; Riginos y Grace, 2008; FAO, 2014; Crowther *et al.*, 2015; ONU, 2015).

Lo anterior deja en evidencia la gran importancia de los bosques naturales para el equilibrio de la vida humana y ha confirmado el interés por la ratificación y suscripción de diferentes tratados y acuerdos internacionales en relación al uso y manejo sostenible de tales bosques (una síntesis de tales acuerdos puede consultarse en Anexo 1). Sin embargo, a pesar de los múltiples acuerdos y regulaciones, la deforestación y la tala ilegal continúan siendo un problema en el mundo, requiriéndose de herramientas y políticas más efectivas para controlar esta situación. En tal sentido, el objetivo principal del presente apunte es mostrar algunas herramientas tecnológicas desarrolladas en el último tiempo, que pueden contribuir complementariamente a la fiscalización de la tala ilegal y delitos forestales, con el fin de mitigar esta problemática actual.

DEFORESTACIÓN, TALA ILEGAL Y BIODIVERSIDAD

En un estudio reciente realizado por Crowther *et al.* (2015), en el cual participaron investigadores forestales de diferentes partes del mundo, incluido Chile, se estimó mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) la densidad aproximada actual de árboles a una escala global, concluyendo que desde el comienzo de la civilización humana se ha perdido alrededor del 46% de los bosques naturales, y que la tasa de deforestación se mantiene en un orden de 15 billones de árboles cortados cada año.

Diversos factores inciden en la deforestación mundial y la importancia relativa de cada uno de ellos varía entre continentes, países y tipos de bosque (ver FAO, 2015 para una revisión de tales factores). No obstante, existe consenso científico en que el principal factor de la deforestación mundial a través de la historia es el crecimiento de la población humana (necesidades de combustible y la conversión de áreas forestales en pastizales para su uso ganadero y campos de cultivo).

Sumado a lo anterior, hoy en día las actividades ilícitas asociadas a los bosques naturales, como la tala ilegal y los delitos forestales, también están contribuyendo a la deforestación mundial, especialmente en zonas tropicales, siendo recientemente unas de las mayores preocupaciones de los países con grandes masas boscosas, ya que no solo presenta un problema de dimensión ambiental, sino también involucra factores económico y sociales (Nelleman, 2012; Athanasiadis *et al.*, 2013; Roberedo, 2013).

Existe una gran confusión con respecto a la definición y el alcance de la tala ilegal de madera y los delitos forestales, debido a que abarcan un amplio espectro de actividades; desde las diversas prácticas de extracción ilegal, hasta actividades de contrabando, comercio ilegal, fijación ilegal de precios, clasificación ilegal de maderas, comercio no documentado y comercio ilegal de especies incluidas en los apéndices de CITES.

La tala ilegal y los delitos forestales amenazan la existencia de numerosas especies de plantas y animales. Las actividades ilegales tienen un impacto particularmente devastador sobre la biodiversidad cuando afecta a bosques vírgenes, incluyendo áreas protegidas que generalmente contienen especies de maderas nobles de alto valor, que ya han sido agotadas en otras áreas. Cuanto más amenazada está una especie, mayor es el valor comercial de los individuos remanentes de esta, por lo que aumenta el incentivo para incrementar las actividades ilícitas. El hecho de que parte del comercio de fauna y flora silvestres esté regulado, y en algunos casos prohibido, brinda oportunidades para sortear las leyes y reglamentaciones pertinentes a través de la utilización de documentos falsos.

La mayor parte de las iniciativas internacionales de lucha contra esta problemática están diseñadas para reducir las actividades ilícitas a través de la promoción de los acuerdos comerciales voluntarios o para promover prácticas sostenibles. Para esto se ha creado una serie de programas y regímenes de certificación, con el fin de reducir la tala ilegal. Todos estos programas, tales como los acuerdos de comercio voluntarios, incluidos los Acuerdos Voluntarios de Asociación (AVA), el Plan de Acción sobre la Aplicación de las Leyes, Gobernanza y Comercio Forestales (*Forest Law Enforcement, Governance and Trade*; FLEGT) o el certificado del Consejo de Administración Forestal (*Forest Stewardship Council*; FSC), han conseguido reunir a todas las partes interesadas y generar incentivos para las exportaciones legales y para una gestión forestal más sostenible.

Sin embargo, aunque estos tratados han tenido buenos resultados en cuanto a mercados internacionales (Ochieng *et al.*, 2013; Valbuena *et al.*, 2013), el mercado interno aun parece ser muy informal, esto debido a que el mayor porcentaje de productos certificados pertenece a grandes productores forestales y/o empresas privadas que logran finalizar el proceso de certificación, lo que podría estar dado por dos factores principales; i) Se trata de plantaciones grandes dirigidas a mercados de exportación que requieren un sello verde; ii) No les resulta elevado pagar el costo de la certificación, especialmente por la escala de producción en la que se encuentran.

SITUACION EN CHILE

En Chile la tala ilegal y los delitos forestales tienen mayor incidencia en la parte centro-sur del país, donde se encuentran las mayores masas boscosas, esto se refleja en la distribución espacial de cortas no autorizadas de bosque nativo, en donde desde la región del Biobío a la región de Magallanes y Antártica se concentra aproximadamente el 88,5% de los ilícitos, de igual manera el número de denuncias interpuestas por terceros por posibles infracciones a la legislación vigente, se concentra en estas regiones con un 74,14 % durante el periodo de Enero-Diciembre del 2011 (CONAF, 2011).

Según las cifras que maneja la Corporación Nacional Forestal (CONAF), el año 2010 se detectaron 625 cortas ilegales en una superficie de 1.542 hectáreas, en 2011 estas cifras disminuyeron a 588, dañando a 1.457 hectáreas y en 2012, en tanto, se registraron 592 cortas en una superficie de 1.337 hectáreas (Diario La Tercera 13 de agosto 2013, 16-17pp).

Las investigaciones efectuadas en contra de tala ilegal de bosque nativo albergan los mayores porcentajes en las regiones de Aysén y Los Ríos, con un 62% y 32% del total del país, por otra parte la región Metropolitana y la de Arica-Parinacota, muestran bajos índices 5% y 1% en donde no se efectuó tala, sino más bien delitos forestales de venta y compra de productos madereros obtenidos de la tala ilegal (BIDEMA, 2015).

MARCO LEGAL Y NORMATIVA DE FISCALIZACIÓN EN CHILE

En lo que respecta al marco legal en Chile en materia forestal, son dos las principales normas vigentes. En primer lugar el Decreto Ley N° 701 de 1974, que fija el régimen legal de los terrenos forestales o preferentemente aptos para la forestación, y la Ley 20.283 de 2008, sobre recuperación del bosque nativo y fomento forestal.

Ambos cuerpos legales entregan competencia fiscalizadora a la Corporación Nacional Forestal (CONAF), lo cual se encuentra en concordancia con la ley 18.348 de 1984 que creó dicha Corporación. En efecto, el art. 4 de dicho cuerpo legal indica, de un modo general, que la CONAF tendrá como funciones y atribuciones: j) N°4.- *“Aplicación, fiscalización y control del cumplimiento de las normas legales y reglamentarias sobre protección de los recursos suelo y agua, fauna y flora silvestre; plantación y explotación de especies arbóreas o arbustivas forestales; prevención, control y combate de incendios forestales, y uso del fuego en predios rústicos.”*

Decreto Ley 701 de 1974¹⁸

La administración, fiscalización y control de todo el sistema de fomento forestal establecido en esta norma legal le corresponde a la Corporación Nacional Forestal. Asimismo, su art. 24 entrega también facultades a Carabineros de Chile en esta materia.

Así, de acuerdo a esta norma, corresponde a CONAF, entre varias otras competencias:

- a. Pronunciarse sobre las solicitudes de Plan de Manejo de Reforestación o de Corrección (art. 8) y de Corta o Explotación y Reforestación (arts. 21 y 22).
- b. Pronunciarse sobre las solicitudes de Declaración de Bosques Nativos y de Bosques de Protección (art. 13).
- c. Determinar si denuncia al propietario o a quién efectúa la corta o explotación sin plan de manejo (art.21).
- d. Ordenar la inmediata paralización de faenas en el caso de explotación ilegal de los bosques, pudiendo solicitar el auxilio de la fuerza pública en caso necesario (art. 21).
- e. Formular las denuncias a los Juzgados de Policía Local en caso de infracciones al Decreto Ley 701, el cual aplicará las sanciones y multas previstas en el mismo cuerpo legal (art. 24).
- f. Levantar Actas de las infracciones detectadas. Los controles podrán realizarse mediante fotografía aérea o sensores remotos, sin perjuicio de otros medios de prueba (art. 24 bis).
- g. Ingresar a los predios o centros de acopio para los efectos de controlar el cumplimiento de la ley, previa autorización del administrador y en caso de negativa, solicitar al Juez competente el auxilio de la fuerza pública (art. 24 bis B).
- h. Fiscalizar el cumplimiento de los planes de manejo (art. 31).

En cuanto a los medios de prueba, los controles que efectuare la CONAF para verificar el cumplimiento del Decreto Ley, podrán realizarse personalmente mediante inspecciones de sus funcionarios o utilizando fotografías aéreas o sensores remotos, sin perjuicio de cualquier otro medio de prueba, de acuerdo a lo previsto en el art. 24 bis.

Ley 20.283 de 2008

La Ley sobre Recuperación del Bosque Nativo y de Fomento Forestal recoge de una manera general el mismo sistema de administración forestal, de regulación de la corta de bosques y la obligación de reforestar, de fiscalización y de sanción, que el contenido en el D.L. 701 de 1974. Aunque, dada su naturaleza más específica le otorga a la Corporación Nacional Forestal, otras importantes facultades de certificación y fiscalización en diversas materias de fomento y protección de árboles, arbustos y bosques nativos, estableciendo asimismo, un nuevo sistema de infracciones e ilícitos penales, con sus correspondientes sanciones.

Así, particularmente en su artículo 5, la ley establece diversas obligaciones a cumplir, tales como:

- a. La obligatoriedad de contar con un plan de manejo aprobado por la CONAF, para toda acción de corta de bosque nativo, cualquiera sea el tipo de terreno en que este se encuentre.
- b. Cumplir las órdenes técnicas del plan de manejo aprobado.

¹⁸ El Decreto Ley 2565, de 1979, del Ministerio de Agricultura, sustituyó el Decreto Ley 701 de 1974.

- c. Regenerar o reforestar una superficie, a lo menos igual a la cortada, en las condiciones prevista en el plan de manejo.
- d. Acreditar la tenencia legal o transporte de maderas de bosque nativo.

En cuanto a la fiscalización, la Ley de Bosque nativo y su Reglamento General entregan esta labor a la Corporación Nacional Forestal respecto del cumplimiento de los planes de manejo, planes de trabajo y demás normas contenidas en la ley.

De acuerdo al art. 47 de la Ley, detectada una infracción los funcionarios deben levantar un Acta, que debe ser firmada por el presunto infractor y el funcionario de CONAF que tenga carácter de ministro de fe o por Carabineros de Chile.

Si la infracción a la Ley consiste en una corta no autorizada, el funcionario fiscalizador de CONAF debe entregar un Informe Técnico que contenga, a lo menos, la ubicación georreferenciada del lugar, las especies cortadas, número de ejemplares, estado o grado de la explotación o elaboración, indicar si las los productos o especies se encuentran en el lugar y una valorización comercial estimada de esos productos.

La CONAF podrá solicitar al Tribunal competente la paralización de las faenas no autorizadas, solicitando el auxilio de la fuerza pública, si fuere necesario.

Con el Acta de Infracción, el respectivo Director Regional de CONAF efectuará la correspondiente denuncia ante el Tribunal competente o el Ministerio Público.

La Ley de Bosque Nativo contempla 3 tipos de sanciones:

1. Multas en dinero
2. Decomiso o comiso
3. Penas privativas de libertad

La aplicación de una u otra sanción dependerá del tipo de infracción cometida, de la existencia o no de un plan de manejo, del monto económico comprometido y/o de la categoría de conservación de la especie comprometida en la infracción.

Es del caso señalar que, además de la legislación indicada, existe también la Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente y su reglamento, que pudiera tener aplicación en caso que producto de la intervención o afectación de un bosque nativo se cause un daño ambiental, lo cual dará lugar al nacimiento de dos acciones civiles contra el autor del daño. La primera de ellas, denominada "acción ambiental o de reparación", que tiene por objeto la reparación del medio ambiente dañado o de uno o más de sus componentes, y; la segunda de ellas, denominada "acción de indemnización de perjuicios", que tiene por objeto la reparación de los perjuicios económicos derivados del daño ambiental.

Por último, en el caso de comercio internacional, las especies en particular alerce (*Fitzroya cupressoides*), araucaria (*Araucaria araucana*) y ciprés de las Guaitecas (*Pilgerodendron uviferum*), se rigen bajo lo establecido en el Decreto Supremo de 1974 que incluye a estas dentro de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), el cual establece a la CONAF como autoridad administrativa, al Instituto Forestal (INFOR) como autoridad científica, y a la Policía de Investigaciones de Chile (PDI) y Carabineros de Chile como autoridades de observancia, los cuales en conjunto cumplen la labor de regular, evaluar y fiscalizar el comercio internacional de las especies incluidas en CITES.

MODELO DE FISCALIZACIÓN

Actualmente la CONAF, en su rol de fiscalización, emplea verificaciones en terreno, para cortas no autorizadas (sin plan de manejo), esta actividad es llevada a cabo con personal de

Carabineros de Chile, para lo cual se pueden realizar controles mediante fotografías aéreas o sensores remotos, sin perjuicio de otros medios de prueba. De acuerdo a lo previsto en el art. 58 de Ley 20.283 exige que las personas naturales o jurídicas que participen en cualquier etapa del proceso de explotación del bosque nativo deban acreditar, a requerimiento de la autoridad correspondiente, que los productos primarios del bosque nativo que se encuentren en su poder provienen de una corta autorizada por CONAF.

Para verificaciones en la trazabilidad, se establecen controles carreteros usando como medio de verificación la Guía de Libre Tránsito primaria (de origen a primer destino) o secundaria (de primer destino a otros destinos), sistema de marcaje alfanumérico de los productos previamente autorizados por la CONAF (en caso de alerce) y la fiscalización en centros de acopios o transformación mediante la verificación del plan de manejo y guía libre tránsito. La Guía de Libre Tránsito es el documento exigido para acreditar que los productos primarios de bosque nativo que sean transportados, copiados o que se encuentren en poder de personas naturales o jurídicas, provienen de una corta autorizada por CONAF. Para ello, CONAF pone a disposición las Guías correspondientes al plan de manejo que haya sido aprobado, de acuerdo a un formato pre establecido. Sin perjuicio de lo recién indicado, un informe reciente del Banco Mundial afirma que a pesar de los esfuerzos para frenar los delitos forestales, centrados principalmente en las acciones preventivas, no han detenido la rápida desaparición de los árboles de edad madura del mundo. Se necesitan nuevas ideas y estrategias para preservar lo que queda de los bosques (Goncalves *et al.*, 2012). A continuación se muestran algunas herramientas tecnológicas contemporáneas e innovadoras, que podrían contribuir complementariamente a la fiscalización de la tala ilegal y delitos forestales.

HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS COMPLEMENTARIAS

Herramientas Visuales (Microscopía y Macroscopía)

La identificación de madera ha sido tradicionalmente llevada a cabo mediante el examen por parte de especialistas en anatomía y morfología de la madera, los cuales examinan la estructura interna y las características macroscópicas (organolépticas) para la identificación (Wheeler *et al.*, 1989; Richter *et al.*, 2004). Sin embargo, estas herramientas poseen ciertas limitaciones debido a que se requiere de personal altamente capacitado para poder diferenciar microscópicamente, por otra parte las características macroscópicas son inestables en el tiempo, lo que puede conducir a errores. Este punto se puede mejorar notablemente mediante el empleo de Tecnologías de la Información y Comunicación.

Por otra parte, existen ciertas innovaciones tecnológicas que han surgido en el último tiempo con el objetivo de mejorar estas metodologías tradicionales, algunos *softwares* de reconocimiento de imágenes tales como “Machine Vision®”, desarrollado por Hermanson y Wiedenhoef (2011), “Visual System Development Platform” desarrollado por Khalid *et al.* (2008) y “Mask Matching Imagen” por Wang *et al.*, 2013, los cuales a través de sofisticados métodos de captura de imágenes y algoritmos de clasificación, pueden facilitar la identificación de maderas, sobre todo en especies estrechamente relacionadas, que a menudo son difíciles de diferenciar mediante metodologías tradicionales.

Dentro de sus ventajas sobresalen el nivel técnico y velocidad de los procesos, ya que los equipos actualmente son portátiles (solo “Machine Vision®”), en tiempo real y no necesitan personal técnico especializado, disminuyendo el problema de la especialización. Su uso por tanto se puede extender a servicios de aduana, centros de acopio o fiscalizaciones en rutas. Sin embargo, todos necesitan calibraciones previas para elaborar bases de datos, las cuales servirán como contrastante al momento de su uso.

En el caso de Machine Vision® los algoritmos usados para generar esta base de datos aún están bajo el derecho de la patente. El sistema operativo y software es de código abierto, por lo que se puede adquirir gratuitamente, el equipo se puede adquirir bajo contrato, como cualquier equipo. El prototipo del sistema ha sido usado en USA, Brasil, Alemania, Reino Unido y China.

Herramientas Genéticas

Las herramientas genéticas, específicamente los marcadores genéticos, han sido reportados como una innovadora técnica ampliamente utilizada en la criminología y medicina forense. En el caso de delitos con especies vegetales, algunos investigadores han demostrado su efectividad para identificar y/o verificar el origen de material vegetal (Glaubitz y Moran, 2000; Deguilloux *et al.*, 2003; 2004; Finkeldey *et al.*, 2010). Los marcadores moleculares corresponden a secuencias genéticas localizadas en sitios específicos del genoma, que presentan una gran variación (polimorfismo) a nivel intra e interpoblacional. Estas variantes genéticas, conocidas como alelos, funcionan como una verdadera huella genética (*fingerprints*) dentro del genoma y pueden ser detectados fácilmente mediante técnicas de biología molecular. Con ello se permite la diferenciación de especies (Byrne *et al.*, 2013; Narum *et al.*, 2013) y lo más significativo, podría ayudar a determinar regiones de procedencia de los productos forestales madereros investigados (Finkeldey *et al.*, 2010; Hasbún *et al.*, 2016).

Si bien en el pasado el uso de marcadores moleculares solía ser posible solo para un conjunto *a priori* de candidatos o para un conjunto limitado de *loci* al azar, debido al número restringido de marcadores disponibles y el costo de la realización de los ensayos (Martín *et al.*, 2013), las nuevas técnicas moleculares permiten hoy la evaluación de una gran cantidad de variables alélicas a un costo y tiempo reducido, y sin la necesidad de datos genéticos previos (Elshire *et al.*, 2011). Dado que es una técnica genética, no es necesario disponer información de la altura, edad o estado del material vegetal, aunque tenerla puede ser ventajoso. Es por eso que esta técnica sobresale sobre el resto por su alta capacidad resolutive (Nowakowska, 2011).

Dentro de sus desventajas, están el tiempo y el personal especializado que se requiere, lo que se puede compensar por su alto grado de exactitud. Su uso se justifica en investigaciones post-tala, donde podría dilucidar el origen del material incautado permitiendo el seguimiento durante toda la trazabilidad, o bien complementar la diferenciación de especies con un alto grado de exactitud, en muestras estrechamente relacionadas, donde los métodos visuales poseen poco poder resolutive.

Herramientas Químicas Instrumentales

- a) **Espectroscopia de Infrarrojo Cercano:** Esta tecnología, está basada en la interacción de la luz electromagnética infrarroja y la absorción de esta mediante la vibración molecular de la materia, ampliamente utilizada para análisis cuantitativos y cualitativos (Tsuchikawa y Kobori, 2015)

La diferencia en la composición química de las especies vegetales generará diferencias en los espectros de absorción, dichos espectros pueden ser utilizados para generar un modelo predictivo cualitativo (librería espectral), y de esta forma diferenciar las especies. Dentro de sus ventajas resalta el hecho que hoy en día la tecnología ha avanzado a tal punto que se han desarrollado equipos portátiles alimentados con baterías con una independencia de 4 a 6 horas de duración. Fácilmente utilizable en fiscalizaciones en ruta, centros de acopio, servicios de aduanas, etc. Sin embargo, la capacidad predictiva esta correlacionada con la librería espectral, a mayor variabilidad espectral en la librería mejor su capacidad predictiva.

Algunos investigadores han demostrado que mediante un modelo de calibración apropiado, presenta una alta capacidad predictiva para diferenciar especies en muestras de madera en todas sus formas; aserrín, aserrada, rollizos, etc. Batista *et al.* (2011) demostró la confiabilidad de esta herramienta en *Swietenia macrophylla* así como un gran número de otras especies (Cooper *et al.*, 2011; Russ y Fiserova 2011; Yang *et al.*, 2012a y 2012b).

Por otra parte, algunos investigadores han probado esta tecnología con el fin de obtener regiones de procedencias dentro de una misma especie (Sandak *et al.*, 2011; Prades *et al.*, 2012), probando el supuesto que una especie que crece en regiones con condiciones diferentes de clima local, suelo, pendiente, densidad del bosques, prácticas silvícolas,

fauna, enfermedades y otros factores, puede mostrar diferencias importantes en las propiedades químicas de la madera. Algunas propiedades, asociadas a la procedencia, también podrían estar relacionadas con factores de corto plazo (por ejemplo, las temporadas de cosecha) o fenómenos a largo plazo (por ejemplo, cambios en las condiciones ambientales durante décadas). La madera producida en un sitio determinado lleva un registro de todas las condiciones mencionadas anteriormente, y pueden ser correlacionadas con la química que presente (Sandak *et al.*, 2011).

- b) Espectrometría de Masas:** Esta tecnología sumada a los actuales avances en la informática y estadística, entrega una herramienta analítica de gran precisión, convirtiéndose en una de las más efectivas en los laboratorios analíticos de investigación y/o diagnóstico (Musah *et al.*, 2015).

Una de las diferenciaciones entre las especies vegetales es el contenido de compuestos químicos que constituyen sus tejidos (hojas, cortezas, maderas etc.), que en su conjunto se denomina metaboloma, esto representa un verdadero perfil químico (huella química), el cual corresponde a la expresión de la genética propia de cada especie. Dicho perfil puede variar en la cantidad y/o contenido de estos compuestos, además pueden existir algunos propios para una especie, denominados “biomarcadores”, los cuales no están presentes en otras especies, incluso si estas están genéticamente relacionadas. La espectrometría de masas es capaz de detectar estas pequeñas diferencias, las cuales no son posibles de ver a través de los métodos instrumentales convencionales para entregar un criterio de clasificación de especies basados en su química. Dentro de las ventajas de esta herramienta se destaca el bajo costo y la nula preparación por muestra, sin embargo posee un alto costo para la adquisición del equipo y se necesita personal altamente especializado para su manejo, lo que es dificultoso. Sin embargo, como herramienta complementaria en investigaciones posee un gran poder resolutivo.

Actualmente, existen varios trabajos en donde se ha utilizado esta técnica para clasificación de especies estrechamente relacionadas, tales como las del género *Dalbergia* (Lancaster y Espinoza, 2012a, Espinoza *et al.*, 2015; McClure *et al.*, 2015) y *Aquilaria* (Lancaster y Espinoza, 2012b, Espinoza *et al.*, 2014), afectadas por el comercio ilegal internacional. La mayoría de estas especies se encuentran anexadas a los apéndices de la CITES.

En este mismo contexto, existe un proyecto colaborativo entre Chile y Estados Unidos de América, en donde las instituciones nacionales INFOR-CONAF y dos organizaciones estadounidenses; Programa Internacional de Asistencia Técnica del Departamento de Interior (DOI-ITAP) y Laboratorio del Servicio de Peces y Vida Silvestre (FWS), se encuentran desarrollando un registro químico utilizando la tecnología DART-MS (Espectrometría de Masas en Tiempo Real), en las especies; alerce (*Fitzroya cupressoides*) y ciprés de las Guaitecas (*Pilgerodendron uviferum*), las cuales actualmente se encuentran incluidas en los apéndices de CITES (datos aún no publicados).

- c) Termogravimetría:** Técnica analítica mediante la cual se mide el peso de una muestra frente al tiempo o a la temperatura, mientras se somete a un programa de temperatura controlado en una atmósfera específica. Esta variación puede ser una pérdida o una ganancia de masa. El registro de estos cambios dará información sobre si la muestra se descompone o reacciona con otros componentes, y esto será en función a su composición química, usando este principio se ha logrado utilizarla para la diferenciación de especies (Francisco-Fernández *et al.*, 2012, 2015).

Es una técnica de alta precisión, sin embargo su desventaja es que se necesita personal altamente especializado y un costo inicial bastante alto para la adquisición del equipo, su uso se justifica en caso de investigación post-tala, para diferenciar especies, sin embargo dada su complejidad es la menos conveniente dentro de las técnicas de química analítica.

Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC)

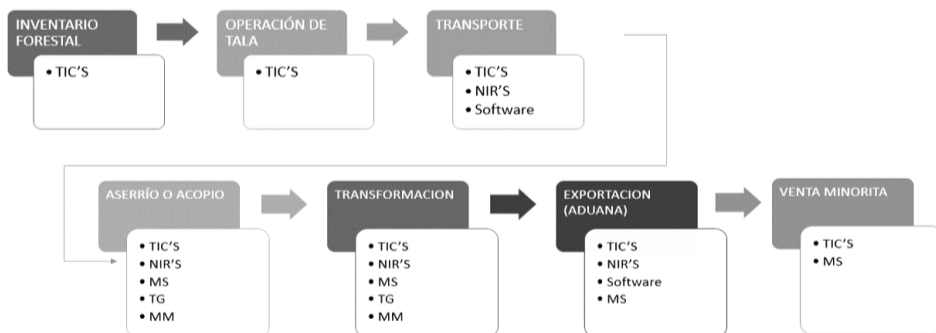
Disponer de información precisa y actualizada es esencial para prevenir, detectar, investigar y en última instancia erradicar los delitos forestales. Este punto ha sido notablemente mejorado a través del empleo de TIC (Athanasiadis *et al.*, 2013).

- a. **Documentos Electrónicos:** Todos los documentos de respaldo en la comercialización de la madera (trazabilidad) pueden ser digitalizados. Las nuevas plantillas de documentos pueden incorporar características de seguridad en forma de código de barras, código QR, o firma electrónica, que son inmediatamente verificables mediante el uso de dispositivos inteligentes de bajo costo. Las funciones de seguridad se pueden verificar en línea, mediante el acceso a la web.
- b. **Tags Inteligentes en Marcado de Madera:** En la actualidad, el marcado de madera se realiza con martillos que marcan con algún sello o el código específico (etiquetas tradicionales). Sin embargo esto es un punto débil que se puede mejorar significativamente mediante la introducción de etiquetas únicas digitales. Usando el mismo enfoque de a) se puede verificar la veracidad de dichas etiquetas digitales en tiempo real.
- c. **Redes Sociales:** La información en tiempo real, puede ser llevada a cabo mediante la utilización de redes sociales o plataformas interconectadas que vinculen a un panel de expertos en herramientas visuales (Microscopía o Macroscopía) con los puntos de fiscalización y/o investigación donde se requiera la identificación de madera, esto mediante la transferencia de imágenes de alta resolución en tiempo real, disminuyendo costo de traslado del personal experto y/o de muestras donde las características macroscópicas de madera son inestables en el tiempo.
- d. **Detección de Rutas de Camiones:** El monitoreo efectivo de las rutas establecidas por camiones que transportan trozas es sin duda un punto a mejorar. Esta es una tarea difícil, pero la implementación de sistemas de posicionamiento global (GPS) puede ser una alternativa para detectar rutas de camiones, e informar en línea su itinerario. Además se puede complementar con la implementación de un sistema de marcaje (sello) en los camiones para controlar entradas y salidas dentro de los bosques.
- e. **Drones:** El uso de aeronaves no tripuladas (en su conjunto "drones"), dotadas con cámaras de alta resolución espacial, en el monitoreo de los cambios de uso en la cobertura forestal, permite la obtención de evidencia en tiempo real en terrenos de difícil acceso donde la fiscalización vía terrestre puede ser no operativa. La gran ventaja es el bajo costo y fácil manipulación de estos equipos en campo.

Sin bien existen muchas otras técnicas en las cuales se ha demostrado que poseen algún grado de resolución en la clasificación especies a través de su madera, tales como; la Calorimetría (Tarrío-Saavedra *et al.*, 2010, 2013), el análisis de Stress-Wave (Rojas *et al.*, 2011), el análisis por Rayos-X (Kobayashi *et al.*, 2015) y la Fluorescencia (Piuri y Scotti, 2010), muchas de estas aún están en proceso de prototipo y otras necesitan ajuste en el procesamiento de los datos obtenidos, por lo que poseen una baja capacidad de reproducción, por esta razón no se discutirán en este trabajo.

En la Figura N° 1 se muestra una estrategia de implementación, en base a un esquema básico de trazabilidad de los productos forestales madereros, resaltando en qué punto de la cadena del valor se justifica el uso de estas herramientas tecnológicas complementarias. Se puede observar la importancia de la implementación de las herramientas TIC las cuales pueden complementar a las demás herramientas tecnológicas durante toda la cadena.

Por otra parte, en el Cuadro N° 1 se puede revisar una comparación de las técnicas discutidas en este trabajo, en base a las variables más importantes a considerar al momento de su implementación, como la capacidad resolutive, los costos de implementación y el nivel técnico requerido para llevarlas a la práctica.



Software: Herramientas visuales
 MM: Marcadores moleculares
 NIR: Espectroscopia de infrarrojo cercano
 MS: Espectrometría de masas

TG: Termogravimetría
 TIC: Tecnologías de la Información y Comunicación

Figura N° 1
USO DE LAS DIFERENTES HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS COMPLEMENTARIAS EN LAS DISTINTAS ETAPAS DE UN MODELO BÁSICO DE TRAZABILIDAD DE PRODUCTOS FORESTALES MADEREROS

Cuadro N° 1
COMPARACIÓN DE LAS DIFERENTES HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS EN LA IDENTIFICACIÓN DE MADERAS

Parámetro	Microscopía y Macroscopía	Software de Reconocimiento	Marcadores Moleculares	Electroscopia Infrarroja	Espectrofotometría de Masas	Termogravimetría
ID individuos	No	No	Ocasionalmente	No	No	No
ID especies	Regularmente	Regularmente	Sí	Sí	Sí	Sí
ID genero	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sin información
ID procedencia	No	Sin Información	Sí	Sí	Sí	Sin información
Determinación de edad	No	No	No	No	No	No
Velocidad del proceso ^A .	Minutos-Días	Segundos-Minutos	Horas	Segundos	Segundos-Minutos	Segundos-Horas
Información previa	Ninguna, Sin embargo el género podría ayudar	Bases de datos	Se requiere que al ADN corresponda a la muestra	Calibración previa	Ninguna	Calibración previa
Nivel técnico	Especializado	Básico	Especializado	Básico-Medio ^C	Especializado	Especializado
Costo aproximado por muestra ^B .	<US\$ 100	<US\$ 1	<US\$ 50	Sin información	<US\$ 1	<US\$ 80
Equipo requerido	Microscopios y Herramientas de observación.	Cámara de visualización, Softw ares	Laboratorio de Biología Molecular	Espectroscopio de infrarrojo (además de librerías)	Espectrómetro de Masas (además según el modelo se requerirá un equipo de extracción ej.: Cromatógrafo HPLC)	Analizador Termogravimétrico
Desventajas	Carencia de especialistas en anatomía de la madera, falta bases de datos actualizadas y completas.	Incorporación de material de referencia dentro de los softw ares	Falta de desarrollo de marcadores moleculares para cada especie.	Falta de desarrollo de bases de calibraciones (Librerías)	Falta de desarrollo de bases de calibraciones (biomarcadores), Costo inicial del equipo, personal altamente especializado	Costo inicial del equipo, personal altamente especializado

^A La velocidad puede variar según el modelo del equipo utilizado, esta solo es referencia.

^B Todos los costos son aproximaciones según cotizaciones a empresas o centros que prestan el servicio.

^C Las estandarizaciones de los instrumentos portátiles de hoy en día, pueden ser usadas a un nivel básico de usuario, sin embargo para los análisis de datos se requiere conocimiento en estadística.

CONCLUSIONES

La superficie forestal del planeta representa uno de los pilares más importantes del bienestar humano, es por esto que su conservación va en directo beneficio de calidad de vida del hombre. De esto se concluye que para mantener las condiciones de vida de las futuras generaciones se requiere pensar críticamente en la conservación y protección de la biodiversidad actual. Mediante un modelo de desarrollo sustentable que involucre un crecimiento económico con equidad social y conservación ambiental.

Existen nuevas herramientas tecnológicas, innovadoras y accesibles, que pueden complementar el actual sistema de fiscalización de productos forestales madereros de Chile. Esto permitirá prevenir, detectar y/o investigar la tala ilegal y los delitos forestales, tanto en el comercio nacional como en el internacional.

La implementación del uso de estas herramientas requiere la integración multidisciplinaria de profesionales para abordar el problema desde diferentes perspectivas, promoviendo el empleo de las tecnologías existentes al mismo tiempo que se desarrollan las nuevas políticas.

REFERENCIAS

Athanasiadis, I.; Anastasiadou, D.; Koulinas, K.; Kiourtsis, F., 2013. Identifying Smart Solutions for Fighting Illegal Logging and Timber Trade. In *Environmental Software Systems. Fostering Information Sharing* (pp. 143-153). Springer Berlin Heidelberg.

Batista, J.; Monteiro, T.; Rauber, V.; Alves, J.; Da Silva A., 2011. The use of near infrared spectroscopy to identify solid wood specimens of *Swietenia macrophylla* (CITES Appendix II). *Iawa Journal* 32:285–296.

BIDEMA, 2015. Metodología de investigación criminalística de delitos relacionados con especies maderables. Segundo Taller Internacional "Trazabilidad y Control Transfronterizo de Productos de Especies Maderables incluidos en los Apéndices de CITES". Arica 17 -19-de noviembre de 2015. Chile.

Byrne, S.; Czaban, A.; Studer, B.; Panitz, F.; Bendixen, C.; Asp, T., 2013. Genome Wide Allele Frequency Fingerprints (GWAFs) of Populations via Genotyping by Sequencing. *PLoS ONE* 8(3): e57438.

CONAF, 2011. Denuncias interpuestas por terceros por presuntas infracciones a la legislación forestal vigente, para el periodo enero - diciembre de 2011. [En línea, Consultado 3 de Julio 2015] Disponible en: http://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1360872975denunciasplanes_manejofiscalizacion_mar2012.xls

Cooper, P.; Jeremic, D.; Radivojevic, S.; Ung, Y.; Leblon B., 2011. Potential of near-infrared spectroscopy to characterize wood products. *Canadian Journal of Forest Research* 41:2150–2157

Crowther, T.; Glick, H.; Covey, K.; Bettigole, C.; Maynard, D.; Thomas, S.; Smith, J.; Hintler, G.; Duguid, M.; Amatulli, G.; Tuanmu, N.; Jetz, W.; Salas, C.; Stam, C.; Piotta, D.; Tavani, R.; Green, S.; Bruce, G.; Williams, S.; Wiser, S.; Huber, M.; Hengeveld, G.; Nabuurs, G.; Tikhonova, E.; Borchardt, P.; Li, C.; Powrie, L.; Fisher, M.; Hemp, A.; Homeier, J.; Cho, P.; Vibrans, C.; Umunay, P.; Piao, S.; Rowe, C.; Ashton, M.; Crane, P.; Bradford, M., 2015. Mapping tree density at a global scale. *Nature* 525:201-205.

Deguilloux, M.; Pemonge, M.; Bertel, L.; Kremer, A.; Petit, R., 2003. Checking the geographical origin of oak wood: molecular and statistical tools. *Molecular Ecology* 12:1629-1636.

Deguilloux, M.; Pemonge, M.; Petit, R., 2004. DNA-based control of oak wood geographic origin in the context of the cooperage industry. *Annals of Forest Science* 61:97-104.

Elshire, R.; Glaubitz, J.; Sun, Q.; Poland, J.; Kawamoto, K.; Buckler, E. and Mitchell, S., 2011. A Robust, Simple Genotyping-by-Sequencing (GBS) Approach for High Diversity Species. *PLoS ONE* 6: e19379.

Espinoza, E.; Lancaster, C.; Kreitals, N.; Hata, M.; Cody, R.; Blanchette, R., 2014. Distinguishing wild from cultivated agarwood (*Aquilaria* spp.) using direct analysis in real time and time-of-flight mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 28:281-289.

Espinoza, E.; Wiemann, M.; Barajas-Morales, J.; Chavarría, G.; McClure, P., 2015. Forensic Analysis of Cites-Protected *Dalbergia* Timber from the Americas. *IAWA Journal*, 36:311-325.

FAO, 2014. Plan de acción mundial para la conservación, utilización sostenible y el desarrollo de los recursos genéticos forestales.

FAO, 2015. Evaluación de los recursos forestales mundiales, compendio de datos. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i4808s.pdf>

Finkeldey, R.; Leinemann, L.; Gailing, O., 2010. Molecular genetic tools to infer the origin of forest plants and wood. *Applied Microbiology and Biotechnology* 85:1251-1258.

Francisco-Fernández, M.; Tarrío-Saavedra, J.; Mallik, A.; Naya, S., 2012. A comprehensive classification of wood from thermogravimetric curves. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 118:159-172.

Francisco-Fernández, M.; Tarrío-Saavedra, J.; Naya, S.; López-Beceiro, J.; Artiaga, R., 2015. Classification of wood using differential thermogravimetric analysis. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 120:541-551.

Gallardo, Enrique, 2013. Manual de Derecho Forestal, Corporación Nacional Forestal.

Glaubitz, J.; Moran, G., 2000. Genetic tools: the use of biochemical and molecular markers. En: Young A, Boshier D, Boyle T (Eds.). *Forest conservation genetics: principles and practice*. CSIRO-CABI, pp. 39-59.

Goncalves, M.; Panjer, M.; Greenberg, T.; Magrath, W., 2012. Justice for forests. Improving criminal justice efforts to combat illegal logging. The World Bank, Washington, DC, p 42

Hasbún, R.; Gonzalez, J.; Iturra, B.; Fuentes, G.; Alarcon, D.; Ruiz, E., 2016. Using Genome-Wide SNP Discovery and Genotyping to Reveal the Main Source of Population Differentiation in *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst. in Chile. *International Journal of Genomics*. Volume 2016 (2016), Article ID 3654093, 10 pages.

Hermanson, J. and Wiedenhoeft, A., 2011. A brief review of machine vision in the context of automated wood identification systems. *IAWA Journal*, Vol. 32:233-250.

Kobayashi, K.; Akada, M.; Torigoe, T.; Imazu, S.; Sugiyama, J., 2015. Automated recognition of wood used in traditional Japanese sculptures by texture analysis of their low-resolution computed tomography data. *Journal of Wood Science*, 61:630-640.

Khalid, M.; Lee, E.; Yusof, R.; Nadaraj, M., 2008. Design of an intelligent wood species recognition system. *International Journal of Simulation System, Science and Technology*, 9:9-19.

Lancaster, C. and Espinoza, E., 2012a. Analysis of select *Dalbergia* and trade timber using direct analysis in real time and time-of-flight mass spectrometry for CITES enforcement. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 26:1147-1156.

Lancaster, C. and Espinoza, E., 2012b. Evaluating agarwood products for 2-(2-phenylethyl) chromones using direct analysis in real time time-of-flight mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 26:2649-2656.

Leathwick, L. and Austin, M., 2001. Competitive interactions between tree species in New Zealand old-growth indigenous forests. *Ecology* 82:2560–2573.

McClure, P.; Chavarria, G.; Espinoza, E., 2015. Metabolic chemotypes of CITES protected *Dalbergia* timbers from Africa, Madagascar, and Asia. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 29783-788.

Martín, M.; Mattioni, C.; Lusini, I.; Molina, J.; Cherubini, M.; Drake, F.; Herrera, M.; Villani, F.; Martín L., 2013. New insights into the genetic structure of *Araucaria araucana* forests based on molecular and historic evidences. *Tree Genetics & Genomes* 10:839-851.

Musah, R.; Espinoza, E.; Cody, R.; Lesiak, A., 2015. A High Throughput Ambient Mass Spectrometric Approach to Species Identification and Classification from Chemical Fingerprint Signatures. *Scientific reports*, 5.

Narum, S.; Buerkle, C.; Davey, J.; Miller, M.; Hohenlohe, P., 2013. Genotyping-by-sequencing in ecological and conservation genomics. *Molecular Ecology*, 22(11), 2841-2847.

Nellemann, C., 2012. INTERPOL Environmental Crime Programme. In: Carbon, G. (ed.) *Black Trade: Illegal Logging, Tax Fraud and Laundering in the Worlds Tropical Forests. A Rapid Response Assessment*. United Nations Environment Programme, GRID-Arendal (2012), www.grida.no

Noss, R., 1990. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology* 4:355-364.

Nowakowska, J., 2011. Application of DNA markers against illegal logging as a new tool for the Forest Guard Service. *Folia Forestalia Polonica, series A*, 2011, Vol. 53 (2), 142–149

Ochieng, R.; Visseren-Hamakers, I.; Nketiah, K., 2013. Interaction between the FLEGT-VPA and REDD+ in Ghana: Recommendations for interaction management. *Forest Policy and Economics*, 32: 32-39.

ONU, 2015. *Objetivos de Desarrollo del Milenio Informe 2015.*

Piuri, V. and Scotti, F., 2010. Design of an Automatic Wood Types Classification System by Using Fluorescence Spectra. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics—part c: applications and reviews* 40: 358–366.

Prades, C.; Gomez-Sanchez, I.; Garcia-Olmo, J.; Gonzalez, R., 2012. Discriminant analysis of geographical origin of cork planks and stoppers by near infrared spectroscopy. *Journal of Wood Chemistry and Technology* 32:54–70.

Richter, H.; Grosser, D.; Heinz, I.; Gasson, P. (Eds.), 2004. IAWA list of microscopic features for softwood identification. *IAWA Bulletin (N.S.)* 1: 1–70.

Riginos, C. and Grace, J., 2008. Savanna tree density, herbivores, and the herbaceous community: bottom-up vs. top-down effects. *Ecology* 89:2228–2238.

Rojas, J.; Alpuente, J.; Postigo, D.; Rojas, I.; Vignote, S., 2011. Wood species identification using stress-wave analysis in the audible range. *Applied Acoustics*, 72:934-942.

Robledo, F., 2013. Socio-economic, environmental, and governance impacts of ilegal logging. *Environment Systems and Decisions*, 33: 295-304.

Russ, A. and Fiserova, M., 2011. Estimation of hardwood species in mixture by near infrared spectroscopy. *Wood Res* 56:93–103

Sandak, A.; Sandak, J.; Negri, M., 2011. Relationship between near-infrared (NIR) spectra and the geographical provenance of timber. *Wood Science and Technology* 45:35-48.

Tarrío-Saavedra, J.; Naya, S.; Francisco-Fernández, M.; López-Beceiro, J.; Artiaga, R., 2010. Functional nonparametric classification of wood species from thermal data. *Journal of thermal analysis and calorimetry*, 104:87-100.

Tarrío-Saavedra, J.; Francisco-Fernández, M.; Naya, S.; López-Beceiro, J.; Gracia-Fernández, C.; Artiaga, R., 2013. Wood identification using pressure DSC data. *Journal of Chemometrics*, 27:475-487.

Tsuchikawa, S. and Kobori, H., 2015. A review of recent application of near infrared spectroscopy to wood science and technology. *Journal of Wood Science* 61:213-220.

Valbuena, P.; Gomez, R.; Herrero, J.; Segur, M., 2013. Trazabilidad: reto y oportunidad para los territorios en el mercado de productos forestales. 6 Congreso Forestal Español 10-14 Junio 2013.

Yang, Z.; Jiang, Z.; Lu, B. 2012a. Investigation of near infrared spectroscopy of rosewood. *Spectrosc Spectr Anal* 32:2405–2408.

Yang, Z.; Lu, B.; Huang, A.; Liu, Y.; Xie, X., 2012b. Rapid identification of softwood and hardwood by near infrared spectroscopy of cross-sectional surfaces. *Spectrosc Spectr Anal* 32:1785–1789.

Wang H-j.; Zhang G-q.; Qi H-n., 2013. Wood Recognition Using Image Texture Features. *PLoS ONE* 8(10): e76101.

Wheeler, E.; Baas, P.; Gasson, P., 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bull. New Ser.* 10:219–332.

