UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE INGENIERIA FORESTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

ATRIBUTOS DE CALIDAD PARA LA SELECCIÓN DE ESPECIES FORESTALES COMO CRITERIO PARA LA RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS DEGRADADOS EN LA AMAZONIA ECUATORIANA: ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO

AUTOR(ES):

Michelle Damaris Reinoso Romero

Edgar Alejandro Salazar Moncayo

DOCENTE - TUTOR:

Msc. García Quintana Yudel, PhD

Puyo - Pastaza - Ecuador

2022

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA

Trabajo de Integración Curricular

Atributos de calidad para la selección de especies forestales como criterio para la restauración de ecosistemas degradados en la amazonia ecuatoriana: análisis bibliográfico

Reinoso Romero Michelle Damaris[1]
for2017071@uea.edu.ec
Salazar Moncayo Edgar Alejandro[1]
for2017074@uea.edu.ec

García Quintana Yudel, PhD[2]
ygarcia@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Tierra, Carrera de Ingeniería Forestal

Resumen

La degradación de ecosistemas forestales cada día aumenta más y con ello se hace más importante la restauración ecológica, para lo cual es necesario contar con plantas de calidad que aseguran el éxito de la plantación. El objetivo de este trabajo fue analizar, a través de revisión documental, los atributos de calidad en la selección de especies forestales como criterio para la restauración de ecosistemas degradados en la Amazonía ecuatoriana. Para esto se realizó una revisión documental de fuentes confiables relacionadas con el tema. Los resultados reportaron la necesidad de poder evaluar atributos de calidad de una planta, encontrando que la combinación de parámetros morfológicos y fisiológicos permite entender mejor el funcionamiento de la planta tanto en vivero como en el sitio de plantación. Se reportó que el 91% de los estudios expresaron una relación positiva entre el diámetro inicial y el crecimiento después de la plantación, resultando de alta prioridad para la toma de decisiones del silvicultor.

***Palabras Clave**:* restauración, atributos morfológicos, atributos fisiológicos, planta de calidad.

Abstract

The degradation of forest ecosystems is increasing every day and ecological restoration is becoming more important, for which it is necessary to have quality plants to ensure the success of the plantation. The objective of this work was to analyze, through a documentary review, the quality attributes in the selection of forest species as a criterion for the restoration of degraded ecosystems in the Ecuadorian Amazon. For this purpose, a documentary review of reliable sources related to the subject was carried out. The results reported the need to evaluate quality attributes of a plant, finding that the combination of morphological and

physiological parameters allows a better understanding of the performance of the plant both in the nursery and at the plantation site. It was reported that 91% of the studies expressed a positive relationship between initial diameter and growth after planting, resulting in a high priority for the forester's decision making.

***Keywords**:* restoration, morphological attributes, physiological attributes, quality plant.

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de plantas forestales de interés maderable constituye una prioridad en los programas de reforestación de la región Amazónica, el establecimiento de plantaciones forestales en la actualidad ha pasado a cobrar mucha importancia por su amplia capacidad de resolver problemas económicos, sociales y ambientales, ya que pueden ser destinadas a distintos fines. Aunque estas corren el peligro de fracasar debido a diferentes problemas, como el mal manejo, condiciones ambientales desfavorables, empleo de especies inadecuadas y el uso de plantas de mala calidad (Armando, Leones, Garcia Quintana, Arteaga Crespo, & Lazo, 2018).

La calidad de planta se reconoce como la capacidad que tienen los individuos para adaptarse y desarrollarse en las condiciones climáticas y edáficas del sitio donde se establecen (Rodriguez T. & D. A., 2008), la cual obedece a las características genéticas del germoplasma y a las técnicas utilizadas para su reproducción (Prieto et al., 2009). Sin embargo, al realizar una evaluación sobre la calidad de la planta que se produce son pocos los productores que conocen la importancia de este concepto.

El origen genético, el estado sanitario y las características morfológicas y fisiológicas establecidas durante el proceso de cultivo en vivero, conforman la calidad de una planta. Junto con la preparación del suelo y los cuidados posteriores a la plantación son los elementos más importantes en el desarrollo de los proyectos destinados a la restauración vegetal (Salvador, 2016). Del desempeño de este conjunto de características depende el éxito en los programas de restauración forestal.

Los programas de restauración tienen como objetivo principal ejecutar una serie de acciones encaminadas a la restauración o recuperación de ecosistemas y recursos naturales, que por diversas causas se vieron destruidos o están deteriorados. La restauración funciona como herramienta que cada día tomas más fuerza para intervenir y revertir los procesos de degradación de ecosistemas y perdida acelerada de biodiversidad.(González et al., 2017)

Un aspecto fundamental en los programas exitosos de plantaciones forestales, es la utilización de plantas de calidad, con alta capacidad de supervivencia; además, conforme las condiciones ambientales y edáficas son más restrictivas, se requiere que los individuos tengan mayor capacidad de respuesta (Villar, 2003). La utilización de planta de calidad favorece el éxito en las plantaciones bajo condiciones de cambio climático (Grossnickle, 2012).

Los viveros forestales son instalaciones de producción de plantas forestales para uso en repoblación, en los cuales se puede ayudar a mejorar la calidad de la planta, ya que de los cuidados que se le dé en la fase de vivero dependen las características morfológicas y fisiológicas que logre desarrollar en su fase inicial. Para cumplir sus objetivos los viveros

deben contar con medios y tecnología suficiente para producir plantas forestales con calidad genética y fisiológica adecuada, que se empleará en el área a repoblar, lo cual debe realizarse a un coste razonablemente bajo (Álvarez-Álvarez, 2004).

La producción de planta en vivero es el proceso por el cual se le da a la semilla los cuidados y tratamientos necesarios para su correcta germinación, permitiendo a la planta crecer adecuadamente, con la finalidad de que se logren altas tasas de sobrevivencia y se favorezca su desarrollo al plantarla en campo. Las prácticas de manejo en vivero se reflejan en la calidad de la planta producida, la cual debe tener una serie de atributos morfológicos y fisiológicos, que le den la capacidad de adaptarse y desarrollarse en las condiciones climáticas y edáficas del sitio de plantación (Salvador, 2016).

Las prácticas agrícolas, industriales, ganaderas y otras actividades de extracción que no se llevan a cabo de manera sostenible contribuyen a la degradación progresiva de los ecosistemas forestales, esto representa una crisis ambiental debido a que se ve una acelerada reducción de los múltiples servicios medioambientales o ecosistémicos como la regulación del clima, producción de agua limpia, acumulación de biomasa vegetal a través de la fotosíntesis, formación de suelo, además que se ve deteriorada la calidad de vida y la economía de los seres humanos por el aumento cada vez más apresurado de la degradación. De ahí que cada vez cobra mayor importancia los estudios de reforestación y restauración a partir de la inclusión de un material plantable de calidad superior que soporte las condiciones edafoclimáticas extremas. Sin embargo, en los viveros forestales de la región Amazónica ecuatoriana aún prevalece la producción de plantas de mala calidad sin criterios silvícolas, debido a que no se conoce la procedencia de las semillas y no se consideran parámetros o atributos de calidad en la producción forestal para lograr mejores resultados en los programas de restauración. Por lo que se planteó la siguiente pregunta científica: ¿Qué atributos de calidad de la planta influyen en el éxito de los programas de restauración de ecosistemas degradados en la Amazonía Ecuatoriana? Y el objetivo de esta investigación fue: analizar, a través de revisión documental, los atributos de calidad en la selección de especies forestales como criterio para la restauración de ecosistemas degradados en la Amazonía ecuatoriana. A través del cual, se examinó los principales atributos morfológicos y fisiológicos que se emplean en la calidad de la planta forestal, así como criterios para su interpretación y se describió, a partir de los atributos de calidad de la planta, aspectos técnicos y silvícolas necesarios para la selección de especies forestales promisorias con fines de restauración.

2. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

Tipo de Investigación

El estudio comprendió una investigación de carácter teórico con un enfoque documental la misma que se ajustó a la selección y recopilación de información por medio de la lectura crítica de documentos y materiales bibliográficos existentes en un documento, con el fin de tener antecedentes para profundizar en las teorías y aportaciones ya emitidas sobre el tema de atributos de calidad de la planta forestal cultivadas en vivero como criterio para la selección en programas de restauración forestal.

Métodos de investigación

Los métodos que se emplearon en la presente investigación fueron método deductivo que va de lo general a lo particular, como son los diferentes atributos de calidad y la definición de cuáles son los atributos ideales de las especies, para que sean consideradas idóneas en los programas de restauración. Además, se empleó el método descriptivo para analizar los datos reunidos y determinar que variables están relacionadas entre sí y el método documental, el cual se utilizó para recopilar la información necesaria en las diferentes fuentes.

Procedimiento para la obtención de información

La revisión bibliográfica sobre los atributos de calidad de la planta incluyó la búsqueda de artículos científicos publicados en el período 2017 al 2020, de acuerdo a la clasificación de la(s) pagina(s) web(s) y los trabajos de varios autores, mismos que permitieron recopilar información sobre la calidad de la planta para posteriormente ser utilizados para la búsqueda de datos. El presente artículo de revisión sintetizó información recopilada de 30 fuentes de diferentes referencias entre artículos, libros y páginas web, siete de ellos fueron rechazados al no poseer información encaminada a la calidad de la planta en el contexto de estudio.

El procedimiento empleado para dar cumplimiento a los objetivos planteados de la investigación fue mediante revisión documental, a través del cual se recopiló información enfocada al tema principal. Se procedió con la búsqueda de información científica especializada en el tema de calidad de la planta enfocado a plantas forestales producidas en vivero, a través del cual se realizó lectura de los artículos científicos publicados y almacenados en revistas científicas en base de datos como SCOPUS, DIALNET, SCIELO, SCIENCE DIRECT, PUBMED y SPRINGER LINK. El motor de búsqueda bibliográfica que se empleó fue el Google académico, el cual ordena la información según las visitas recibidas de las páginas, y tiene suscripciones a muchas revistas a las que tiene acceso directo. La estrategia de búsqueda de la información científica consistió en identificar palabras claves tales como: viveros forestales, calidad de la planta forestal y atributos morfofisiológicos. Además, se emplearon los operadores booleanos, que es un conector de palabras o signos que se hallan estandarizados para la búsqueda en internet, entre ellos se utilizó: AND (que busca dos palabras con significado distinto), OR (que busca palabras con significado semejante), y AND NOT (que busca una palabra, pero sin alguna palabra relacionada). Para la búsqueda de palabras específicas se colocó la palabra entre comillas ("…"), y en el caso que se pretendió dar importancia a una palabra en un grupo de palabras se utilizó los signos más y menos según la búsqueda (..+, ..-).

Para examinar los principales atributos morfológicos y fisiológicos que se emplean en la calidad de la planta forestal, así como criterios para su interpretación se realizó la búsqueda de todos los trabajos publicados en los últimos cinco años, con el propósito de informar acerca de los resultados más relevantes en cuanto a los distintos atributos morfológicos y fisiológicos empleados para determinar la calidad de una planta. Se realizó un cuadro resumen que facilitó el análisis y la crítica en cuanto a la interpretación que realizan los distintos autores sobre el tema.

Para describir aspectos técnicos y silvícolas necesarios para la selección de especies forestales promisorias con fines de restauración se tomó como base el análisis realizado en cuanto a los atributos de calidad forestal, lo que facilitó proponer decisiones estratégicas a

partir de criterios técnicos y silvícolas para definir que atributos son necesarios para seleccionar una especie con fines de restauración. Con los criterios obtenidos de la literatura se procedió a realizar una valoración en función del peso que le brinda cada autor a los atributos morfológicos y fisiológicos para seleccionar en el vivero plantas de buena calidad que soporten las condiciones de la plantación y favorezcan con éxito los programas de restauración.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de la revisión bibliográfica en función de los atributos de calidad de las plantas permitieron constatar que la calidad de una planta forestal está determinada por un conjunto de atributos morfológicos (tabla 1) tales como: diámetro, altura de la plántula, biomasa (peso fresco y seco aéreo y radical), así como el sistema radical, a continuación se presenta un resumen del análisis sintético realizado a varios autores que abordaron el tema sobre calidad de la planta que comúnmente se emplean en los viveros forestales para el diagnóstico de calidad morfológica.

El análisis de la revisión documental arrojó que los atributos morfológicos están correlacionados con el crecimiento de las plántulas después de establecerlas en los sitios de restauración forestal porque conservan la mayoría de las características de las plántulas durante períodos prolongados. En particular, los atributos morfológicos limitan la susceptibilidad al estrés en la plantación y mejoran el crecimiento, además son importantes para predecir el desarrollo y crecimiento luego del establecimiento de plántulas, es por esto que los estudios que miden los atributos morfológicos típicamente reportaron una respuesta positiva entre los atributos medidos y el crecimiento posterior de las plántulas.

Tabla 1. Atributos morfológicos para la calidad de la planta forestal

ATRIBUTO	CRITERIOS DE MEDICIÓN	INTERPRETACIÓN
Altura	Por lo general este atributo es el más sencillo de medir, en la mayoría de estudios se utiliza una regla graduada o cinta métrica y se realiza la medición desde la base del tallo hasta la punta de la yema terminal de la plántula.	La altura de la planta en condiciones de vivero es una señal del nivel de desarrollo de la parte aérea, esta también ayuda a pronosticar sus medidas de altura en campo ya que las plántulas con mayor altura pueden mantener su ventaja de altura con el tiempo, sin embargo, por sí sola no asegura la supervivencia.

Diámetro del cuello de la raíz (DCR)	Este atributo es uno de los más utilizados en la caracterización de la calidad de la planta debido al bajo costo que tiene su medición, además de la capacidad predictiva de respuesta en campo, este se	Este atributo describe la robustez de las plántulas. Se considera el indicador más confiable de la supervivencia y desarrollo de la planta en campo ya que al estar

	puede determinar con la ayuda de un calibrador Vernier, se debe medir en la base del tallo a todas las plantas. También se puede utilizar un calibrador digital STANLEY, expresado en mm.	relacionado con el tamaño de las raíces y la sección transversal de transporte de agua, absorción de nutrientes, la resistencia mecánica, el grado de lignificación del tallo y la capacidad relativa para tolerar altas temperaturas en la superficie del suelo, por lo que la protege del daño causado por sequía y las altas temperaturas.
Biomasa Peso fresco aéreo y radical	Para determinar el peso fresco aéreo y radical se debe tomar una muestra de plántulas, se separa la biomasa de la muestra en componentes aéreo y radical (tallo, hojas y raíz) y luego se debe utilizar una balanza analítica para pesar las muestras y obtener valores más exactos.	El peso de la planta es un indicador de su volumen y el área foliar, está fuertemente relacionado con aspectos fisiológicos, ya sea la transportación y la actividad fotosintética, por lo que esto es un indicador de cuan productiva pueden ser estas especies en las condiciones futuras de plantación.
Biomasa Peso seco Aéreo y Peso Seco radical	El peso seco se obtiene de las medidas de peso de la biomasa aérea y radical expuestas a la estufa a una temperatura constante igual o superior a 60 °C durante 48 horas, posteriormente cada fracción de las plántulas deben ser pesadas en una balanza analítica para obtener el peso seco de la biomasa aérea y radical.	Este atributo es un indicador del equilibrio estructural de las diferentes partes de la planta, además indica la proporción y existencia de un sistema radical para proveer energía a la parte aérea de la planta.

Sistema radical	Para el sistema radical se utilizan muestras de raíces de plántulas con las cuales con una regla graduada se mide la longitud y se toman las dimensiones desde el cuello de la raíz de la plántula hasta el extremo distal de la misma. El potencial de crecimiento se puede obtener al contar las raíces secundarias nuevas mayores a 1 cm. Se utiliza una probeta de 100 mL con agua común	Las plántulas con un mayor tamaño de sistemas de raíces con altos estándares morfológicos y fisiológicos dan a las plántulas la capacidad de superar el estrés de la plantación y así lograr establecerse en la plantación, además de tener mayor capacidad para desarrollar raíces
	a 60 Ml, se sumerge las muestras en el interior y se determina el volumen de la raíz.	rápidamente después de la siembra.

En la Tabla 2 se muestra un resumen de los resultados del conjunto de atributos fisiológicos empleados para la calidad de la planta forestal que han sido estudiados por varios autores dentro de los cuales se encuentran: resistencia a la sequía, tolerancia a la congelación, estado nutricional, potencial de crecimiento de raíces y potencial hídrico de las plantas. Luego de la revisión documental se puede recomendar que para decidir la calidad de una planta forestal es recomendable la combinación del conjunto de atributos morfológicos y fisiológicos, los cuales además deben ser seleccionados en correspondencia con las características ecológicas del sitio donde se vaya a establecer la plantación.

Tabla 2. Atributos fisiológicos para la calidad de la planta forestal

ATRIBUTO	CRITERIOS DE MEDICIÓN	INTERPRETACIÓN
Resistencia a la sequía	Durante el crecimiento y desarrollo de las plantas se deben someter a las mismas a diferentes niveles de humedad, es decir riego y estrés por sequía, luego tomar muestras de suelo, con una frecuencia semanal para cuantificar el contenido de humedad gravimétrica, y posteriormente el contenido de humedad volumétrico usando determinaciones de densidad aparente.	Se considera que el potencial hídrico de las plántulas refleja mejor el estado hídrico instantáneo de las plántulas porque integra la respuesta de las plántulas en relación con su estado de resistencia a la sequía en relación con el entorno circundante (Joly, 1985)

Tolerancia a la congelación	Este atributo se determina mediante el sometimiento de una muestra de plántulas a una situación de heladas, las cuales se realizan en una cámara fitotrón para luego de cierto tiempo de exposición evaluar los daños y perdida de hojas de la muestra.	Someter a las plántulas a un estudio de tolerancia a la congelación ayuda a definir el crecimiento posterior, además de brindar flexibilidad a las operaciones de almacenamiento en viveros y finalmente cumplir con los cronogramas de plantación ya establecidos.
Estado nutricional	La determinación analítica para el estado nutricional de las plantas se realiza para el nitrógeno mediante el método estándar micro- Kjeldahl, para el fósforo se emplea el método colorimétrico de azul de molibdeno	Este atributo contribuye a mejorar los parámetros morfológicos de la planta ya que está relacionado con el aumento a las concentraciones
	(Murphy y Riley, 1962) y para el potasio el método fotometría de llama (Baker and Shur, 1982).	nutricionales internas, estimulación en el desarrollo del sistema radical, producción de nuevas raíces, numero de hojas y longitud de los pelos radicales; dando como resultado un crecimiento positivo debido a las reservas de nutrientes.
Potencial crecimiento de raíces (RGP)	Para estimar el potencial crecimiento de raíces se debe tomar una muestra de plántulas y luego plantarlas en contenedores, los cuales se deben llenar con un sustrato, el cual debe ser similar al sustrato que se utilizó para producir la planta en vivero y adicionar fertilizantes, a esta muestra se debe medir el diámetro y la altura inicial, después de un tiempo se saca las muestras de los envases y se mide la altura y diámetro finales y por último se sacan con cuidado las raíces y se seca en una estufa para determinar el peso seco.	Es importante conocer el potencial crecimiento de raíces ya que está ligado con mejorar el establecimiento y el crecimiento de las plantas después del establecimiento en campo, es decir que todos los sistemas fisiológicos funcionan correctamente.

Potencial hídrico foliar	Se estima utilizando la bomba de presión Scholander.	Permite diagnosticar el estado hídrico de la planta ya que de esto depende que esa tenga una respuesta favorable en campo.

En la Tabla 3 se presentan los índices empleados para determinar la calidad de la planta forestal. En la literatura revisada de varios autores se reportan como los más empleados relación brote/raíz, índice de calidad de Dickson, índice de esbeltez, índice de lignificación, relación parte aérea parte radical, fluorescencia de clorofila, conductancia estomática. La mayoría de los índices resultan de la combinación de atributos morfológicos y fisiológicos y permiten tener un criterio técnico-silvícola sobre el crecimiento potencial, grado de desarrollo de las plantas, la supervivencia en campo, resistencia mecánica, así como medidas del intercambio gaseoso de la planta que facilitan tomar decisiones para el éxito en el establecimiento de una plantación forestal.

Tabla 3. Índices morfológicos y fisiológicos para determinar la calidad de la planta

INDICE	PROCEDIMIENTO	INTERPRETACIÓN
Relación brote/raíz (S:R)	Resulta de la división de la masa seca del brote entre la masa seca de la raíz.	Este índice ayuda a pronosticar el crecimiento de las plántulas en sitios secos o normales.
Índice de calidad de Dickson	Se estima con la siguiente fórmula: $IQ = \frac{PST}{\frac{h}{d} + \frac{PSA}{PSR}}$ Donde: IQ = Índice de calidad de Dikcson PST = Peso seco total h = altura d = diámetro PSA = Peso seco aéreo PSR = Peso seco radical	El índice de calidad de dickson expresa la potencialidad de la planta en relación con la sobrevivencia y el crecimiento. Este sirve para comparar la calidad de la planta de distintos tamaños, debido a que relaciona varios parámetros y establece cuan proporcionada se encuentra la planta en cuanto a tamaño y peso (Pérez & Rodríguez, 2016).

Índice de esbeltez	Se obtiene a partir de la relación altura y diámetro del cuello de la raíz Se estima con la siguiente fórmula: $IR = h / d$ h = altura d = diámetro	Es un indicador de la resistencia mecánica de la planta a la desecación por el viento, de la supervivencia y del crecimiento potencial en sitios secos y su valor debe ser menor a seis. Un valor inferior indica una mejor calidad de la planta, arbolitos más robustos, bajos y gruesos son más aptos para sitios con limitación de humedad; valores superiores a seis sugieren una desproporción entre el crecimiento en altura y el diámetro, como pueden ser tallos elongados con diámetros delgados (Antonio, 2020).
Índice de Lignificación.	Relaciona el peso seco total y el peso húmedo total de la planta. Se determina con la siguiente fórmula: $Il = PST/PSH*100$ PST = Peso seco total PHT = Peso húmedo total	Este índice expresa el porcentaje de lignificación.
Relación parte aér y parte radical	Se determina mediante la siguiente fórmula: $R = PSA/PSR$ PSA = Peso seco aéreo PSR = Peso seco radical	Este índice es un indicador de la supervivencia de las plantas.

Fluorescencia de clorofila	Los parámetros de fluorescencia de clorofila (ChlF) se miden a temperatura ambiente en oscuridad controlada durante 30 min con un fluorómetro.	Se utiliza como indicador de conversión de energía fotosintética en plantas, además proporciona información sobre el estado del fotosistema, además identifica como la clorofila está utilizando la energía absorbida y en qué medida está siendo dañada por el exceso de luz.
Conductancia estomática	Para medir este índice se utiliza el porómetro el cual mide la conductancia estomática mediante el flujo de vapor desde la hoja a través de los estomas. (METER, 2019).	Permite distinguir entre la transpiración de las hojas y las que se han cerrado.
Tasa de fotosíntesis	Se utiliza un analizador de gases en infrarrojo IRGA	Sirve para determinar las concentraciones de CO2 para conocer la fisiología de la fotosíntesis.

En la Tabla 4 se muestra la opinión y resultado de los autores que abordan el tema sobre el potencial de un atributo para afectar el rendimiento de las plántulas y determinar la calidad de una planta, reportando una variación de criterios positivos, negativos y no aceptable en cuanto a las referencias de autores que revisaron la calidad de las plántulas y discutieron la capacidad de los atributos morfológicos y fisiológicos definidos para pronosticar el rendimiento en el campo.

Tabla 4. Análisis comparativo de resultados de diferentes autores sobre los atributos de calidad de las plantas

AUTOR(ES)	ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS				ATRIBUTOS FISIOLÓGICOS		
	Altura	Diámetro	Sistema radical	Relación brote/ raíz	Resistencia a la sequia	Tolerancia a la congelación	Estado nutricional
Burdett (1983)	+	+	+	+	+	+	+

l-lpJohnson and Cline (1991)	↔	+	+	-	+	+	**X**
Grossnickle and Folk (1993)	+	+	+	+	+	+	+
Mattsson (1997)	**X**	+	+	+	**X**	+	**X**
Grossnickle (2000)	+	+	+	+	+	+	+
Wilson and Jacobs (2006)	↔	+	+	+	+	**X**	**X**
Ritchie et al. (2010)	↔	+	↔	↔	+	+	+

Leyenda: Los símbolos resumen la opinión y resultado de los autores descritos sobre el potencial de un atributo para afectar el rendimiento de las plántulas y determinar la calidad donde: + fue positivo; - Fue negativo; ↔ *atributo aceptable; X el autor no concluyó positiva o negativamente sobre este atributo.*

De acuerdo a los estudios revisados sobre los atributos morfológicos y fisiológicos de calidad de la planta el 70% de estos informa que hay una relación positiva de la altura como indicador de crecimiento y desarrollo futuro de las plántulas en campo, un 20% determina que no hay una relación de la altura como atributo y tan solo el 10% demuestra una relación negativa, es decir que la altura no se considera un atributo para determinar la calidad de la planta ya que las plantas con mayor altura en ambientes adversos están sometidas a mayor estrés hídrico.

También se puede evidenciar que en el 91% de los estudios revisados dan como resultado una relación positiva entre el diámetro inicial y el crecimiento después de la plantación, esto se debe a que el diámetro del cuello de la raíz (DCR) es un atributo de gran importancia porque está relacionado con la reserva de nutrientes y asimilación de los mismos, por otro lado, el 9 % de los estudios no informó ninguna relación del diámetro con la calidad de la planta.

Las plántulas con sistemas de raíces con altos estándares morfológicos y fisiológicos tienen una relación positiva con la calidad de la planta, así lo demuestra el 78% de los estudios revisados ya que tienen una mayor capacidad para desarrollar raíces rápidamente después de la siembra, sin embargo, el 22% de los estudios no mostró relación por lo que se puede decir que a pesar de ser un buen atributo no siempre logra pronosticar el crecimiento de las plántulas en campo.

Varios de los estudios revisados concluyen que el potencial de crecimiento de raíces (RGP) logra pronosticar la supervivencia de plántulas de 70 a 80% del tiempo, lo cual establece un equilibrio morfológico positivo para la absorción de agua y nutrientes, lo que reduce el estrés de plantación y asegura un buen desarrollo en campo después de la plantación.

Considerar plántulas con atributos deseables no garantiza un crecimiento superior. Esto se debe a que la expresión del desempeño de las plántulas en el campo está controlada tanto por la calidad de las plántulas como por las condiciones del sitio de reforestación. El silvicultor solo puede controlar parcialmente las condiciones del campo a través de prácticas silvícolas y el momento de la plantación. La única faceta del programa de restauración bajo el control total del silvicultor es qué tipo de stock se planta. Por lo tanto, establecer plántulas con atributos deseables aumenta las posibilidades de un mejor crecimiento en los sitios de restauración forestal (Grossnickle & MacDonald , 2018).

Del conjunto de atributos de calidad de la planta expresado a través de parámetros morfológicos y fisiológicos e índices que establecen relaciones proporcionales se recomienda identificar como confiables para el proceso de restauración forestal en ecosistemas amazónicos degradados al diámetro en el cuello de la raíz que facilitaría una mayor supervivencia, lignificación y desarrollo de las plantas en las condiciones ecológicas extremas del sitio, además se podría considerar al índice de Dickson como predictor de la potencialidad de desarrollo de una planta, siendo necesario contar con plantas de alto potencial que logren adaptarse a las condiciones edafoclimáticas del sitio de plantación.

4. CONCLUSIONES

El éxito de una repoblación forestal depende del cumplimiento de una serie de procesos complejos que tienen las plantas desde la etapa de vivero y de analizar de manera correcta cada una de sus variables, resultando una prioridad la selección de atributos morfológicos y fisiológicos que permitan identificar plantas de buena calidad. Se encontró que en la mayoría de las investigaciones utilizan parámetros morfológicos como indicadores de calidad, sin embargo, la combinación de parámetros morfológicos y fisiológicos permite entender mejor el funcionamiento de la planta tanto en vivero como en el sitio de plantación, del análisis realizado en la revisión bibliográfica se reportó que el 91% de los estudios expresan una relación positiva entre el diámetro inicial y el crecimiento después de la plantación. De esto se puede determinar que el atributo diámetro del cuello de la raíz
(DCR) puede ser empleado como prioritario para decidir la calidad de la planta, el cual está relacionado con la potencialidad de crecimiento y desarrollo, la reserva de nutrientes y asimilación de los mismos.

REFERENCIAS

Antonio, Z. S. (2020). Efectos de la fertilización orgánica y química sobre los patrones morfológicos de Ochroma pyramidale Cav. (Balsa) en etapa de vivero. Quevedo – Los Ríos – Ecuador.

Álvarez-Álvarez, P. (2004). VIVEROS FORESTALES Y USO DE PLANTA EN REPOBLACIÓN EN GALICIA. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20632.34565

Baker, D. L. and N. H. Shur. 1982. Atomic absorption and flame emission spectrometry, pp. 13-27. In: A. L. Page (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Monograph No. 9. American Society of Agronomy, Madison, WI.

Basave Villalobos, E., García Castillo, L. C., Castro Ríos, A., Calixto Valencia, C. G., Sigala Rodríguez, J. Á., & García Pérez, J. L. (2017). Calidad de planta de *Cedrela odorata L*. asociada con prácticas culturales de vivero. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 7(36), 65-80. https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i36.60

Burr, K.E. (1990). The target seedling concept: Bud dormancy and cold hardiness. En: R. Rose, S.J. Campbell y T. D. Landis, editores. Target seedling symposium: Proceedings, Combined meeting of the Western Forest nursery associations. Forest Service, Roseburg, Oregon, 79-90.

Cortesero, A. M., Stapel, J. O., & Lewis, W. J. (2000). Understanding and manipulating plant attributes to enhance biological control. Biological control, 17(1), 35-49. Comisión Nacional Forestal (Conafor). (2009). Restauración de ecosistemas forestales: guía básica para comunicadores.

Duryea, M. L., & Landis, T. D. (Eds.). (2012). Forest nursery manual: production of bareroot seedlings (Vol. 11). Springer Science & Business Media.

Escobar-Alonso, S., & Rodríguez Trejo, D. A. (2019). Estado del arte en la investigación sobre calidad de planta del género Pinus en México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, *10*(55), 4-38.

Haase, D.L. (2008). Understanding forest seedling quality: Measurements and interpretation. Tree Plant. Notes, 52, 24–30.

Grossnickle, S. C., & MacDonald, J. E. (2018). Why seedlings grow: influence of plant attributes. En S. C. Grossnickle, & J. E. MacDonald, New forests, (1), (3).

Johnson, J. D., & Cline, M. L. (1991). Seedling quality of southern pines. In Forest regeneration manual (pp. 143-159). Springer, Dordrecht.

Leones, D. A. U., Quintana, Y. G., Crespo, Y. A., Moreno, A. M., Pérez, Y. L., & Jalca, I. (2018). Método de clasificación a partir del diagnóstico de calidad morfológica en vivero para la selección de especies forestales promisorias en programas de restauración. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, *7*(3), 142-150.

Martínez Romero. (1996). La restauración ecológica. Ciencias, (043).

Mattsson, A. (1997). Predicting field performance using seedling quality assessment. New Forests, 13(1), 227-252.

Murphy, J. and J. Riley. 1962. A modifies single solution method for the determination of phosphate in naturals waters. Anal- Chim. Acta 27 31-36.

Nueva Década de la ONU para la Restauración de los Ecosistemas, una gran oportunidad para la seguridad alimentaria y la acción climática. (2019, enero 3). UN Environment. http://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/nueva-decada-de-laonu-para-la-restauracion-de-los-ecostimas.

Pérez, V., & Rodríguez, H. (2016). Producción de plantines de calidad de Aspidosperma quebracho-blanco Schltdl (Bachelor's thesis).

Pinto, Carlos A. Llerena, y Rosa María Hermoza Espezúa. (2017). Plantaciones forestales, agua y gestión de cuencas, 37.

Puttonen, P. (1986). Carbohydrate reserves in Pinus sylvestris seedling needles as an attribute of seedling vigor. Scandinavian Journal of Forest Research 1: 181-193. Perry D A. (1972). Seed vigour and field establishement. Hort. Abstr. 42:334-342

Ríos, O. V. (2011). Restauración ecológica: biodiversidad y conservación. Acta biológica colombiana, 16(2), 221-246.

Salvador, P. V. (2016). Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetación, 22.

Serrada Hierro, R., Navarro Cerrillo, R. M., & Pemán García, J. (2005). La calidad de las repoblaciones forestales: una aproximación desde la selvicultura y la ecofisiología. *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales, 2005, vol. 14, núm. 3, p. 462-481*.

Villar, S.P. (2003). Importancia de la calidad de la planta en los proyectos de revegetación. En: Restauración de Ecosistemas en Ambientes Mediterráneos. Rey-Benayas, J. M., Espigares.

ANEXOS MARCO TEÓRICO

Calidad de la planta

¿Qué es una planta de calidad? Duryea (1985) la define como aquella que es capaz de alcanzar un desarrollo (supervivencia y crecimiento) óptimo en un medio determinado y, por tanto, cumplir los objetivos establecidos en un plan de restauración. La calidad de una planta cambia en el tiempo, variando con su estado fenológico y, probablemente, con su edad. Así, la resistencia a situaciones de estrés de una planta no es la misma durante el periodo de reposo vegetativo que al producirse la elongación de los tallos (Burr, 1990).

La calidad de una planta es la resultante de cuatro componentes:

1) la calidad genética, 2) la morfológica, 3) la fisiológica y 4) la sanitaria. La primera hace referencia al origen de la semilla o los otros materiales de reproducción a partir de los que se obtuvo el plantón. Numerosas especies presentan variaciones funcionales entre poblaciones dando lugar a ecotipos que presentan diferentes capacidades de respuesta a determinados factores abióticos y bióticos. La calidad morfológica y fisiológica de una planta depende, en gran medida, de sus características genéticas y se refiere a los estados que pueden adoptar un conjunto de atributos funcionales más o menos plásticos relacionados con la economía hídrica y de carbono de la planta. Finalmente, la calidad sanitaria se refiere a la presencia de agentes patógenos en la planta que pueden mermar su futuro desarrollo y el de las poblaciones de plantas presentes en la zona de restauración

Atributos morfológicos relacionados con la calidad de la planta

Los atributos morfológicos se consideran medidas confiables de la calidad de las plántulas estas son las medidas más comunes que relacionan la calidad de las plántulas con el campo además se conservan durante períodos prolongados después de que las plántulas se trasplantan (Puttonen 1997).

Los parámetros morfológicos solo miden el tamaño general y el equilibrio desde el brote hasta la raíz, no la calidad fisiológica ya que solo son un subconjunto de los atributos de la planta requeridos para definir una plántula exitosa.

Los caracteres morfológicos cuantitativos que son empleados habitualmente en el control de calidad de lotes de plantas o en estudios científicos, son la altura de la planta o tamaño de alguna de sus partes y la proporción entre ellas (Salvador, s. f.).

La morfología se utiliza con más frecuencia que la fisiología para evaluar la calidad de las plántulas. La altura y el diámetro del tallo son las dos características que se examinan comúnmente en la planta de semillero. Estos dos parámetros, junto con los rangos máximos y mínimos aceptables y; curiosamente, la altura es por lo general designado en (cm), pero el diámetro del tallo (medido con un calibrador en la base del cuello) es medido en milímetros (mm) (Haase, 2008).

Atributos morfológicos cuantitativos:

- Altura parte aérea
- Diámetro del cuello de raíz
- Masa aérea y radical

- Esbeltez de los tallos (altura / diámetro)
- Proporción entre la masa aérea y la radical
- Índice de Dickson
- Longitud de las yemas

Atributos fisiológicos relacionados con la calidad de la planta.

La calidad fisiológica implica la integridad de las estructuras y procesos fisiológicos que permiten a la semilla mantener altos índices de viabilidad. Los principales indicadores de la calidad fisiológica son la germinación y el vigor, que dependen del genotipo y del cuidado de su desarrollo en la producción y del manejo postcosecha (Perry, 1972; Moreno et al., 1988).

Atributos fisiológicos:

- Concentración de nutrientes
- Concentración de azúcares de reserva
- Letargo de yemas terminales
- Fluorescencia de pigmentos fotosintéticos
- Liberación de electrolitos en raíces finas
- Conductancia estomática y tasa de fotosíntesis
- Termografía foliar por infrarrojos
- Emisión de compuestos volátiles inducidos por estrés
- Estima del vigor con colorantes vitales
- Concentración de clorofilas Potencial hídrico

Árboles y plantaciones de árboles

Los árboles son los seres vivos más grandes de la Tierra y los miembros más complejos, prósperos y diversos del reino vegetal con más de 80000 especies, que pueblan nuestro planeta desde hace 370 millones de años. Desde que aparecieron juegan un papel fundamental en la regulación del clima global al absorber dióxido de carbono (Linford 2006) y evapotranspirar ingentes cantidades de agua hacia la atmósfera. Los árboles fueron para el hombre primitivo desde aparición hace 5 millones de años, apoyo vital como sombra, refugio, alimento, combustible y materia prima para muchos productos (Pinto y Espezúa 2017).

Las plantaciones forestales surgieron luego de la selección y domesticación de las mejores especies de árboles por su valor alimenticio, utilitario y comercial. Actualmente, las plantaciones forestales son de muy alta tecnología tanto en la producción y el mantenimiento de los rodales, como en su rendimiento y cosecha, llegando a desarrollarse variedades y clones de árboles de muy rápido crecimiento por técnicas de mejoramiento genético convencional, con mayor eficiencia en el uso del agua en términos de peso de biomasa producida por peso de agua consumida (Pinto y Espezúa 2017).

Ecosistemas Forestales

Los ecosistemas forestales son el hogar de una numerosa diversidad biológica; desarrollan funciones ambientales como la regulación del agua, captura y almacenamiento de agua, captura de carbono, generación y conservación de suelos, entre otros (Comisión Nacional Forestal,2009).

Restauración de ecosistemas

La restauración de ecosistemas busca intervenir en la degradación de ecosistemas como paisajes, lagos, bosques y océanos para recuperar su funcionalidad ecológica en otras palabras busca mejorar la productividad y la capacidad de los ecosistemas para satisfacer las necesidades de la sociedad. Es fundamental alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible (ODS), sobre todo los relativos al cambio climático, erradicación de la pobreza, seguridad alimentaria, agua y conservación de la biodiversidad (Nueva Década de La ONU Para La Restauración de Los Ecosistemas, Una Gran Oportunidad Para La Seguridad Alimentaria y La Acción Climática, 2019).

La capacidad de restaurar un ecosistema depende de gran cantidad de conocimientos, como por ejemplo: estado del ecosistema antes y después del disturbio, grado de alteración de la hidrología, geomorfología y suelos, causas por las cuales se generó el daño, estructura, composición y funcionamiento del ecosistema preexistente, información acerca de condiciones ambientales regionales, interrelación de factores de carácter ecológico, cultural e histórico: es decir la relación histórica y actual entre el sistema natural y el sistema socioeconómico, disponibilidad de la biota nativa necesaria para la restauración, los patrones de regeneración, o estados sucesionales de las especies (por ejemplo, estrategias reproductivas, mecanismos de dispersión, tasas de crecimiento y otros rasgos de historia de vida o atributos vitales de las especies), tensionantes que detienen la sucesión y el papel de la fauna en los procesos de regeneración. (Ríos, 2011).

Degradación de Ecosistemas

La degradación de ecosistemas, es un problema ambiental que reduce la capacidad de los ecosistemas de permanecer en equilibrio. Esta degradación ocurre de diferentes formas, presenta una disminución de la biodiversidad y de los bienes y servicios que pudieran ofrecer. Un ecosistema no degradado, representa una fuente de riqueza para la sociedad y de allí la importancia de conservarlo en buenas condiciones. Una característica importante de los ecosistemas es la capacidad que tiene de recuperarse cuando este ha sido afectado (Comisión Nacional Forestal,2009).

Hace referencia al deterioro de un ecosistema. Un ecosistema se considera “saludable” si cuenta con altos niveles de biodiversidad y si además puede hacer frente a los cambios climáticos. Si un ecosistema se contamina, pierde especies clave o experimenta altos niveles de mortalidad de las especies, podría degradarse y considerarse “no saludable” (Comisión Nacional Forestal, 2009).

Plantación forestal

Una plantación forestal es un ecosistema boscoso establecido por medio de la instalación en el terreno de plántulas, semillas o ambos, en el proceso de forestación o reforestación(Pinto y Espezúa 2017).

Es la acción de plantar árboles en una zona para que se desarrollen con diferentes propósitos. Para que esto ocurra, previamente se debe llevar a cabo un proceso de planificación en donde deben considerarse los siguientes factores: la elección de las especies, el sitio de la plantación (propiedad, clima, agua, suelos, topografía), la calidad de las plantas y las técnicas utilizadas (Pinto y Espezúa 2017).

Según (Pinto y Espezúa 2017) plantar árboles con diversos propósitos es una actividad siempre alentada por los múltiples beneficios que brinda a la sociedad. Las plantaciones forestales con fines productivos son hoy vigorosos emprendimientos industriales en el mundo por la creciente demanda global de la madera y sus derivados.

Conceptualmente, se puede resumir que las plantaciones forestales son el resultado de plantar arboles forestales, destinados a diferentes fines, en zonas desprovistas de los mismos mediante un plan de forestación o reforestación con un adecuado manejo silvicultural, entendiéndose por:

- Forestación: Plantar arboles forestales en zonas donde no han existido los mismos.
- Reforestación: Repoblar con especies forestales sectores en donde existieron arboles y que ya fueron aprovechados.
- Manejo Silvicultural: Todas las operaciones necesarias para generar, explotar y proteger los bosques; así como para recolectar sus productos.

Restauración Forestal

Es el conjunto de actividades dedicadas a la rehabilitación de un ecosistema forestal degradado, para recuperar y restaurar parcial o totalmente las funciones originales del mismo y mantener las condiciones que aseguren su persistencia y evolución (Comisión Nacional Forestal, 2009).