

**ARREGLOS FLORÍSTICOS PARA LA RESTAURACIÓN DEL  
BOSQUE SECO TROPICAL EN EL VALLE DEL CAUCA: ANÁLISIS  
DE ALTERNATIVAS BAJO RESTRICCIONES DE RECURSOS Y  
ESCENARIOS DE FACTORES ABIÓTICOS**



**DANIEL RUIZ ACERO**

**Trabajo de Grado para optar por el título de Magister en  
Conservación y Uso de Biodiversidad**  
Modalidad de Investigación

Directora: LILIA LISSETH ROA FUENTES, PhD

Codirector: CRISTIAM ANDRÉS GIL GONZÁLEZ, MEng

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y RURALES  
MAESTRÍA EN CONSERVACIÓN Y USO DE BIODIVERSIDAD

2018

**ARREGLOS FLORÍSTICOS PARA LA RESTAURACIÓN DEL  
BOSQUE SECO TROPICAL EN EL VALLE DEL CAUCA: ANÁLISIS  
DE ALTERNATIVAS BAJO RESTRICCIONES DE RECURSOS Y  
ESCENARIOS DE FACTORES ABIÓTICOS**

**DANIEL RUIZ ACERO**

**Trabajo de Grado para optar por el título de Magister en  
Conservación y Uso de Biodiversidad**

Modalidad de Investigación

Directora: LILIA LISSETH ROA FUENTES, PhD

Codirector: CRISTIAM ANDRÉS GIL GONZÁLEZ, MEng

ALEX MAURICIO GONZÁLEZ MENDEZ, PhD

JORGE HERNÁN JACOME REYES, PhD

Evaluadores del Proyecto de Grado

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y RURALES  
MAESTRÍA EN CONSERVACIÓN Y USO DE BIODIVERSIDAD

2018

Nota de Advertencia: **Artículo 23 de la Resolución No. 13 de Julio de 1946.**

*“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velará por qué no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y por qué las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia”.*

## CONTENIDO

RESUMEN.....	6
ABSTRACT .....	6
INTRODUCCIÓN GENERAL DEL TRABAJO .....	7
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN Y OBJETIVOS.....	8
ARREGLOS FLORÍSTICOS PARA LA RESTAURACIÓN DEL BOSQUE SECO TROPICAL EN EL VALLE DEL CAUCA: ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS BAJO RESTRICCIONES DE RECURSOS Y ESCENARIOS DE FACTORES ABIÓTICOS .....	9
RESUMEN.....	9
INTRODUCCIÓN .....	9
<i>Modelos de optimización para restauración .....</i>	11
MÉTODOS.....	12
<i>Localización del área potencial para restauración del BsT en el Valle del Cauca ....</i>	13
<i>Composición y estructura del BsT .....</i>	14
<i>Caracterización de especies para restauración del BsT en el Valle del Cauca.....</i>	14
<i>Análisis de factores abióticos .....</i>	15
<i>Respuesta de especies a escenarios de aridez .....</i>	16
<i>Área disponible para restauración, densidad y forma del arreglo.....</i>	17
<i>Precio del material vegetal y presupuesto disponible .....</i>	19
<i>Determinación de especies y cantidad de individuos a sembrar .....</i>	20
<i>Metodología para establecer el número de núcleos y su localización .....</i>	23
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	26
<i>Escenarios de estrés hídrico .....</i>	26
<i>Selección de especies e individuos a sembrar .....</i>	29
<i>Núcleos y su localización en el área a restaurar.....</i>	32
CONCLUSIONES .....	34
LITERATURA CITADA.....	35
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL TRABAJO .....	42

LITERATURA CITADA EN INTRODUCCIÓN Y CONCLUSIONES .....	43
ANEXOS.....	44

### LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Escenarios de Estrés Hídrico de acuerdo con el Índice de Aridez en Colombia ...	16
Tabla 2. Rangos de densidad de la madera en respuesta a escenarios de déficit de agua....	17
Tabla 3. Metodología para calcular número de núcleos y localizarlos en el área a restaurar .....	23
Tabla 4. Información de Estaciones Analizadas – BsT en el Valle del Cauca.....	27
Tabla 5. % de Meses en Rangos de Índices de Aridez – ene/dic (2006-2017) – BsT en el Valle del Cauca.....	27
Tabla 6. Valores Históricos por percentiles de Índices de aridez de estaciones de BsT en el Valle del Cauca.....	28
Tabla 7. Especies y número de individuos a sembrar para restauración de BsT en el Valle del Cauca.....	29
Tabla 8. Especies seleccionadas según escenarios de Estrés Hídrico – BsT Valle del Cauca .....	31
Tabla 9. Variables de salida de modelo de selección – Parámetros para nucleación y localización.....	32
Tabla 10. Diseño del arreglo al interior de cada núcleo de restauración .....	33

### LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Zona de potencial restauración de Bosque Seco Tropical en el Valle del Cauca. Fuente: Elaboración propia a partir de IAVH (2014) e IDEAM (2018).....	13
Figura 2. Diseño de núcleo de restauración en forma de teselado hexagonal.....	19
Figura 3. Modelo de cuadrícula para localización de núcleos de restauración .....	26
Figura 4. Frecuencia de meses según valores de índices de aridez – BsT en el Valle del Cauca – 6 Estaciones .....	28
Figura 5. Localización de los núcleos en el área de restauración.....	34

## RESUMEN

Dada la vulnerabilidad del Bosque Seco Tropical (BsT) en Colombia y en particular en el Valle del Cauca, en este trabajo se propone un enfoque de optimización a través del modelamiento de la selección de especies para arreglos florísticos, partiendo de la caracterización de las especies para uso en restauración de BsT, incluyendo aspectos biológicos, rasgos funcionales y atributos no biológicos y teniendo en cuenta factores abióticos asociados al área de intervención. El modelo establece una relación entre escenarios de sequía y la elección de especies con mayor probabilidad de sobrevivir considerando el rasgo funcional de densidad de la madera y las restricciones de recursos (espacio y presupuesto). Adicionalmente, se propone una metodología para la configuración del arreglo en núcleos con formas geométricas regulares que optimicen la relación área/perímetro y disminuyan el efecto de borde. Finalmente, se analizan y sugieren medidas de distancia para la determinación de la cantidad de núcleos y su localización en el área de restauración. El desarrollo del modelo y las metodologías propuestas permiten demostrar la utilidad del uso de herramientas de optimización para diseñar arreglos que respondan a requerimientos ecológicos sujetos a las restricciones de recursos que enfrentan los proyectos de restauración.

**Palabras Clave:** Bosque Seco Tropical, Programación Lineal, Densidad de la Madera, Índice de Aridez.

## ABSTRACT

Given the vulnerability of the Tropical Dry Forest (TdF) in Valle del Cauca, Colombia; this research offers an approach to optimize the selection of floristic arrangements, starting from the characterization of the species for use in TdF restoration, including biological aspects, functional traits and non-biological attributes, considering the abiotic factors associated with the area of intervention. The model suggests a relationship between drought scenarios and the choice of species most likely to survive according to the wood density functional trait and resource constraints. Additionally, it proposes a methodology for the configuration of the arrangement with regular geometric shapes that optimize the area / perimeter ratio and decrease the edge effect. Finally, distance measurements were analyzed and selected to determine the number of nuclei and their location in the restoration area. The development of the model and the suggested approach show the usefulness of optimization tools for the design of floristic arrangements that respond to ecological requirements and resource constraints faced by restoration projects.

**Keywords:** Tropical Dry Forest, Linear Programming, Wood Density, Aridity Index.

## INTRODUCCIÓN GENERAL DEL TRABAJO

El Bosque Seco Tropical (BsT) tiene gran importancia en términos ecológicos debido, entre otros aspectos, a su capacidad de adaptación a periodos de sequía. Algunas áreas de BsT pueden alcanzar temperaturas superiores a 25 °C con precipitaciones en algunos casos inferiores a 200 mm anuales, siendo estas áreas representativas del 1% del territorio nacional que se encuentran sometidas a condiciones de alto estrés hídrico (IDEAM, 2014). En consecuencia, varias de las especies de plantas, propias de estos ecosistemas, presentan caducidad estacional y las especies animales desarrollan estrategias fisiológicas y de comportamiento para enfrentar las prolongadas épocas de déficit de agua. Dichas adaptaciones han favorecido altos niveles de endemismo, incluso superiores a bosques húmedos adyacentes, por lo que la degradación del BsT conlleva a una amenaza permanente sobre especies de plantas y animales que únicamente se localizan y se encuentran adaptadas a este ecosistema (Portillo-Quintero et al., 2015; Dirzo y Raven, 2003).

Se estima que en Colombia el área original de Bosque Seco Tropical (BsT) llegó a comprender alrededor de 80.000 km<sup>2</sup>, abarcando territorios de las regiones Caribe, Norte Andina, adyacente al río Magdalena, valle geográfico del río Cauca, suroccidente y Llanos Orientales. Sin embargo, mediciones realizadas en la última década indican que se conserva menos del 8% de la extensión original y a pesar de esto, este bioma representa tan sólo el 5% del total de áreas protegidas en el país y es considerado como uno de los ecosistemas menos estudiados (Pizano y García, 2014). En la actualidad, el BsT se encuentra representado por pequeñas áreas remanentes en matrices de paisajes altamente fragmentados y degradados principalmente por factores antropogénicos, como la ampliación de la frontera agropecuaria. Entre todas las zonas del país en donde persisten fragmentos de BsT, se estima que alrededor del Valle geográfico del río Cauca se localizan los de mayor vulnerabilidad, con pérdidas de cobertura boscosa superiores al 90% y una cantidad aproximada a 1.600 relictos en forma de parches separados cuya área promedio es de 6,03 ha., ubicados a distancias mínimas de 500 m entre sí (Vargas, 2012; Arcila-Cardona et al., 2012).

Por su estado actual de degradación y fragmentación, se ha planteado la importancia de la restauración ecológica como mecanismo para restablecer este ecosistema; en alguna medida, a las condiciones existentes previas a las perturbaciones históricas que lo han afectado. Sin embargo, los remanentes maduros de BsT se distribuyen exclusivamente en la región de la Orinoquía (González, et al., 2018); así, lo que para la mayoría del territorio podría ser restaurado tendría como referencia a los bosques de la Orinoquía, mediante intervenciones de alta intensidad que implican importantes esfuerzos en términos de planificación y destinación de recursos (físicos, humanos, financieros) para su ejecución (Walker et al., 2014).

El reconocimiento de la importancia de este ecosistema ha conducido al desarrollo de políticas y planes para la restauración del BsT en Colombia (MADS, 2013); no obstante, el gasto público e inversión ambiental en el país es marginal, llegando a ocupar la quinta posición en estos rubros según un análisis realizado por CEPAL (2014) a nueve países de

Latinoamérica en el período 1995-2008, con montos equivalentes a un promedio anual inferior al 0,30% del PIB. En el conflicto entre la necesidad apremiante de recursos y a la vez su contexto de escasez, se requiere la implementación de estrategias efectivas que hagan uso racional de recursos, que se concentren en alcanzar objetivos de restauración ecológica (Billionnet, 2013), y que contemplen, por ejemplo, las variables relativas al diseño de arreglos florísticos para la restauración, tales como: el conjunto de especies a seleccionar, el número de individuos por cada especie, los rasgos funcionales de las plantas que respondan a las características del territorio a intervenir, la forma de manejo de estas especies, el número, distancia y tamaño de parches o núcleos; los factores abióticos (*i.e.*, precipitación, temperatura, insolación, erosión, salinidad, condición del suelo, etc.), el presupuesto y espacio disponible para la intervención, entre otros aspectos (Vargas y Ramírez, 2014).

Considerando la necesidad de la implementación de estrategias efectivas de restauración, el contexto de limitación de recursos y la complejidad asociada al diseño de arreglos florísticos para restauración, en este trabajo se busca realizar aportes a la integración de las diferentes variables relevantes para este diseño a través del desarrollo de un modelo de optimización para la selección de especies para restauración de BsT, así como de una metodología para configurar el arreglo y localizarlo en un área de intervención. Aquí los resultados son presentados en el artículo “Arreglos florísticos para la restauración del bosque seco tropical en el valle del cauca: análisis de alternativas bajo restricciones de recursos y escenarios de factores abióticos”.

## **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN Y OBJETIVOS**

La pregunta de investigación que sustenta este trabajo es la siguiente: ¿Cuáles son las mejores alternativas de arreglos florísticos para la restauración del BsT en el Valle del Cauca considerando restricciones de recursos y escenarios de factores abióticos?

El objetivo general de este trabajo consiste en:

- Modelar la selección de arreglos florísticos para la restauración del bosque seco tropical en el Valle del Cauca, considerando restricciones de recursos y escenarios de factores abióticos.

Los objetivos específicos propuestos son:

- Caracterizar las especies de plantas que podrían ser empleadas para la restauración del BsT en el Valle del Cauca.
- Diseñar un modelo de optimización para la generación de alternativas de arreglos florísticos para la restauración del BsT en el Valle del Cauca.
- Identificar y priorizar las alternativas de arreglos florísticos más recurrentes para restauración del BST en el Valle del Cauca considerando escenarios de factores abióticos.

# ARREGLOS FLORÍSTICOS PARA LA RESTAURACIÓN DEL BOSQUE SECO TROPICAL EN EL VALLE DEL CAUCA: ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS BAJO RESTRICCIONES DE RECURSOS Y ESCENARIOS DE FACTORES ABIÓTICOS

Daniel Ruiz Acero

## RESUMEN

Dada la vulnerabilidad del Bosque Seco Tropical (BsT) en Colombia y en particular en el Valle del Cauca, en este trabajo se propone un enfoque de optimización para el diseño de estrategias de restauración de este ecosistema. Se lleva a cabo el modelamiento de la selección de especies para arreglos florísticos a través de programación lineal, partiendo de la caracterización de las especies para uso en restauración, incluyendo aspectos biológicos, rasgos funcionales y atributos no biológicos (e.g., precio del material vegetal); a la vez que se tienen en cuenta factores abióticos asociados al área de intervención (e.g., precipitación, temperatura, velocidad del viento, insolación). El modelo busca establecer una relación entre escenarios de sequía y la elección de especies con mayor probabilidad de sobrevivir a estos escenarios, teniendo en cuenta el rasgo funcional de densidad de la madera y considerando las restricciones de recursos (espacio y presupuesto).

Adicionalmente, se propone una metodología para la configuración del arreglo en núcleos con formas geométricas regulares que optimicen la relación área/perímetro y disminuyan el efecto de borde. Finalmente, se analizan y sugieren medidas de distancia para la determinación de la cantidad de núcleos y su localización en el área de restauración. El desarrollo del modelo y las metodologías propuestas permiten demostrar la utilidad del uso de herramientas de optimización para diseñar arreglos que respondan a requerimientos ecológicos sujetos a las restricciones de recursos que enfrentan los proyectos de restauración.

**Palabras Clave:** Bosque Seco Tropical, Programación Lineal, Densidad de la Madera, Índice de Aridez.

## INTRODUCCIÓN

El Bosque Seco Tropical (BsT) representa aproximadamente el 42% de los bosques tropicales del mundo y, a pesar de su alto grado de endemismo y de la vulnerabilidad de las especies que lo habitan, está expuesto a diversas amenazas (Quesada et al., 2009; Dirzo y Raven, 2003). En América, se conserva menos del 44% del BsT original, en donde lo que antes eran grandes extensiones continuas de cobertura vegetal en sabanas y sub-montañas,

hoy se encuentran fragmentadas y expuestas a alta presión antropogénica (Portillo-Quintero et al., 2015).

El BsT es un bioma con temperatura promedio anual entre 17 y 25 °C, con rangos anuales de precipitación entre 200 y 2000 mm, distribuidas de forma estacional con al menos 3 meses (en promedio 6 meses) secos por año (*i.e.* precipitación menor a 200 mm) (Sánchez-Azofeifa, et al., 2005; Pennington et al., 2009), en donde el déficit hídrico limita el crecimiento, la productividad y el ciclaje de materia orgánica, incidiendo negativamente en la germinación y el establecimiento de semillas en el BsT (Fajardo et al., 2013). Dicho régimen climático ha favorecido el desarrollo de vegetación dominada por árboles caducifolios (al menos el 50%) (Sánchez-Azofeifa, et al., 2005; Vieira y Scariot, 2006), y plantas especialmente adaptadas a estos factores abióticos. Las especies muestran un amplio rango de adaptaciones morfológicas y funcionales, evidenciando plasticidad fenotípica frente a la variación climática para maximizar la tasa fotosintética y favorecer la conservación del recurso hídrico y la regulación de la temperatura (Portillo-Quintero et al., 2015).

En Colombia se estima que se conserva menos del 8% de su extensión original y representa el 5% del total de áreas protegidas en el país, por lo que, dada su alta vulnerabilidad, el BsT se considera prioritario para la implementación de estrategias de restauración ecológica (MADS, 2013). La expansión de las fronteras agrícolas pecuarias y urbanas son las principales causas de fragmentación y deterioro del BsT (Pizano y García, 2014), siendo el valle geográfico del Río Cauca, el territorio de mayor vulnerabilidad en el país, en donde se presentan pérdidas de cobertura boscosa superiores al 90% y alrededor del 80% de la cobertura que persiste se localiza en áreas de montaña como zonas de transición hacia bosques húmedos (Vásquez, 2016; Alvarado y Otero, 2015; Vargas, 2012). En la cuenca alta del río Cauca (desde el norte del Cauca hasta Risaralda) se encuentran menos de 1600 fragmentos con tamaño promedio de 6,03 ha., de los cuales el 75% se localizan a 500 m o más del fragmento más cercano, la mayoría de forma dendrítica con hasta 17 núcleos, presentando un comportamiento de pequeños parches separados (Arcila-Cardona et al., 2012).

Adicionalmente, para el BsT de Valle del Cauca, se han identificado coberturas y zonas potenciales para restauración ecológica (Vargas, 2012). Se ha generado un listado de 1357 especies de plantas del BsT, detallando aspectos como el hábito de crecimiento, la rareza, la categoría de amenaza, el estado sucesional, el tipo de dispersión y distribución en la región (Vargas, 2012). Complementariamente, con características como el síndrome de dispersión, el comportamiento de almacenamiento de las semillas y el tipo de frutos, de especies arbóreas dominantes del BsT en Colombia, se han identificado 39 especies de interés para la restauración ecológica (Galindo y Roa-Fuentes, 2017), las cuales se encuentran dentro del conjunto propuesto por Vargas (2012). Estos trabajos priorizan algunas especies que pueden ser aptas para restauración del BsT en Colombia; sin embargo, no consideran factores abióticos ni presupuestales, los cuales son limitantes para el diseño de arreglos florísticos. De igual forma no se incorporan aspectos del diseño de los arreglos florísticos, como la distribución y densidad de individuos de las especies que podrían emplearse.

En busca de dinamizar los procesos naturales de sucesión ecológica, mediante la restauración ecológica para recomponer las comunidades del ecosistema, se pueden requerir diferentes grados de manipulación; es decir, diferentes intensidades de intervención. Las acciones por implementar dependerán de diversos factores, tales como la magnitud de las perturbaciones que enfrenta el ecosistema, la escala espacial o temporal del área objeto de intervención, la composición y estructura que se espera alcanzar, entre otros (Walker et al., 2014). Para el caso del BsT en el Valle del Cauca, teniendo en cuenta que se trata de un bioma altamente fragmentado con relictos de escasa extensión, se justifica la realización de intervenciones de alta intensidad (González, et al., 2018).

En consecuencia, el diseño y aplicación de estrategias efectivas para la restauración del BsT, requiere contemplar aspectos críticos relacionados con la configuración de los arreglos florísticos, tales como la selección de especies, el número de individuos por especie, los rasgos funcionales de las plantas que respondan a las características del territorio a intervenir (Soares et al., 2016; Miller et al., 2016; Pizano y García, 2014; Vieira y Scariot, 2006), la forma de manejo de estas especies, el número y tamaño de parches, la distancia entre parches, los factores abióticos (estrés hídrico, temperatura, erosión, salinidad, condición del suelo, entre otros) (Biodiversity International, 2007; Vásquez, 2016), el presupuesto y el espacio (área) disponible.

Dentro de los esquemas de intervención que abarcan la multidimensionalidad del reto de generar arreglos florísticos para la restauración ecológica se pueden identificar: i) modelos empíricos de tratamientos que consideran especialmente experiencias previas y conocimiento de expertos (Ceccon, 2014; Pandey y Prakash, 2014; Elliott et al., 2014; Sanchez-Azofeifa et al., 2013; Rodríguez, 2006;) y; ii) modelos de optimización matemática a través de algoritmos que evalúan un conjunto de alternativas, buscando encontrar la más óptima que responda a objetivos previamente definidos (Billionnet, 2013).

### ***Modelos de optimización para restauración***

Para el caso en el que se emplean modelos de optimización matemática, generalmente se concentran en la determinación del tamaño y localización de corredores biológicos que conectarían tres o más parcelas remanentes de un bosque a restaurar de tal forma que se minimice la distancia recorrida para el intercambio de material vegetal entre las parcelas (Williams, 1998). De este mismo problema, se derivan otros enfocados en maximizar el número de especies a localizar en los corredores, dadas restricciones de espacio o presupuesto, así como minimizar el costo de desplazamiento (en términos de tiempo, dinero u otro recurso) dadas restricciones de un mínimo de población a conservar, o maximizar el flujo de especies que transitan en los corredores (optimizar conectividad), sujeto a una restricción de presupuesto (Billionnet, 2010, McBride et al., 2010; Finke and Sonenschein, 2008; Crossman y Bryan, 2006). Otra variante del problema de localización consiste en seleccionar áreas susceptibles de restauración de tal manera que se maximice la intervención

en zonas con múltiples tensores ambientales (principalmente disturbios y perturbaciones antropogénicas), sujeto a restricciones de presupuesto y tiempo (Neeson et al., 2016).

A pesar de la posible efectividad del enfoque de optimización, una de sus mayores debilidades consiste en que no se suelen considerar problemas reales, ni se cuenta con la participación de expertos en la implementación de estrategias de conservación, por lo que, en la mayoría de los casos, se desarrollan modelos teóricos que dejan por fuera el contexto y la realidad de la práctica de la conservación (Knight et al., 2008). Adicionalmente, muchos de los problemas de conservación que son modelados bajo la perspectiva de programación lineal, se construyen a partir de escenarios determinísticos, por lo que no tienen en cuenta los factores abióticos sujetos a incertidumbres y a datos históricos. Así, las soluciones “óptimas” corresponderán a la mejor solución en un determinado momento de tiempo, bajo unas circunstancias espacio temporales definidas, que pueden no llegar a ser óptimas cuando dichas circunstancias se modifican (King y Wallace, 2012).

Finalmente, un aspecto en común que se identifica en los modelos de optimización es que implican esquemas de intervención de baja intensidad, en los que se presupone la existencia de remanentes de bosque y el problema de programación se enfoca en la localización y tamaño de corredores que conecten las áreas de bosque ya existentes y minimicen el recorrido para el intercambio de material vegetal entre las localizaciones. Sin embargo, estos supuestos no responden a la realidad del BsT en Colombia, dado su alto nivel de fragmentación y deterioro.

Teniendo en cuenta el estado actual de vulnerabilidad y dada la importancia del BsT en Colombia y en particular en el Valle del Cauca, en este trabajo se desarrolla una propuesta de optimización para el diseño de arreglos florísticos útiles para la ejecución de estrategias de restauración en esquemas de intervención de alta intensidad. Para lograr dicho objetivo, se lleva a cabo el modelamiento y optimización de la selección de las especies y arreglos florísticos para la restauración del BsT en el Valle del Cauca, considerando las restricciones y disponibilidad de recursos, así como la incertidumbre asociada a los factores abióticos, en particular al estrés hídrico.

## **MÉTODOS**

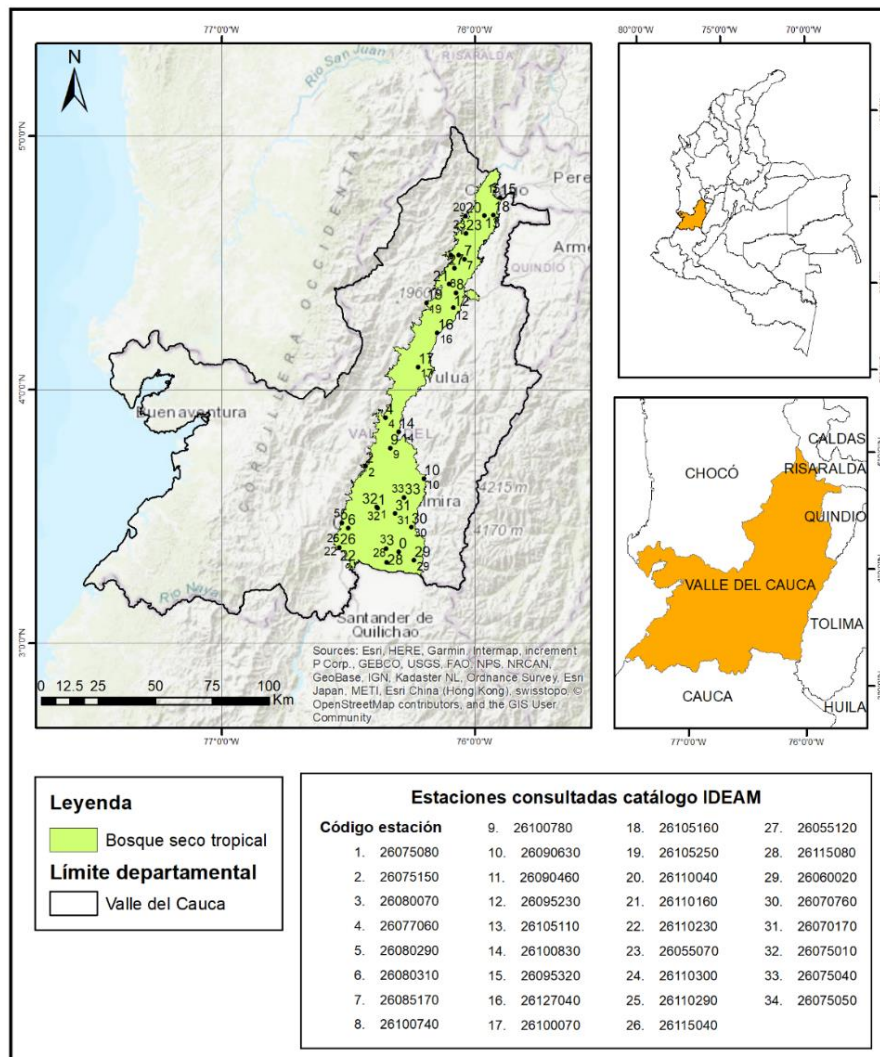
Para el modelamiento y posterior optimización del proceso de selección de arreglos florísticos para restauración del BsT en el Valle del Cauca, se considera la configuración del área objeto de intervención, la caracterización de las especies para uso en restauración incluyendo rasgos funcionales y atributos no biológicos (costo de semillas y manejo), los factores abióticos (precipitación, temperatura, índice de aridez), así como demás parámetros, restricciones y variables de decisión propias del diseño de un arreglo.

## Localización del área potencial para restauración del BsT en el Valle del Cauca

De acuerdo con el estudio desarrollado por el Instituto de Investigación Alexander von Humboldt (IAVH, 2014), se identifica un área potencial para la restauración del BsT en el Valle del Cauca. Sobre esta área, se geolocalizan las estaciones de medición de variables climatológicas activas por parte del IDEAM (2018), que corresponden a 34 (Figura 1).

El área con potencial de restauración corresponde a 385.000 hectáreas, cuya altitud mínima corresponde a 909 y máxima a 1050 msnm. Teniendo en cuenta datos históricos de proyectos de restauración ejecutados en el Valle del Cauca, en esta zona se propone seleccionar áreas con tamaños entre 20 y 100 hectáreas para intervención en restauración ecológica. Para este caso y a manera de referencia, se selecciona un área de restauración de 20 hectáreas.

**Figura 1.** Zona de potencial restauración de Bosque Seco Tropical en el Valle del Cauca. Fuente: Elaboración propia a partir de IAVH (2014) e IDEAM (2018)



### ***Composición y estructura del BsT***

La diversidad florística de los BsT en Colombia varía en función de las condiciones ambientales de las diferentes regiones en donde se distribuye este ecosistema. González et al., (2018) identificaron tres regiones que podrían agrupar los BsT según factores abióticos como el tipo y características del suelo, el gradiente altitudinal, la temperatura media anual, la precipitación media, entre otros. Estos grupos corresponden a los denominados Caribe, Orinoquia y Valles Interandinos. Dentro de los grupos se localizan seis regiones en donde la presencia de especies de acuerdo con el estado sucesional (*i.e.*, temprano, intermedio, tardío) muestran características similares en cinco de estas regiones. Así, la frecuencia relativa de especies de sucesión temprana es superior al 50% en el Caribe, Valle del Cauca, Valle del Magdalena, Norte de los Andes y Patía. También, las especies de sucesión intermedia corresponden a más del 40% de la estructura; mientras que las de sucesión tardía son inferiores al 5% del total. Sin embargo, en la Orinoquia ocurre el fenómeno contrario, pues las tardías son cercanas al 50%, las intermedias al 40% y el porcentaje restante corresponde a las de sucesión temprana (González, et al., 2018).

La composición de especies según el estado sucesional del BsT en Colombia, está dominada por especies generalistas que se ven favorecidas por las perturbaciones antropogénicas (infraestructura, expansión de la frontera agropecuaria) y la creciente fragmentación que producen en estos ecosistemas. La región menos afectada es la Orinoquia, en donde se identifican los únicos relictos de BsT que podrían considerarse maduros (González, et al., 2018). Para el caso de intervenciones orientadas a restauración ecológica, se estima que una proporción de 30 a 40% de especies de sucesión temprana en los núcleos de restauración puede favorecer el establecimiento de todas las especies del núcleo (Nguyen et al. 2014); aunque se ha identificado que el uso de especies pioneras de corta duración en una baja cantidad, puede favorecer la colonización de especies invasoras (Lamb et al., 2005); por lo que para este caso se asume una proporción superior al 30% para especies de sucesión temprana, 30% para especies de sucesión intermedia y 30% para especies de sucesión tardía. El porcentaje restante podrá ser ocupado por especies de cualquier estado sucesional.

### ***Caracterización de especies para restauración del BsT en el Valle del Cauca***

Se han registrado un aproximado de 2569 especies de plantas que conforman la composición del BsT colombiano (Pizano y García, 2014). Los ejercicios de priorización han llegado a una lista de al menos 39 especies para Colombia (Galindo y Roa-Fuentes, 2017), y se cuenta con el listado y caracterizado 921 especies para el BsT del Valle del Cauca (Vargas, 2012). A partir de estas listas y considerando la disponibilidad de información en otras bases de datos (Zanne et al., 2009, Kattge et al., 2001) se llevó a cabo la caracterización de las especies de BsT identificados para el Valle del Cauca, registrando la información en una matriz de datos que contempla: nombre de la especie, localización en el Valle del Cauca, hábitat, rareza, categoría de amenaza (si aplica), escala de amenaza, estado sucesional (temprana, intermedia, tardía), modo de dispersión, precio del material vegetal, porcentaje de

germinación, diámetro del tronco (DAP), altura máxima y densidad de la madera. En total, se logró la caracterización completa de 49 especies como se aprecia en el *Anexo 1 – Caracterización de Especies*.

### **Análisis de factores abióticos**

Para el desarrollo del modelo, en primera instancia se identifica la información de los factores abióticos en el área de intervención (Vásquez, 2016; Biodiversity International, 2007; Cecon et al., 2006), principalmente las siguientes variables: temperatura media, mínima y máxima, temperatura del punto de rocío, velocidad del viento, insolación y precipitación (IDEAM, 2018). Esta información se obtiene a partir de 6 de las 34 estaciones de medición localizadas en el área potencial de restauración del BsT en el Valle del Cauca, que presentan datos mensuales para estas variables desde enero de 2006 hasta diciembre de 2017, los cuales se emplearon para calcular los índices de aridez mensuales para el período 2006-2017.

$$IA = \frac{(ETP - ETR)}{ETP}$$

Donde:

- IA* Índice de aridez (adimensional de 0 a 1)
- ETP* Evapotranspiración potencial (mm/mes)
- ETR* Evapotranspiración real (mm/mes)

Para el cálculo de la evapotranspiración real (*ETR*) se emplea la ecuación de Budyko (Zhang et al., 2008):

$$ETR = \sqrt{ETP * P * \tanh \frac{P}{ETP} * \left[ 1 - \cosh \frac{ETP}{P} + \sinh \frac{ETP}{P} \right]}$$

Donde:

- P* Precipitación media mensual (mm/mes)

El índice de aridez implica la relación entre la precipitación (*P*) y la evapotranspiración potencial (*ETP*) en un área específica y en un período de tiempo determinado (en este caso mensual). A su vez, la evapotranspiración corresponde al compendio de la evaporación desde el suelo y la transpiración de las plantas, siendo la potencial la máxima evapotranspiración posible cuando el suelo está abundantemente provisto de agua (*i.e.*, en capacidad de campo) y cubierto con una cobertura vegetal completa. El parámetro *ETP* se estima como la evapotranspiración de referencia (*ET<sub>o</sub>*) empleando la ecuación de FAO Penman - MonteithPenney (Allen et al., 1998), que representa la razón de evapotranspiración de una superficie de referencia sin restricciones hídricas:

$$ETP \approx ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

Donde:

$ET_o$	Evapotranspiración de referencia (mm/mes)
$R_n$	Radiación neta en la superficie (MJ/m/mes)
$\Delta$	Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/°C)
$G$	Flujo de calor de suelo (MJ/m/mes)
$\gamma$	Constante psicrométrica (kPa/°C)
$T$	Temperatura media del aire
$u$	Velocidad del viento (m/s)
$e_s$	Presión de vapor de saturación (kPa)
$e_a$	Presión real de vapor (kPa)

Los índices de aridez mensuales calculados y su respectivo análisis se presentan en la sección de resultados, en donde se identifica el déficit hídrico a partir de rangos de este indicador de acuerdo con el IDEAM (Bernal y Santander, 2016), que se resumen la Tabla 1.

**Tabla 1.** Escenarios de Estrés Hídrico de acuerdo con el Índice de Aridez en Colombia

Parámetro Abiótico	Valor	Rango de Índice de Aridez	
		Inferior	Superior
Bajo déficit de agua	1	0,40	0,50
Medio déficit de agua	2	0,50	0,60
Alto déficit de agua	3	0,60	

### ***Respuesta de especies a escenarios de aridez***

La respuesta del arreglo florístico y en particular de cada una de las especies seleccionadas a escenarios de estrés hídrico en el BsT, dependerá de los rasgos funcionales que demuestran diferencias adaptativas ante este tensor ambiental (Chaturvedi et al., 2011). Algunos de estos rasgos que se han estudiado se relacionan con el control del agua y la temperatura en las hojas y en el tronco, tales como área foliar, espesor de la hoja, contenido de nitrógeno y fósforo, conductancia estomática, diámetro y densidad de vasos vasculares, contenido de materia seca, densidad de la madera, altura del tronco, anatomía de la madera, entre otros (Apgaua et al., 2015; Hoeber et al., 2014; Worbes et al., 2013).

Dentro de todos estos rasgos funcionales, diversos estudios han identificado que la densidad de la madera es un buen predictor de la productividad y de la eficiencia hidráulica en plantas de BsT, en donde se espera la presencia de individuos con una alta densidad de la madera como respuesta adaptativa a la sequía (Werden et al., 2017; Ibanez et al., 2017; Hoeber et al., 2014; Rosner et al., 2011; Rosner et al., 2008; Sperry et al., 2002; Weither et al., 1995). En consecuencia, la densidad de la madera se asume para este trabajo como el rango funcional de respuesta al filtro ambiental del déficit hídrico. De acuerdo con Ibanez et al (2017), a partir de una densidad superior al rango de 0,60 – 0,70 (g/cm<sup>3</sup>), una especie puede tolerar un ecosistema de BsT altamente deficitario de agua. Así, para la construcción del

presente modelo se asumen rangos de respuesta de las especies al estrés hídrico (*i.e.*, Índice de Aridez), según su valor de densidad de madera (Tabla 2).

**Tabla 2.** Rangos de densidad de la madera en respuesta a escenarios de déficit de agua

Parámetro para Especies	Valor	Rango de Densidad Madera	
		Inferior	Superior
Apta para Bajo déficit de agua	1	0,00	0,60
Apta para Medio déficit de agua	2	0,60	0,70
Apta para Alto déficit de agua	3	0,70	

### ***Área disponible para restauración, densidad y forma del arreglo***

Dentro del área objeto de restauración, que para este trabajo se ha establecido en 20 hectáreas, se deben localizar las especies de árboles de tal forma que ocupen la mayor área posible y se maximice la densidad de la estructura en la comunidad. Para BsT que se consideran maduros, se identifica una diversidad correspondiente a un rango entre 77 y 127 especies por hectárea (Griscom y Ashton, 2010). Sin embargo, para proyectos de restauración con recursos limitados, se han llegado a emplear en promedio entre 10 y 20 especies de BsT por hectárea sembrada (Leitão Filho et al., 2002).

Respecto a la densidad de individuos en el área de intervención, su distribución espacial puede influenciar la polinización y la producción de semillas. Una alta densidad de individuos tiende a favorecer la polinización cruzada y la variabilidad genética, incidiendo positivamente en el desempeño de las siguientes generaciones de individuos; sin embargo, también puede conllevar a fuerte competencia por recursos, causando que las plantas supriman parcial o totalmente su función reproductiva (McCallum et al., 2018). Generalmente, el esquema de plantaciones se realiza con densidades superiores a 2500 árboles por hectárea (equivalente a 0,25 individuos / m<sup>2</sup>), esperando que la interacción entre especies e individuos determine la composición final del bosque intervenido (Ceccon, 2013). Para efectos de este modelo, se empleará una densidad de 1 individuo / m<sup>2</sup>.

El uso del área disponible para restauración (*i.e.*, área efectiva de restauración) dependerá de la forma en que se configure el arreglo. La forma es importante, debido al efecto que tiene sobre las proporciones del borde y del interior del hábitat. Arreglos con formas regulares (círculos o cuadrados) presentan una mayor área aprovechada y un menor borde que arreglos con formas irregulares (Bell y Apostol, 2008; Cubina y Aide, 2001; Moline, 1999). Esta área de restauración puede cubrirse a través de un esquema de plantaciones que tienden a ocupar el espacio total disponible, o mediante esquemas de nucleación en los que se generan microhábitats de área superior a 64 m<sup>2</sup> separados entre sí, que pueden favorecer la interacción entre especies dinamizando el proceso sucesional para cubrir la totalidad del espacio de restauración en un horizonte de tiempo (Corbin y Holl, 2012; Bechara, 2006). Tanto el enfoque de plantación como el de nucleación han demostrado ser efectivos en términos del

reclutamiento de especies, pero la nucleación implica menores costos de intervención (Corbin et al., 2016; Zahawi et al., 2013).

Para este caso se plantea una estrategia de nucleación con parcelas (núcleos) que contengan una fracción de cada una de las especies que se seleccionen para la restauración. Cada núcleo debería diseñarse en forma aproximada a la circular, por considerarse óptima ya que implica un menor borde por unidad de área, reduciendo el efecto de las perturbaciones al interior del núcleo (Cook, 2001; Forman, 1995). Sin embargo, para la configuración del arreglo previa a la siembra, la forma circular no facilita la estimación del número de individuos ni del área que ocuparían dada una densidad de siembra pretendida. Por tal razón, el diseño del núcleo en forma de teselado hexagonal se constituye como la estrategia óptima para el aprovechamiento del espacio disponible, ya que permite una reducción del perímetro y en consecuencia del efecto de borde en el arreglo, debido a que cualquier partición de un plano en regiones de igual área tendrán un perímetro mayor o igual al de una composición de hexágonos regulares (Ráz, 2017; Vodopivec et al., 2010; Baron et al., 2007; Hales, 2001).

Así, para la densidad de siembra empleada (1 individuo / m<sup>2</sup>), se propuso un diseño de teselado hexagonal en donde cada hexágono tiene un área de 1m<sup>2</sup>, 6 lados de 0,62m y una apotema de 0,62m que corresponderá a la distancia radial entre los individuos que se sembrarían en cada vértice (6 puntos) y el centro (1 punto) para un total de 7 individuos en el primer hexágono (Figura 2). El área ocupada por cada núcleo dependería del número total de individuos (puntos) a sembrar, que se ubicarían bajo una configuración de anillos (o niveles) hexagonales concéntricos y vendría dada por la siguiente serie matemática:

$$\text{Área del Núcleo} = 1\text{m}^2 * \left( 6 * \sum_{i=0}^I a_i \right) + 1$$

Donde:

$a_i$  Anillo - nivel del núcleo

$i$  Conjunto de anillos – niveles del núcleo;  $i = 0, 1, 2, 3, \dots, I$

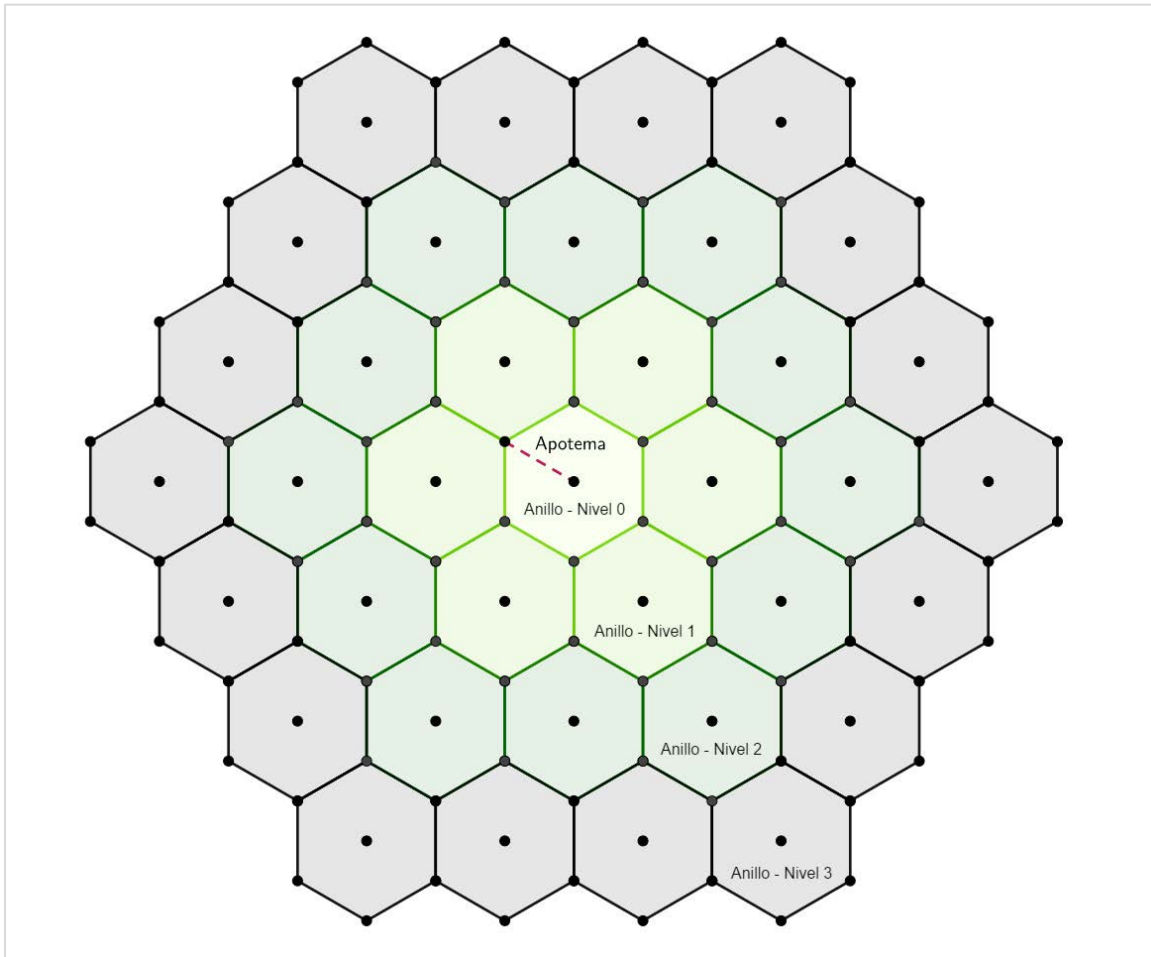
La cantidad de anillos (y en consecuencia el área del núcleo) se encuentra relacionada con la cantidad de individuos de la siguiente manera:

$$\text{Total de Individuos} = 6 * \left( \left( 2 * \sum_{i=0}^I a_i \right) + 1 \right) + 6 * a_i + \left( 6 * \sum_{i=0}^I a_i \right) + 1$$

La cantidad de individuos y el número de hexágonos por anillo, así como su área ocupada, se presentan en el *Anexo 2 - Diseño de Arreglo en Forma de Teselado Hexagonal*. La determinación de la posición que ocuparían las especies dentro de cada núcleo se realizó teniendo en cuenta en primera instancia la categoría sucesional; así, en las áreas exteriores del núcleo se ubican especies de sucesión temprana y hacia su interior se localizan las intermedias y tardías. En segunda instancia, para cada categoría sucesional, se ubican en el

exterior las especies cuyo síndrome de dispersión es viento, mientras que en el interior se localizan las que se dispersan por mamíferos, avifauna y capsular seco, en ese orden.

**Figura 2.** Diseño de núcleo de restauración en forma de teselado hexagonal



### ***Precio del material vegetal y presupuesto disponible***

Para la estimación del precio del material vegetal, se tuvo en cuenta información de mercado de 22 de las 50 especies que conforman la base de datos de este trabajo, particularmente el precio de las semillas, el porcentaje de germinación, la rareza de la especie y un costo fijo del material vegetal en vivero. Se asume que los individuos se van a sembrar en el sitio de restauración luego de la fase de vivero. La base de cálculo y el precio por especie se desglosan en el *Anexo 1 – Caracterización de Especies* y en el *Anexo 3 – Herramienta para la Selección de Especies*. Respecto al presupuesto total disponible, se asume un monto de \$100.000.000 para la intervención en lo que correspondería directamente al rubro de compra de material vegetal para un proyecto de restauración.

## ***Determinación de especies y cantidad de individuos a sembrar***

Para la determinación de las especies y el total de individuos por especie a sembrar, se planteó un modelo de programación lineal que comprende las variables, parámetros, función objetivo y restricciones que se detallan a continuación.

### Conjuntos e Índices

- $S$ : Conjunto de especies de BsT a seleccionar para restauración de la parcela a intervenir, indexadas por  $s$ . Para este caso,  $s = 1, 2, 3, \dots, 50$
- $P$ : Parcela (área) de restauración sobre la que se realizará la intervención, indexada por  $p$ . Para este caso  $p = 1$ .

### VARIABLES DE DECISIÓN

- $N_{sp}$ : Número de individuos a sembrar de la especie "s" en la parcela "p"
- $ES_{sp}$ : Especie "s" seleccionada para ser sembrada en la parcela "p"

$$ES_{sp} = \begin{cases} 1, & \text{si se selecciona la especie "s"} \\ 0, & \text{si no se selecciona la especie} \end{cases}$$

### Parámetros

- $E_s$ : Denomina a las especies "s" de sucesión temprana,  $E_s \in S$
- $I_s$ : Denomina a las especies "s" de sucesión intermedia,  $I_s \in S$
- $L_s$ : Denomina a las especies "s" de sucesión tardía,  $L_s \in S$
- $R_s$ : Corresponde al valor asignado al rango de densidad de la madera de la especie "s" en respuesta a escenarios de déficit de agua. Este parámetro se define en la Tabla 2 en donde se determina que  $R_s$  puede tomar el valor de 1, de 2 o de 3.
- $A_p$ : Corresponde al valor asignado a los escenarios de estrés hídrico de acuerdo con el Índice de Aridez en Colombia. Este parámetro se define en la Tabla 1 en donde se determina que  $A_p$  puede tomar el valor de 1, 2 o 3.
- $F_{sp}$ : Corresponde a la respuesta de la especie "s" al escenario de estrés hídrico, teniendo en cuenta su densidad de la madera. Si el valor asignado al rango de densidad de la madera (1, 2 o 3) es mayor al rango del escenario de estrés hídrico,

entonces la especie “s” podrá responder de mejor manera a las condiciones de aridez de la parcela. Por lo tanto:

$$F_{sp} = \begin{cases} 1, & \text{si } R_s \geq A_p \\ 0, & \text{si } R_s < A_p \end{cases}$$

- $T_p$ : Tamaño total de la parcela "p" destinada a la restauración. Su magnitud se expresa en  $m^2$  y para este caso se definió en 20 hectáreas.
- $D_s$ : Corresponde al área ocupada por cada individuo a sembrar. Su magnitud se expresa en  $\frac{m^2}{\text{individuo}}$  y para este caso se definió como  $\frac{1 m^2}{\text{individuo}}$
- $CS_s$ : Costo estimado por unidad comprada de material vegetal. Su valor se expresa en  $\frac{\$(COP)}{\text{individuo}}$ . Los precios se presentan en el *Anexo 1*.
- $BS$ : Presupuesto Total disponible para compra de material vegetal. Valores en  $\$(COP)$ . Para este caso se definió en  $\$100.000.000$
- $u$ : cota superior de  $N_{sp}$ ,  $u = 10 * 10^9$

### Función Objetivo

- Maximizar:

$$\sum_{sp} N_{sp}$$

### Restricciones

1. Límite de área disponible por parcela: la sumatoria del área requerida según los individuos a sembrar individuos de las especies seleccionadas, debe ser menor o igual al tamaño total de la parcela.

$$\sum_{s \in S} (N_{sp} * D_s) \leq T_p \quad \forall p \in P$$

2. Límite de presupuesto disponible para material vegetal: la sumatoria del costo de material vegetal de los individuos de las especies seleccionadas, debe ser inferior al presupuesto total disponible compra de material vegetal.

$$\sum_{p \in P} \sum_{s \in S} N_{sp} * CS_s \leq BS$$

3. Composición del arreglo para individuos de sucesión temprana: La sumatoria del total de individuos de especies de sucesión temprana, debe ser mayor o igual al 30% del total de individuos de todas las especies seleccionadas.

$$\sum_{s \in S} (E_s * N_{sp}) \geq 30\% * \sum_{s \in S} N_{sp} \quad \forall p \in P$$

4. Composición del arreglo para individuos de sucesión intermedia: La sumatoria del total de individuos de especies de sucesión intermedia, debe ser mayor o igual al 30% del total de individuos de todas las especies seleccionadas.

$$\sum_{s \in S} (I_s * N_{sp}) \geq 30\% * \sum_{s \in S} N_{sp} \quad \forall p \in P$$

5. Composición del arreglo para individuos de sucesión tardía: La sumatoria del total de individuos de especies de sucesión tardía, debe ser mayor o igual al 30% del total de individuos de todas las especies seleccionadas.

$$\sum_{s \in S} (L_s * N_{sp}) \geq 30\% * \sum_{s \in S} N_{sp} \quad \forall p \in P$$

6. Composición del arreglo para especies de sucesión temprana: La sumatoria de especies de sucesión temprana seleccionadas, debe ser mayor o igual al 30% del total de todas las especies seleccionadas.

$$\sum_{s \in S} (E_s * ES_{sp}) \geq 30\% * \sum_{s \in S} ES_{sp} \quad \forall p \in P$$

7. Composición del arreglo para especies de sucesión intermedia: La sumatoria de especies de sucesión intermedia seleccionadas, debe ser mayor o igual al 30% del total de todas las especies seleccionadas.

$$\sum_{s \in S} (I_s * ES_{sp}) \geq 30\% * \sum_{s \in S} ES_{sp} \quad \forall p \in P$$

8. Composición del arreglo para especies de sucesión tardía: La sumatoria de especies de sucesión tardía seleccionadas, debe ser mayor o igual al 30% del total de todas las especies seleccionadas.

$$\sum_{s \in S} (L_s * ES_{sp}) \geq 30\% * \sum_{s \in S} ES_{sp} \quad \forall p \in P$$

9. Respuesta de arreglo a escenarios de sequía: La sumatoria del total de individuos de especies que responden al escenario de sequía, debe ser mayor o igual al 90% del total de individuos de todas las especies.

$$\sum_{s \in S} (F_{sp} * N_{sp}) \geq 90\% * \sum_{s \in S} N_{sp} \quad \forall p \in P$$

10. Número máximo de individuos por especie seleccionada: El número de individuos de cada especie seleccionada, debe ser menor o igual al 5% del total de individuos a sembrar.

$$N_{sp} \leq 5\% * \sum_{s \in S} N_{sp} \quad \forall s \in S$$

11. Restricciones auxiliares:

$$\begin{aligned} N_{sp} &\leq u * ES_{sp} \quad , \quad \forall s \in S \\ N_{sp} &\geq 0 ; \forall s \in S \\ ES_{sp} &\in \{0,1\} \end{aligned}$$

El modelo se configuró en una hoja de cálculo de Excel y su resolución se llevó a cabo a través de la herramienta OpenSolver (<https://opensolver.org/>) (Mason, 2012).

### ***Metodología para establecer el número de núcleos y su localización***

Para la siembra de las especies e individuos seleccionados se propuso el esquema de nucleación, en el que se generan microhábitats (*i.e.*, núcleos) conformados por una composición diversa de especies, en un área superior a 64 m<sup>2</sup> y distanciados entre sí para facilitar el intercambio de material vegetal y genético (Corbin et al., 2016; Zahawi et al., 2013; Corbin y Holl, 2012; Bechara, 2006; Cook, 2001; Forman, 1995). Como estrategia para el cálculo del número de núcleos, así como de su localización en el área a restaurar, se propone la implementación de la metodología que se describe en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Metodología para calcular número de núcleos y localizarlos en el área a restaurar

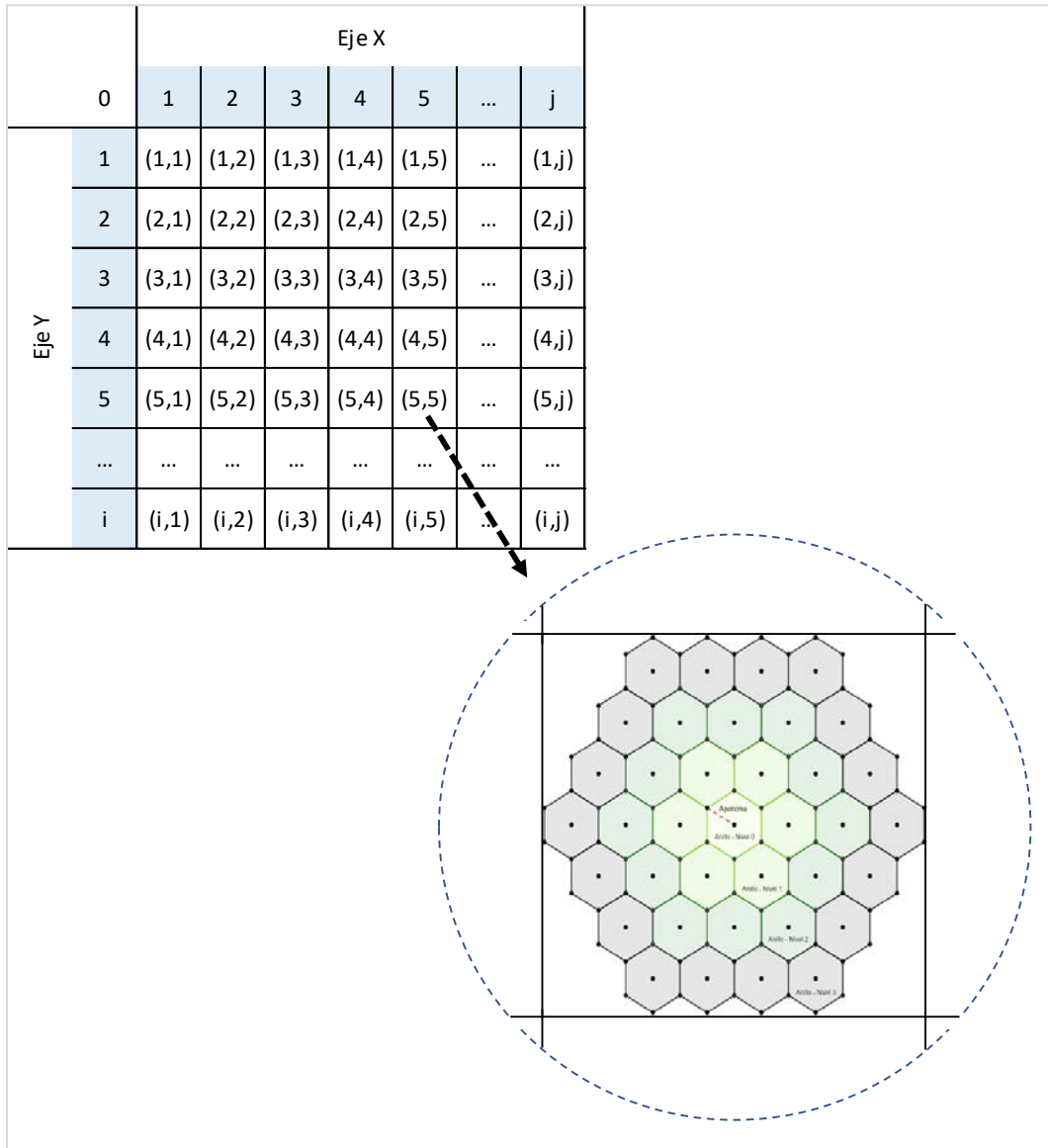
Etapa	Descripción
1	Definir el área total de la parcela a restaurar ( $T_p$ ). Para este caso corresponde a 200.000 m <sup>2</sup> .
2	Establecer el tamaño mínimo de cada núcleo ( $TMN$ ). Se recomienda que el valor mínimo sea de 64 m <sup>2</sup> . Para este caso se determina en 100 m <sup>2</sup> (Corbin et al., 2016; Zahawi et al., 2013; Corbin y Holl, 2012).

Etapa	Descripción
3	<p>Calcular el número máximo de núcleos (<math>NMN</math>) a partir de la división entre el área total de la parcela y el tamaño mínimo de cada núcleo, así:</p> $NMN = \frac{T_p}{TMN}$
4	<p>Identificar el área total ocupada por el arreglo, que corresponderá a:</p> $\sum_{s \in S} (N_{sp} * D_s)$
5	<p>Calcular el número de núcleos a sembrar (<math>NNS</math>) con las especies e individuos seleccionados en el modelo y teniendo en cuenta el tamaño mínimo de cada núcleo, así:</p> $NNS = \frac{\sum_{s \in S} (N_{sp} * D_s)}{TMN}$
6	<p>Calcular el número de individuos por cada núcleo (<math>NIN</math>), con la siguiente fórmula, cuyo resultado debe redondearse al entero inferior más cercano:</p> $NIN = \frac{\sum_{s \in S} N_{sp}}{NNS}$
7	<p>Recalcular el área ocupada por cada núcleo (<math>AON</math>), considerando el rango en el que se encuentra el número de individuos, según el diseño de teselado hexagonal. Para este caso se tienen en cuenta los rangos definidos en el <i>Anexo 2 – Diseño de Arreglo en Forma de Teselado Hexagonal</i>.</p>
8	<p>Ajustar o aproximar el área a restaurar a un polígono en forma rectangular con área equivalente a <math>T_p</math>. Definir para este rectángulo la longitud de su base (<math>b</math>) en metros, la longitud de su altura (<math>a</math>) en metros y la relación entre ambos (<math>RBA</math>) así:</p> $RBA = \frac{a}{b}$
9	<p>Dividir el área (rectángulo) en celdas de tamaños iguales, conformando una cuadrícula. Para el cálculo del número de filas y columnas se asume la ecuación de determinación del área de un rectángulo: <math>\text{Área} = b * a</math>. De la etapa anterior se infiere que:</p> $a = RBA * b \rightarrow \text{Área} = RBA * b^2 \rightarrow b = \sqrt{\frac{\text{Área}}{RBA}}$ $b = RBA/a \rightarrow \text{Área} = \frac{a^2}{RBA} \rightarrow a = \sqrt{\text{Área} * RBA}$ <p>Con base en estas ecuaciones y asumiendo que el área a restaurar se divide en celdas de tamaño igual a 1 y que cada una corresponde a un potencial espacio para localizar un núcleo, el número de filas (<math>F</math>) de la cuadrícula se calcula de la siguiente manera redondeando su resultado al entero superior más cercano:</p>

Etapa	Descripción
	$F = \sqrt{NNS * RBA}$ <p>El número de columnas (<math>C</math>) se calcula de la siguiente manera redondeando el resultado al entero superior más cercano:</p> $C = \sqrt{\frac{NNS}{RBA}}$
10	<p>Calcular el número de celdas de la cuadrícula (<math>NC</math>), así:</p> $NC = C * F$
11	<p>Calcular la longitud de cada celda en el eje horizontal (<math>lxc</math>) y en el eje vertical (<math>lyc</math>), de la siguiente forma:</p> $lxc = \frac{\text{Longitud X de la Parcela}}{C} ; lyc = \frac{\text{Longitud Y de la Parcela}}{F}$
12	<p>Calcular la longitud del núcleo que está en forma de teselado hexagonal, que se aproxima a una distancia radial de la siguiente forma:</p> $ln = \sqrt{AON * \pi}$ <p>Esta longitud es equivalente tanto para el eje x, como para el eje y.</p>
13	<p>Calcular la distancia aproximada en la que se localizaría el núcleo respecto al borde de cada celda de forma horizontal (<math>dxnb</math>) y vertical (<math>dynb</math>), así:</p> $dxnb = \frac{lxc - ln}{2} ; dynb = \frac{lyc - ln}{2}$
14	<p>Calcular la distancia aproximada entre los límites de los núcleos, tanto horizontalmente (<math>dlnx</math>) como verticalmente (<math>dlny</math>), así:</p> $dlnx = lxc - ln ; dlny = lyc - ln$ <p>Se debe verificar que ninguna de estas dos medidas sea superior a la distancia máxima a la que se localizan generalmente los parches de BsT a restaurar, que para este caso se estima en 500 m (Vargas, 2012; Arcila-Cardona et al., 2012)</p>
15	<p>Localizar los puntos (núcleos) en las respectivas celdas, considerando que <math>NC &gt; NNS</math>. Los núcleos se empiezan a localizar el primero desde el centro de la cuadrícula y los subsiguientes de forma adyacente y en forma de espiral, hasta completar la totalidad de <math>NNS</math>.</p>

Una vez se ha configurado la cuadrícula con sus respectivas celdas su localización se presenta en forma gráfica, como se aprecia en la Figura 3.

**Figura 3.** Modelo de cuadrícula para localización de núcleos de restauración



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Escenarios de estrés hídrico*

A partir de la información suministrada por IDEAM (2018) de 6 estaciones localizadas en el área de potencial restauración de BsT en el Valle del Cauca, se calcularon los índices de aridez mensuales desde enero de 2006 hasta diciembre de 2017. La Tabla 4 presenta los datos de identificación, elevación y latitud de estas estaciones.

**Tabla 4.** Información de Estaciones Analizadas – BsT en el Valle del Cauca

	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Estación 5	Estación 6
Código Estación	26095230	26075040	26100740	26115040	26055070	26075010
Elevación (msnm)	979	961	909	920	985	1050
Latitud	03° 50' N	03° 32' N	04° 30' N	04° 31' N	03° 22' N	03° 30' N

Los valores de índices de aridez para las 6 estaciones muestran que, para el período de tiempo analizado, en 2 estaciones (3 y 4) alrededor del 13% del tiempo se presentaron escenarios altamente deficitarios de agua ( $IA > 0,6$ ); en otras 2 estaciones (1 y 5) alrededor del 21% hubo alto déficit de agua, en la estación 6 correspondió al 27,7% y en la estación 2 el 35,4% (Ver Tabla 5).

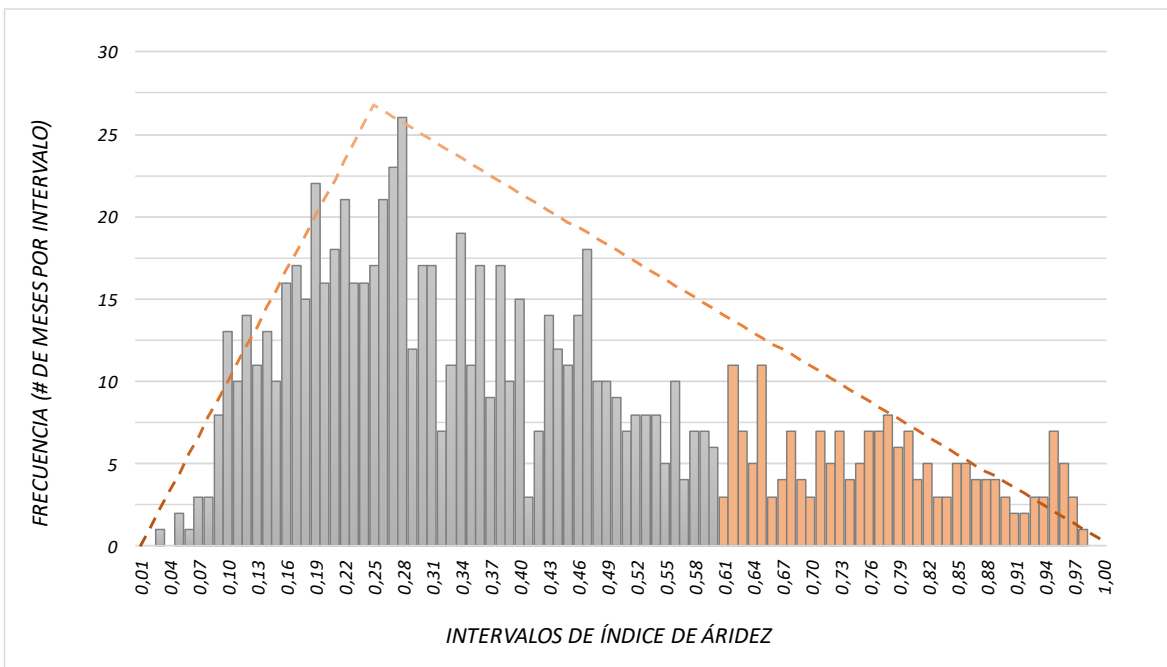
**Tabla 5.** % de Meses en Rangos de Índices de Aridez – ene/dic (2006-2017) – BsT en el Valle del Cauca

Categoría ENA 2014	Rángos Índices de	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Estación 5	Estación 6
Altos excedentes de agua	Mayor a 0,0	100,0%	100,0%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Excedentes de agua	Mayor a 0,1	99,3%	99,3%	95,14%	98,61%	91,67%	94,44%
Moderado a Excedentes	Mayor a 0,2	91,0%	89,6%	76,39%	83,33%	62,50%	75,69%
Moderado	Mayor a 0,3	66,0%	73,6%	50,69%	56,94%	40,97%	60,42%
Moderado a Deficitario	Mayor a 0,4	50,0%	54,2%	32,64%	40,97%	32,64%	45,83%
Deficitario de agua	Mayor a 0,5	37,5%	40,3%	22,92%	21,53%	24,31%	34,72%
Altamente deficitario de agua	Mayor a 0,6	22,2%	35,4%	13,89%	13,19%	20,14%	27,78%
	Mayor a 0,7	11,8%	26,4%	9,72%	9,03%	13,89%	21,53%
	Mayor a 0,8	3,5%	16,7%	3,47%	3,47%	7,64%	13,89%
	Mayor a 0,9	2,1%	7,6%	0,69%	0,69%	2,78%	6,94%

Al analizar todos los datos en conjunto, se calcula que el 21,74% del tiempo se presentaron escenarios altamente deficitarios de agua, aunque en estaciones como la # 2 (Tabla 5) se presentaron el 35,4% del tiempo, siendo este cálculo consistente con los rangos anuales de precipitación y la estimación de al menos 3 meses secos en el año que suelen caracterizar al BsT (Sánchez-Azofeifa, et al., 2005; Pennington et al., 2009), ecosistema que pertenece a el conjunto de zonas altamente deficitarias de agua en Colombia, que corresponden a cerca del 1% del territorio nacional (IDEAM, 2014). Estos datos históricos pueden ser representados a través de una distribución triangular, lo que se validó a través de prueba de bondad de ajuste chi-cuadrado. La Figura 4 presenta un histograma de 100 clases en donde se muestra la frecuencia (Número de meses) por valores de índice de aridez, destacando en color el intervalo en el que el valor del índice es superior a 0,6.

Para efectos del modelo propuesto en este trabajo y considerando los índices de aridez calculados, se propone que la selección de especies para restauración de BsT corresponda al 95% de escenarios de índices de aridez calculados, dejando el 5% restante sujeto a la incertidumbre de los factores abióticos implícitos en índice de aridez (*i.e.*, temperaturas máxima, mínima y media; radiación solar, velocidad del viento, precipitación, entre otros). En la Tabla 6 se observa que hasta el percentil 95 todas las estaciones llegan como mínimo a valores de índices de aridez superiores a 0,75, por lo que en el modelo se tiene como referencia el escenario altamente deficitario de agua ( $IA > 0,6$ ).

**Figura 4.** Frecuencia de meses según valores de índices de aridez – BsT en el Valle del Cauca – 6 Estaciones



**Tabla 6.** Valores Históricos por percentiles de Índices de aridez de estaciones de BsT en el Valle del Cauca

Percentil	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Estación 5	Estación 6
0,00	0,0717	0,0568	0,0246	0,0812	0,0436	0,0486
0,05	0,1461	0,1541	0,1065	0,1479	0,0939	0,0995
0,10	0,2051	0,1962	0,1404	0,1758	0,1085	0,1269
0,15	0,2188	0,2330	0,1592	0,1923	0,1165	0,1676
0,20	0,2441	0,2697	0,1794	0,2116	0,1439	0,1922
0,25	0,2626	0,2911	0,2107	0,2371	0,1608	0,2029
0,30	0,2753	0,3263	0,2323	0,2599	0,1762	0,2236
0,35	0,3041	0,3462	0,2504	0,2732	0,1899	0,2540
0,40	0,3315	0,3726	0,2648	0,2928	0,2106	0,3099
0,45	0,3657	0,3881	0,2787	0,3120	0,2392	0,3324
0,50	0,4059	0,4366	0,3097	0,3575	0,2573	0,3687
0,55	0,4383	0,4659	0,3385	0,3768	0,2774	0,4094
0,60	0,4822	0,5063	0,3592	0,4069	0,3049	0,4603
0,65	0,5209	0,6182	0,3889	0,4363	0,3629	0,4987
0,70	0,5468	0,6577	0,4278	0,4519	0,4530	0,5483
0,75	0,5764	0,7055	0,4708	0,4732	0,4873	0,6286
0,80	0,6090	0,7801	0,5300	0,5141	0,5942	0,7163
0,85	0,6406	0,8168	0,5928	0,5770	0,6746	0,7655
0,90	0,7214	0,8607	0,6511	0,6516	0,7775	0,8541
0,95	0,7738	0,9330	0,7666	0,7565	0,8540	0,9199
1,00	0,9484	1,0000	0,9437	1,0000	1,0000	1,0000

### Selección de especies e individuos a sembrar

Para este trabajo se contó con una base de datos de 50 especies de BsT que comprende aspectos biológicos y no biológicos (e.g., precio del material vegetal). Como estrategia para la selección de especies, se propuso un modelo de programación lineal que considera restricciones de presupuesto, espacio, respuesta a escenarios de estrés hídrico, cantidad máxima de individuos por especie a sembrar y composición según categoría sucesional; así como parámetros de área disponible, presupuesto, densidad de siembra e índice de aridez; teniendo como objetivo la maximización del número de individuos a emplear para la restauración del BsT en el contexto del Valle del Cauca en Colombia.

Una vez aplicado el modelo, se seleccionaron en total 20 especies (Tabla 7), de las cuales 6 corresponden a la categoría sucesional tardía, 6 a la intermedia y 8 a la temprana y 18 podrían presentar tolerancia a condiciones de estrés hídrico o altamente deficitarias de agua (Ibanez et al., 2017). Por cada especie se seleccionan 2.802 individuos, para un total de 56.042 a sembrar en un área de 20 hectáreas, considerando un índice de aridez de 0,75 y teniendo un presupuesto límite de COP \$100.000.000.

**Tabla 7.** Especies y número de individuos a sembrar para restauración de BsT en el Valle del Cauca

No.	Especie Seleccionada	Categoría Sucesional	Cantidad Total	Costo Material Vegetal	Densidad Madera	Altura Máxima (m)	% Germinación	Respuesta a Sequía (1=SI, 0=NO)
1	<i>Guaiacum officinale</i>	Tardía	2.802	\$6.071.198	1,3	15	60%	1
2	<i>Margaritaria nobilis</i>	Tardía	2.802	\$5.697.585	0,9	15	75%	1
3	<i>Bactris gasipaes chichagui</i>	Tardía	2.802	\$5.604.182	0,4	20	80%	0
4	<i>Pouteria torta</i>	Tardía	2.802	\$5.604.182	1,0	12	80%	1
5	<i>Myroxylon balsamum</i>	Tardía	2.802	\$5.604.182	0,8	45	80%	1
6	<i>Zygia longifolia</i>	Tardía	2.802	\$5.382.965	0,7	25	95%	1
7	<i>Pithecellobium dulce</i>	Intermedia	2.802	\$4.569.700	1,0	17	80%	1
8	<i>Cassia moschata</i>	Intermedia	2.802	\$5.035.758	0,7	25	70%	1
9	<i>Guarea guidonia</i>	Intermedia	2.802	\$4.931.681	0,8	20	60%	1
10	<i>Acacia macracantha</i>	Intermedia	2.802	\$4.850.731	0,7	12	90%	1
11	<i>Cupania americana</i>	Intermedia	2.802	\$4.526.934	0,7	18	90%	1
12	<i>Inga marginata</i>	Intermedia	2.802	\$4.749.545	0,7	15	80%	1
13	<i>Roupala montana</i>	Temprana	2.802	\$4.757.328	0,9	10	90%	1
14	<i>Urera baccifera</i>	Temprana	2.802	\$4.480.232	0,2	5	90%	0
15	<i>Celtis iguanaea</i>	Temprana	2.802	\$4.670.736	0,8	8	80%	1
16	<i>Zanthoxylum schreberi</i>	Temprana	2.802	\$4.826.602	0,8	7	80%	1
17	<i>Miconia longifolia</i>	Temprana	2.802	\$4.618.780	0,8	9	90%	1
18	<i>Mimosa pigra</i>	Temprana	2.802	\$4.618.780	0,7	6	90%	1
19	<i>Parkinsonia aculeata</i>	Temprana	2.802	\$4.728.160	0,7	8	95%	1
20	<i>Erythroxylum citrifolium</i>	Temprana	2.802	\$4.670.736	0,7	9	80%	1
Total			56.042	\$99.999.998	N/A	N/A	N/A	18

De estas especies seleccionadas, la totalidad se encuentra incluida en Vargas (2012); mientras que *Inga marginata*, *Mimosa pigra*, *Myroxylon balsamum*, *Parkinsonia aculeata*, *Roupala montana* y *Zygia longifolia*, coinciden con la base de especies para restauración de UICN (especiesrestauracion-uicn.org, 2016) y solamente *Zanthoxylum schreberi* se encuentra en Galindo y Roa-Fuentes (2017).

El número de especies seleccionadas (20 en total) coincide con la cantidad generalmente empleada para proyectos de restauración con baja disponibilidad presupuestal (Leitão Filho et al., 2002). Sin embargo, la selección de esta cantidad es la respuesta del modelo a la restricción del número máximo de individuos por especie (5%). Al eliminar esta restricción del modelo, únicamente se seleccionan 4 especies (*Zygia longifolia*, *Cupania americana*, *Urera baccifera*, *Miconia longifolia*), de las cuales 3 responden a escenarios altamente deficitarios de agua, acumulando un total de 58.408 individuos, siendo *Cupania americana* la especie con mayor número de individuos (23.363) por presentar la mejor relación entre precio del material vegetal y tolerancia al estrés hídrico.

Respecto a la composición de las especies según la categoría sucesional, se planteó una restricción en la que cada categoría debería corresponder al menos al 30% de las especies. Para este caso el 10% de las restantes fueron conformadas por especies de sucesión temprana (para un total de 40%), siendo consistente con el estándar de proyectos de restauración y bosques no maduros de BsT (Gonzales et al., 2018; Nguyen et al. 2014). La elección de estas especies se da por efecto de la respuesta del modelo a la restricción del presupuesto disponible para compra de material vegetal, particularmente porque en los parámetros del precio se asumieron valores inferiores para especies de rápido crecimiento (*i.e.*, sucesión temprana).

En relación con los escenarios de estrés hídrico, se empleó el modelo para seleccionar especies que respondieran a 3 escenarios; i) alto déficit hídrico ( $IA > 0.6$ ); ii) deficitario de agua ( $IA$  entre 0.5 y 0.6) y; iii) moderado o bajo déficit hídrico ( $IA > 0.5$ ). El análisis muestra que no hay variaciones significativas entre el escenario de alto déficit y el de déficit hídrico en cuanto a las especies seleccionadas, dado que se seleccionan sólo 2 especies diferentes, ni en cuanto a su respuesta a condiciones de estrés hídrico (85% de respuesta). En contraste, para el escenario de bajo déficit hídrico, se seleccionan 7 especies diferentes al escenario 1 y 2 y la respuesta al estrés hídrico es del 65% (Ver Tabla 8).

Como se observa, la elección de las especies se encuentra altamente influenciada por el rasgo funcional “densidad de la madera”, favoreciendo a aquellas especies que presentan valores superiores de este rasgo, asumiendo que presentarían una mayor tolerancia a condiciones de estrés hídrico (Werden et al., 2017; Ibanez et al., 2017; Hoeber et al., 2014; Rosner et al., 2011; Rosner et al., 2008; Sperry et al., 2002; Weither et al., 1995). Para hacer más robusto el modelo de selección podrían considerarse otros rasgos funcionales (Apgaua et al., 2015; Hoeber et al., 2014; Worbes et al., 2013), aunque el principal factor abiótico que parece determinar la viabilidad de un arreglo de restauración para BsT es el estrés hídrico, reconociendo que en este ecosistema se pueden encontrar zonas en las que cerca del 35% del tiempo se presenta un alto déficit hídrico (ver Tabla 5 - Estación 2).

**Tabla 8.** Especies seleccionadas según escenarios de Estrés Hídrico – BsT Valle del Cauca

Escenarios	Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
	IA (0.6 , 1.0]		IA (0.5 , 0.6]		IA [0.0 , 0.5]	
	Alto Déficit Hídrico		Déficit Hídrico		Medio o Bajo Déficit Hídrico	
	Frecuencia ≈ 22%		Frecuencia ≈ 8%		Frecuencia ≈ 70%	
	Especies Seleccionadas	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Especies Seleccionadas	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Especies Seleccionadas	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Especies Seleccionadas	<i>Guaiacum officinale</i>	1,3	<i>Guaiacum officinale</i>	1,3	<i>Pouteria torta</i>	1,0
	<i>Pouteria torta</i>	1,0	<i>Pouteria torta</i>	1,0	<i>Pithecellobium dulce</i>	1,0
	<i>Pithecellobium dulce</i>	1,0	<i>Pithecellobium dulce</i>	1,0	<i>Margaritaria nobilis</i>	0,9
	<i>Margaritaria nobilis</i>	0,9	<i>Margaritaria nobilis</i>	0,9	<i>Roupala montana</i>	0,9
	<i>Roupala montana</i>	0,9	<i>Roupala montana</i>	0,9	<i>Celtis iguanaea</i>	0,8
	<i>Celtis iguanaea</i>	0,8	<i>Celtis iguanaea</i>	0,8	<i>Myroxylon balsamum</i>	0,8
	<i>Guarea guidonia</i>	0,8	<i>Guarea guidonia</i>	0,8	<i>Miconia longifolia</i>	0,8
	<i>Zanthoxylum schreberi</i>	0,8	<i>Zanthoxylum schreberi</i>	0,8	<i>Cupania americana</i>	0,7
	<i>Myroxylon balsamum</i>	0,8	<i>Myroxylon balsamum</i>	0,8	<i>Mimosa pigra</i>	0,7
	<i>Miconia longifolia</i>	0,8	<i>Miconia longifolia</i>	0,8	<i>Inga marginata</i>	0,7
	<i>Acacia macracantha</i>	0,7	<i>Acacia macracantha</i>	0,7	<i>Parkinsonia aculeata</i>	0,7
	<i>Cupania americana</i>	0,7	<i>Cupania americana</i>	0,7	<i>Zygia longifolia</i>	0,7
	<i>Mimosa pigra</i>	0,7	<i>Mimosa pigra</i>	0,7	<i>Erythroxylum citrifolium</i>	0,7
	<i>Inga marginata</i>	0,7	<i>Inga marginata</i>	0,7	<i>Tecoma stans velutina</i>	0,5
	<i>Parkinsonia aculeata</i>	0,7	<i>Parkinsonia aculeata</i>	0,7	<i>Bactris gasipaes chichagui</i>	0,4
	<i>Zygia longifolia</i>	0,7	<i>Zygia longifolia</i>	0,7	<i>Anacardium excelsum</i>	0,4
	<i>Cassia moschata</i>	0,7	<i>Erythroxylum citrifolium</i>	0,7	<i>Tessaria integrifolia</i>	0,3
	<i>Erythroxylum citrifolium</i>	0,7	<i>Cedrela odorata</i>	0,6	<i>Erythrina fusca</i>	0,3
<i>Bactris gasipaes chichagui</i>	0,4	<i>Bactris gasipaes chichagui</i>	0,4	<i>Pseudobombax septenatum</i>	0,3	
<i>Urea baccifera</i>	0,2	<i>Urea baccifera</i>	0,2	<i>Urea baccifera</i>	0,2	
	Resultados Escenario 1		Resultados Escenario 2		Resultados Escenario 3	
No. de Individuos	56.042		56.100		56.636	
% Sps Tempranas	40%		40%		40%	
% Sps Intermedias	30%		30%		30%	
% Sps Tardías	30%		30%		30%	
Precio Promedio Unidad	\$1.784		\$1.783		\$1.766	
% de Individuos que responderían a IA > 0.6 (Estrés Hídrico)	90%		85%		65%	

### *Núcleos y su localización en el área a restaurar*

Posterior a la selección de las especies y la determinación de la cantidad de individuos por especie, se calcularon las variables requeridas para definir el número de núcleos y su localización en el área a restaurar (Tabla 9).

**Tabla 9.** Variables de salida de modelo de selección – Parámetros para nucleación y localización

Área Total de la Parcela a Restaurar (m <sup>2</sup> )	200.000
No. Total de Individuos	≈ 56.042
Tamaño Mínimo de cada Núcleo (m <sup>2</sup> )	100
Número Máximo de Núcleos	2.000
Área Total Acupada por el Arreglo m <sup>2</sup>	18.961
Número de Núcleos a Sembrar	189
No. de Individuos por Núcleo	≈ 296
Área Ajustada del Nucleo (m <sup>2</sup> )	≈ 91
Proporción (altura/base) de la parcela	0,60

	Eje X	Eje Y
Distancia de los Ejex X,Y (m)	577,35	346,41
Numero de Filas y Columnas	18 Columnas	11 Filas
Distancia de cada Celda en X,Y (m)	32,08 en X	31,49 en Y
Distancia del Teselado Hexagonal en X,Y (m)	≈ 16,91	≈ 16,91
Distancia entre Borde de Núcleo y Celda en X,Y (m)	≈ 7,58	≈ 7,29
Distancia entre Bordos de Núcleos en X,Y (m)	≈ 15,17	≈ 14,58
Número de Celdas de la Cuadrícula	198 Celdas	

Con base en estos parámetros y teniendo en cuenta el diseño de teselado hexagonal propuesto para los arreglos, se procedió a determinar la cantidad de individuos por núcleo, la distancia entre individuos (apotema), el tamaño (lado) del hexágono y la posición dentro del arreglo (anillo – nivel del núcleo) asignada a cada especie, con su correspondiente número de hexágonos por nivel y el área máxima ocupada (ver Tabla 10).

Una vez configurado cada arreglo y habiendo calculado el número de núcleos (189) y el número de filas (11) y columnas (18) de la cuadrícula, se procedió a identificar su localización en un sistema de coordenadas considerando el área de restauración que se aproximó a una forma de polígono rectangular (ver Figura 5).

**Tabla 10.** Diseño del arreglo al interior de cada núcleo de restauración

Especie Seleccionada	Categoría Sucesional*	Modo de Dispersión	Cantidad por Núcleo	Cantidad Acumulada	Apotema Hexágono m	Lado Hexágono m	Anillo del Núcleo	Número de Hexágonos	Área máx Ocupada m <sup>2</sup> (Acumul)
<i>Bactris gasipaes chichagui</i>	C	1	15	15	0,54	0,62	1	7	7
<i>Margaritaria nobilis</i>	C	2	15	30	0,54	0,62	1	7	7
<i>Pouteria torta</i>	C	3	15	44	0,54	0,62	2	19	19
<i>Zygia longifolia</i>	C	3	15	59	0,54	0,62	2	19	19
<i>Guaiacum officinale</i>	C	4	15	74	0,54	0,62	3	37	37
<i>Myroxylon balsamum</i>	C	4	15	89	0,54	0,62	3	37	37
<i>Inga marginata</i>	B	1	15	104	0,54	0,62	3	37	37
<i>Cassia moschata</i>	B	2	15	119	0,54	0,62	3	37	37
<i>Acacia macracantha</i>	B	2	15	133	0,54	0,62	4	61	61
<i>Pithecellobium dulce</i>	B	3	15	148	0,54	0,62	4	61	61
<i>Guarea guidonia</i>	B	3	15	163	0,54	0,62	4	61	61
<i>Cupania americana</i>	B	3	15	178	0,54	0,62	4	61	61
<i>Zanthoxylum schreberi</i>	A	2	15	193	0,54	0,62	4	61	61
<i>Mimosa pigra</i>	A	2	15	208	0,54	0,62	4	61	61
<i>Parkinsonia aculeata</i>	A	2	15	222	0,54	0,62	5	91	91
<i>Urera baccifera</i>	A	3	15	237	0,54	0,62	5	91	91
<i>Celtis iguanaea</i>	A	3	15	252	0,54	0,62	5	91	91
<i>Miconia longifolia</i>	A	3	15	267	0,54	0,62	5	91	91
<i>Erythroxylum citrifolium</i>	A	3	15	282	0,54	0,62	5	91	91
<i>Roupala montana</i>	A	4	15	297	0,54	0,62	5	91	91

Categoría Sucesional: A = Temprana; B = Intermedia; C = Tardía.

Bajo el modelo propuesto, la localización de los núcleos en el área de BsT destinada a restauración, dependerá de factores como la categoría sucesional y el síndrome de dispersión (*i.e.*, viento, avifauna, capsular seco), así como del objetivo que se busque al ubicar la posición de cada núcleo, en particular si se busca ampliar o reducir la distancia a la que se encuentren (McCallum et al., 2018; Ceccon, 2013). Para este caso se presupone que no existen remanentes de BsT en el área a restaurar y que, en consecuencia, las semillas y propágulos de los individuos localizados en los núcleos podrían tomar cualquier dirección y sentido de desplazamiento, sin verse influenciados por el agente dispersor (*e.g.*, avifauna) que optaría por dirigirse al remanente más cercano (Norden, 2014; Reis et al., 2013), razón por la que se propone que los núcleos se localicen de forma equidistante entre sí.

**Figura 5.** Localización de los núcleos en el área de restauración

		Eje X																	
		32	64	96	128	160	192	225	257	289	321	353	385	417	449	481	513	545	577
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Eje Y	31	1			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	63	2		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	94	3	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	126	4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	157	5	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	189	6	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	220	7	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	252	8	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	283	9	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	315	10		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	346	11		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	

## CONCLUSIONES

Este trabajo sugiere una metodología para el diseño y selección de arreglos florísticos para restaurar BsT, teniendo en cuenta el área a intervenir, la estructura del BsT de referencia, las especies a seleccionar involucrando aspectos biológicos y no biológicos; en relación con escenarios de factores abióticos (*i.e.*, índice de aridez) que podrían incidir en la viabilidad de un arreglo y de un esquema de restauración de alta intervención. La metodología comprende, en primera instancia, la aplicación de un modelo de programación lineal para la selección de las especies y la cantidad de individuos por especie; mientras que en segunda instancia implica la configuración del arreglo a través de un esquema de nucleación, siguiendo una

heurística para la determinación de la cantidad de núcleos y su localización en el área a restaurar.

El objetivo del modelo consiste en maximizar la riqueza del arreglo, que sirve como un indicador de diversidad biológica. Sin embargo, existe un riesgo asociado a modelos de optimización que incorporen otros objetivos (*e.g.*, minimización del presupuesto) que podrían conducir a decisiones óptimas desde el ámbito económico pero incorrectas en términos ecológicos. En todo caso, si se pretendiera minimizar el gasto asociado a la compra del material vegetal bajo el modelo propuesto, las variables de decisión indicarían que deberían seleccionarse cero (0) especies y ningún individuo por especie, respuesta que no tendría aplicabilidad en proyectos reales de restauración.

Respecto al esquema de nucleación, se encuentra que su configuración a través de mosaicos de formas geométricas regulares y particularmente hexagonales, tienden a disminuir el borde del arreglo y su consecuente efecto ecológico negativo. Adicionalmente, en relación a la localización del arreglo, se reconoce que podrían existir remanentes de BsT en el área a restaurar, que harían las veces de poblaciones proveedoras de material vegetal a los núcleos en un esquema de fuente-sumidero (Hulvey et al., 2017), escenario en el que podrían emplearse modelos de proximidad que tuvieran como objetivo minimizar la distancia entre los núcleos a localizar y los remanentes originales de bosque como puntos de referencia (Billionnet, 2010; Hargis et al., 1998). No obstante, lo anterior tendría sentido en enfoques de restauración con niveles de intervención de baja intensidad, que no se ajustan precisamente a las altas condiciones de degradación del BsT en el Valle del Cauca.

En futuras investigaciones podría considerarse la relación explícita entre otros rasgos funcionales y otros factores abióticos propios del BsT, especialmente el factor humano que comprende las dinámicas de las perturbaciones causadas por la presión de la matriz antropogénica. Así, podría hacerse más robusto el modelo propuesto, involucrando aspectos adicionales determinantes para la viabilidad del diseño y siembra de arreglos florísticos para la restauración del BsT.

## LITERATURA CITADA

A.J. King, S.W. Wallace. Modeling with Stochastic Programming. Springer, 2012.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300(9), D05109.

Alvarado Solano DP, Otero Ospina JT. Distribución espacial del Bosque Seco Tropical en el Valle del Cauca, Colombia. Acta biol. Colomb. 2015;20(3):141-153

Apgaua, D. M., Ishida, F. Y., Tng, D. Y., Laidlaw, M. J., Santos, R. M., Rumman, R., ... & Laurance, S. G. (2015). Functional traits and water transport strategies in lowland tropical rainforest trees. *PloS one*, 10(6), e0130799.

Arcila-Cardona AM, Valderrama AC, Chacón de Ulloa P. Estado de fragmentación del bosque seco de la cuenca alta del río Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*. 2012;13(2):82-101.

Bechara, F. C. (2006). Unidades demonstrativas de restauração ecológica através de técnicas nucleadoras: Floresta Estacional Semidecidual, Cerrado e Restinga. University of São Paulo, Piracicaba.

Bell, S., & Apostol, D. (2007). *Designing sustainable forest landscapes*. Taylor & Francis.

Bernal, F. A. y Santander, J. P. (2016). Hoja metodológica del indicador Índice de Aridez (Versión 1.01). Estudio Nacional del Agua. Sistema de Información Ambiental. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. 25 p.

Billionnet, A. (2013). Mathematical optimization ideas for biodiversity conservation. *European Journal of Operational Research*, 231(3), 514-534.

Billionnet, A., 2010. Integer programming for optimizing habitat network permeability. *Management of Environmental Quality* 21, 570–588.

Biodiversity International (2017). RESTOOL – Restauración Arbórea del Bosque Seco Tropical en Colombia. Recurso Electrónico [online]. Disponible en: <http://www.restool.org/>

Ceccon, E. (2014). Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales. Ediciones Díaz de Santos.

Ceccon, E., Huante, P., & Rincón, E. (2006). Abiotic factors influencing tropical dry forests regeneration. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 49(2), 305-312.

Cook, E. (2001). Landscape Restoration Handbook. *Restoration Ecology*, 9(1), 111-112.

Corbin, J. D., Robinson, G. R., Hafkemeyer, L. M., & Handel, S. N. (2016). A long-term evaluation of applied nucleation as a strategy to facilitate forest restoration. *Ecological applications*, 26(1), 104-114.

Corbin, J. D., & Holl, K. D. (2012). Applied nucleation as a forest restoration strategy. *Forest Ecology and Management*, 265, 37-46.

Cossell, S., & Guivant, J. (2014). Concurrent dynamic programming for grid-based problems and its application for real-time path planning. *Robotics and Autonomous Systems*, 62(6), 737-751.

Crossman, N. D., & Bryan, B. A. (2006). Systematic landscape restoration using integer programming. *Biological Conservation*, 128(3), 369-383.

Dirzo, R., & Raven, P. H. (2003). Global state of biodiversity and loss. *Annual Review of Environment and Resources*, 28(1), 137-167.

Elliott, S. D., Blakesley, D., & Hardwick, K. (2013). *Restoring tropical forests: a practical guide* (p. 344). Royal Botanic Gardens, Kew.

Fajardo, L., Rodríguez, J. P., González, V., & Briceño-Linares, J. M. (2013). Restoration of a degraded tropical dry forest in Macanao, Venezuela. *Journal of arid environments*, 88, 236-243.

Finke, J., Sonnenschein, M., 2008. Simulation and optimization of habitat network permeability. *Information Technologies in Environmental Engineering 2008*, 12–18.

Forman, R. T. (2014). *Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions* (1995) (p. 217). Island Press.

Galindo-Rodriguez, C., & Roa-Fuentes, L. L. (2017). Seed desiccation tolerance and dispersal in tropical dry forests in Colombia: Implications for ecological restoration. *Forest Ecology and Management*, 404, 289-293.

González-M, R., García, H., Isaacs, P., Cuadros, H., López-Camacho, R., Rodríguez, N., ... & Idárraga-Piedrahíta, Á. (2018). Disentangling the environmental heterogeneity, floristic distinctiveness and current threats of tropical dry forests in Colombia. *Environmental Research Letters*, 13(4), 045007.

Hales, T. C. (2001). The honeycomb conjecture. *Discrete & Computational Geometry*, 25(1), 1-22.

Hargis, C. D., Bissonette, J. A., & David, J. L. (1998). The behavior of landscape metrics commonly used in the study of habitat fragmentation. *Landscape ecology*, 13(3), 167-186.

Hoerber, S., Leuschner, C., Köhler, L., Arias-Aguilar, D., & Schuldt, B. (2014). The importance of hydraulic conductivity and wood density to growth performance in eight tree species from a tropical semi-dry climate. *Forest Ecology and Management*, 330, 126-136.

Hulvey, K. B., Leger, E. A., Porensky, L. M., Roche, L. M., Veblen, K. E., Fund, A., ... & Gornish, E. S. (2017). Restoration islands: a tool for efficiently restoring dryland ecosystems?. *Restoration Ecology*.

IDEAM, Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá, D. C., 2015. 496 páginas.

Kattge, J., S. Díaz, S. Lavorel, I. C. Prentice, P. Leadley, G. Bönisch, E. Garnier, M. Westoby, P.B. Reich, I. J. Wright, J. H. C. Cornelissen, C. Violle, S. P. Harrison, P. M. v. Bodegom, M. Reichstein, B. J. Enquist, N. A. Soudzilovskaia, D. D. Ackerly, M. Anand, O. Atkin, M. Bahn, T. R. Baker, D. Baldocchi, R. Bekker, C. Blanco, B. Blonder, W. J. Bond, R. Bradstock, D. E. Bunker, F. Casanoves, J. Cavender---Bares, J. Q. Chambers, F. S. Chapin, J. Chave, D. Coomes, W. K. Cornwell, J. M. Craine, B. H. Dobrin, L. Duarte, W. Durka, J. Elser, G. Esser, M. Estiarte, W. F. Fagan, J. Fang, F. Fernández---Méndez, A. Fidelis, B. Finegan, O. Flores, H. Ford, D. Frank, G. T. Freschet, N. M. Fyllas, R. V. Gallagher, W. A. Green, A. G. Gutierrez, T. Hickler, S. Higgins, J. G. Hodgson, A. Jalili, S. Jansen, C. Joly, A. J. Kerkhoff, D. Kirkup, K. Kitajima, M. Kleyer, S. Klotz, J. M. H. Knops, K. Kramer, I. Kühn, H. Kurokawa, D. Laughlin, T. D. Lee, M. Leishman, F. Lens, T. Lenz, S. L. Lewis, J. Lloyd, J. Llusià, F. Louault, S. Ma, M. D. Mahecha, P. Manning, T. Massad, B. Medlyn, J. Messier, A. T. Moles, S. C. Müller, K. Nadrowski, S. Naeem, Ü. Niinemets, S. Nöllert, A. Nüske, R. Ogaya, J. Oleksyn, V. G. Onipchenko, Y. Onoda, J. Ordoñez, G. Overbeck, W. A. Ozinga, S. Patiño, S. Paula, J. G. Pausas, J. Peñuelas, O. L. Phillips, V. Pillar, H. Poorter, L. Poorter, P. Poschlod, A. Prinzing, R. Proulx, A. Rammig, S. Reinsch, B. Reu, L. Sack, B. Salgado---Negret, J. Sardans, S. Shiodera, B. Shipley, A. Siefert, E. Sosinski, J.---F. Soussana, E. Swaine, N. Swenson, K. Thompson, P. Thornton, M. Waldram, E. Weiher, M. White, S. White, S. J. Wright, B. Yguel, S. Zaehle, A. E. Zanne, C. Wirth. 2011. TRY – a global database of plant traits. *Global Change Biology*, 17:2905–2935.

Knight, A.T., Cowling, R.M., Rouget, M., Balmford, A., Lombard, A.T., Campbell, B.M., 2008. Knowing but not doing: selecting priority conservation areas and the research–implementation gap. *Conservation Biology* 22, 610–617.

Lamb, D., P. D. Erskine y J. D. Parrotta (2005), “Restoration of Degraded Tropical Forest Landscapes”, *Science*, 310: 1628-1632.

Lee, G. H. (2016). Grid-based dynamic clustering with grid proximity measure. *Intelligent Data Analysis*, 20(4), 853-875.

Leitão-Filho, H. F., R. R. Rodrigues, D. A. Satim y C. A. Joly (2002), *Vegetação florestal remanescente: inventarios, caracterizações, manejo e recuperação nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari*, UNICAMP-NEPAN.

Mason, A. J. (2012). OpenSolver-An open source add-in to solve linear and integer programmes in Excel. In *Operations research proceedings 2011* (pp. 401-406). Springer, Berlin, Heidelberg.

McBride, M. F., Wilson, K. A., Burger, J., Fang, Y. C., Lulow, M., Olson, D., ... & Possingham, H. P. (2010). Mathematical problem definition for ecological restoration planning. *Ecological Modelling*, 221(19), 2243-2250.

Miller, B. P., Sinclair, E. A., Menz, M. H., Elliott, C. P., Bunn, E., Commander, L. E., ... & Golos, P. J. (2016). A framework for the practical science necessary to restore sustainable, resilient, and biodiverse ecosystems. *Restoration Ecology*, 25(4), 605-617.

Moline, A. (1999). Tropical dry forest restoration in the Guanacaste Conservation Area, Costa Rica.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). 2013. Plan Nacional de Restauración: restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas. Textos: Ospina Arango, Olga Lucia; Vanegas Pinzón, Silvia; Escobar Niño, Gonzalo Alberto. Bogotá D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, Colombia.

Neeson, T. M., Smith, S. D., Allan, J. D., & McIntyre, P. B. (2016). Prioritizing ecological restoration among sites in multi-stressor landscapes. *Ecological applications*, 26(6), 1785-1796.

Nguyen, H., Lamb, D., Herbohn, J., & Firn, J. (2014). Designing mixed species tree plantations for the tropics: balancing ecological attributes of species with landholder preferences in the Philippines. *PloS one*, 9(4), e95267.

Noor-E-Alam, M., Todd, B., & Doucette, J. (2014). Integer linear programming model for grid-based wireless transmitter location problems. *International Journal of Operational Research*, 22(1), 48-64.

Norden, N. (2014). De porqué la regeneración natural es tan importante para la coexistencia de especies en los bosques tropicales. *Colombia forestal*, 17(2), 247-261.

Pandey, D. N., & Prakash, N. P. (2014). Tropical Dry Forest Restoration. Science and Practice of Direct Seeding in a Nutshell. Deep Narayan Pandey. Neha Pandey Prakash. Climate Change and CDM.

Pennington, R. T., Lavin, M., & Oliveira-Filho, A. (2009). Woody plant diversity, evolution, and ecology in the tropics: perspectives from seasonally dry tropical forests. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40, 437-457.

Pizano, C y H. García (Editores). 2014. El bosque seco tropical en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia.

Portillo-Quintero, C., Sanchez-Azofeifa, A., Calvo-Alvarado, J., Quesada, M., & do Espirito Santo, M. M. (2015). The role of tropical dry forests for biodiversity, carbon and water conservation in the neotropics: lessons learned and opportunities for its sustainable management. *Regional environmental change*, 15(6), 1039-1049.

Quesada, M., Sanchez-Azofeifa, G. A., Alvarez-Anorve, M., Stoner, K. E., Avila-Cabadilla, L., Calvo-Alvarado, J. & Gamon, J. (2009). Succession and management of tropical dry forests in the Americas: Review and new perspectives. *Forest Ecology and Management*, 258(6), 1014-1024.

Rätz, T. (2017). The silent hexagon: explaining comb structures. *Synthese*, 194(5), 1703-1724.

Reis, A., Bechara, F. C., & Tres, D. R. (2010). Nucleation in tropical ecological restoration. *Scientia Agricola*, 67(2), 244-250.

Rodríguez-Trejo, D. A. (2006). Notas sobre el diseño de plantaciones de restauración. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 12(2).

Sánchez-Azofeifa, G. A., Quesada, M., Rodriguez, J. P., Nassar, J. M., Stoner, K. E., Castillo, A., & Fajardo, L. (2005). Research priorities for neotropical dry forests. *Biotropica*, 37(4), 477-485.

Sanchez-Azofeifa, A., Powers, J. S., Fernandes, G. W., & Quesada, M. (Eds.). (2013). *Tropical dry forests in the Americas: ecology, conservation, and management*. CRC Press.

Soares, A. A. V., Botelho, S. A., Davide, A. C., & Faria, J. M. R. (2016). Influence of ecological group composition, plantation spacing and arrangement in the restoration of riparian forest on reservoir shores. *Ciência Florestal*, 26(4), 1107-1118.

especiesrestauracion-uicn.org (2016). UICN – Especies para Restauración. [online] Disponible en: <http://www.especiesrestauracion-uicn.org/especies.php>.

Vargas, W. (2012). Los bosques secos del Valle del Cauca, Colombia: una aproximación a su flora actual. *Biota Colombiana*, 13(2).

Vargas, W., & Ramírez, W. (2014). Lineamientos generales para la restauración del Bosque Seco Tropical en Colombia. *El bosque seco tropical en Colombia*, 252-291.

Vásquez Peinado, Á. J. (2016) Modelación de distribución de especies arbóreas de Bosque Seco Tropical en Colombia para la priorización de áreas de conservación y restauración. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia–Sede Medellín.

Vieira, D. L., & Scariot, A. (2006). Principles of natural regeneration of tropical dry forests for restoration. *Restoration Ecology*, 14(1), 11-20.

Vodopivec, A., Kaatz, F. H., & Mohar, B. (2010). Topographical distance matrices for porous arrays. *Journal of mathematical chemistry*, 47(3), 1145-1153.

Walker, L. R., Hölzel, N., Marrs, R., Moral, R., & Prach, K. (2014). Optimization of intervention levels in ecological restoration. *Applied vegetation science*, 17(2), 187-192.

Winston, W. L., Venkataramanan, M., & Goldberg, J. B. (2003). *Introduction to mathematical programming* (Vol. 1). Duxbury; Pacific Grove, CA: Thomson/Brooks/Cole.

Worbes, M., Blanchart, S., & Fichtler, E. (2013). Relations between water balance, wood traits and phenological behavior of tree species from a tropical dry forest in Costa Rica—a multifactorial study. *Tree physiology*, 33(5), 527-536.

Zahawi, R. A., Holl, K. D., Cole, R. J., & Reid, J. L. (2013). Testing applied nucleation as a strategy to facilitate tropical forest recovery. *Journal of Applied Ecology*, 50(1), 88-96.

Zanne, A.E., Lopez-Gonzalez, G.\*, Coomes, D.A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S.L., Miller, R.B., Swenson, N.G., Wiemann, M.C., and Chave, J. 2009. Global wood density database. Dryad. Identifier: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>.

Zhang, L., Potter, N., Hickel, K., Zhang, Y., & Shao, Q. (2008). Water balance modeling over variable time scales based on the Budyko framework—Model development and testing. *Journal of Hydrology*, 360(1-4), 117-131.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL TRABAJO

Este trabajo integra diferentes aspectos que deberían considerarse para el diseño de un arreglo florístico para la restauración de BsT en una zona geográfica, particularmente el Valle del Cauca en Colombia. Para su desarrollo, se tuvieron en cuenta la localización del área potencial de restauración, la composición y estructura del BsT de referencia, la caracterización de las especies a seleccionar involucrando aspectos biológicos (% de germinación, estado sucesional, densidad de la madera, síndrome de dispersión), así como aspectos no biológicos (precio del material vegetal). Además, se analizó el comportamiento de factores abióticos que podrían incidir en la viabilidad de un arreglo y de un esquema de alta intervención, factores que se sintetizan en el análisis del estrés hídrico a través del índice de aridez, que comprende variables como temperatura máxima, mínima y de rocío; así como insolación, velocidad del viento, precipitación, altitud, entre otras.

La integración de estos aspectos se realiza mediante el diseño y aplicación de un modelo de programación lineal, en el que principalmente se pretende seleccionar y maximizar el conjunto de especies y de individuos que respondan de manera efectiva a las condiciones de estrés hídrico, dadas unas restricciones de composición de especies, espacio disponible y presupuesto para compra de material vegetal. Si bien, el modelo propuesto es una simplificación del proceso de selección de especies para restauración de BsT, se constituye en una aproximación a la relación entre rasgos funcionales (*i.e.*, densidad de la madera) de las especies y factores abióticos (*i.e.*, aridez) del ecosistema, como criterio para el diseño de arreglos florísticos para restauración, en donde se tengan en cuenta los valores históricos y estimaciones de la frecuencia de ocurrencia de escenarios extremos del tensor ambiental. A partir de este ejercicio, se identificó que es pertinente diseñar arreglos para BsT en los que el rasgo funcional de las especies seleccionadas presente una respuesta favorable a por lo menos el 95% de escenarios del factor abiótico de referencia.

Aunque el objetivo del modelo propuesto se centra en maximizar la riqueza del arreglo (*i.e.*, cantidad de especies e individuos por especie), es importante anotar el riesgo asociado a modelos de optimización que incorporen otros indicadores objetivo, como la minimización del presupuesto a emplear, que podrían conducir a decisiones óptimas en términos económicos pero incorrectas desde una perspectiva ecológica. Para el caso de este modelo, si se pretendiera minimizar el gasto asociado a la compra del material vegetal, las variables de decisión indicarían que deberían seleccionarse cero (0) especies y ningún individuo por especie, respuesta que carece de todo sentido práctico.

Adicionalmente, en este trabajo se sugiere una metodología heurística para la determinación de la cantidad de núcleos y su respectiva localización en un área de restauración bajo un modelo de cuadrícula. Para el esquema de nucleación se configuran mosaicos de formas geométricas regulares que tienden a optimizar la relación área/perímetro, disminuyendo el borde del arreglo y su consecuente efecto ecológico negativo; encontrando que la forma hexagonal presenta una relación óptima, para la cual se estima la sucesión

matemática que permite calcular el número de hexágonos y el área que ocuparían los individuos de las especies a sembrar.

La necesidad del uso de diversas herramientas y metodologías para el diseño del arreglo, dan cuenta de la complejidad a la que se enfrenta el restaurador en procesos de restauración con altos niveles de intervención, en los que se requiere de una planificación concienzuda de cada proyecto y la participación de equipos multidisciplinarios que tengan la capacidad de complementarse, en contextos en los que se cuenta con escasos recursos y se demandan soluciones urgentes a la degradación de ecosistemas altamente perturbados, como el caso del BsT en Colombia. En este sentido, este trabajo pretende ser un aporte al conjunto de herramientas y metodologías para hacer más eficiente el proceso de diseño de arreglos florísticos para la restauración de BsT.

Respecto a futuras investigaciones, sería importante evaluar otros rasgos funcionales y su relación con factores abióticos determinantes para la viabilidad de un arreglo florístico para restauración de BsT, considerando además las perturbaciones causadas por la presión de la matriz antropogénica; de tal forma que puedan formularse las sinergias (positivas o negativas) entre los rasgos funcionales y los tensores ambientales; y puedan involucrarse como parte de los criterios de decisión para la selección de especies, la determinación de la cantidad de individuos por especie, la configuración de los arreglos o la localización de los núcleos en un área a restaurar.

## **LITERATURA CITADA EN INTRODUCCIÓN Y CONCLUSIONES**

Arcila-Cardona AM, Valderrama AC, Chacón de Ulloa P. Estado de fragmentación del bosque seco de la cuenca alta del río Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*. 2012;13(2):82-101.

Billionnet, A. (2013). Mathematical optimization ideas for biodiversity conservation. *European Journal of Operational Research*, 231(3), 514-534.

CEPAL, N. (2014). El gasto en protección ambiental en América Latina y el Caribe: bases conceptuales y experiencia regional.

Dirzo, R., & Raven, P. H. (2003). Global state of biodiversity and loss. *Annual Review of Environment and Resources*, 28(1), 137-167.

González-M, R., García, H., Isaacs, P., Cuadros, H., López-Camacho, R., Rodríguez, N., ... & Idárraga-Piedrahíta, Á. (2018). Disentangling the environmental heterogeneity, floristic distinctiveness and current threats of tropical dry forests in Colombia. *Environmental Research Letters*, 13(4), 045007.

IDEAM, Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá, D. C., 2015. 496 páginas.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). 2013. Plan Nacional de Restauración: restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas. Textos: Ospina Arango, Olga Lucia; Vanegas Pinzón, Silvia; Escobar Niño, Gonzalo Alberto. Bogotá D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, Colombia.

Pizano, C y H. García (Editores). 2014. El bosque seco tropical en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia.

Portillo-Quintero, C., Sanchez-Azofeifa, A., Calvo-Alvarado, J., Quesada, M., & do Espirito Santo, M. M. (2015). The role of tropical dry forests for biodiversity, carbon and water conservation in the neotropics: lessons learned and opportunities for its sustainable management. *Regional environmental change*, 15(6), 1039-1049.

Vargas, W. (2012). Los bosques secos del Valle del Cauca, Colombia: una aproximación a su flora actual. *Biota Colombiana*, 13(2).

Vargas, W., & Ramírez, W. (2014). Lineamientos generales para la restauración del Bosque Seco Tropical en Colombia. *El bosque seco tropical en Colombia*, 252-291.

Walker, L. R., Hölzel, N., Marrs, R., Moral, R., & Prach, K. (2014). Optimization of intervention levels in ecological restoration. *Applied vegetation science*, 17(2), 187-192.

## **ANEXOS**

Este trabajo incluye los siguientes anexos que se presentan en formato digital:

- Anexo 1. Caracterización de Especies – Base de Datos Ampliada de 49 especies.
- Anexo 2. Diseño de arreglo en forma de teselado
- Anexo 3. Herramienta para Selección de Especies, diseño de núcleo en forma de teselado hexagonal y localización de núcleos en el área a restaurar – Incluye base de Datos Ampliada (en formato .xls). Se puede solicitar al autor a [ruizdaniel@javeriana.edu.co](mailto:ruizdaniel@javeriana.edu.co)
- Anexo 4. Determinación de Índices de Aridez a partir de datos de 6 estaciones de monitoreo en el área de potencial restauración de BsT en el Valle del Cauca (en formato .xls). Se puede solicitar al autor a [ruizdaniel@javeriana.edu.co](mailto:ruizdaniel@javeriana.edu.co)
- Anexo 5. Posibles revistas a las que se someterá el artículo presentado

## Anexo 1. Caracterización de Especies – Base de Datos Ampliada de 49 especies

Nombre Científico	Categoría Sucesional	Precio estimado Unidad de Planta	% Germinación	DAP (m)	Altura máx (mts)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
<i>Tessaria integrifolia</i>	A	\$ 1.667	80%	0,20	9	0,30
<i>Bursera graveolens</i>	C	\$ 3.500	20%	0,30	12	0,32
<i>Esenbeckia grandiflora</i>	C	\$ 2.167	60%	0,30	7	1,08
<i>Pseudobombax septenatum</i>	C	\$ 2.071	70%	1,00	35	0,26
<i>Eugenia florida</i>	A	\$ 1.856	50%	0,35	12	0,87
<i>Zanthoxylum caribaeum</i>	B	\$ 1.890	40%	0,30	15	0,97
<i>Guaiacum officinale</i>	C	\$ 2.167	60%	0,75	15	1,25
<i>Roupala montana</i>	A	\$ 1.698	90%	0,40	10	0,89
<i>Ceiba pentandra</i>	B	\$ 1.760	60%	3,00	65	0,40
<i>Sterculia apetala</i>	C	\$ 2.300	50%	2,00	35	0,34
<i>Dodonaea viscosa</i>	A	\$ 1.767	50%	0,15	5	1,05
<i>Margaritaria nobilis</i>	C	\$ 2.033	75%	0,35	15	0,90
<i>Cedrela odorata</i>	B	\$ 1.760	80%	1,50	45	0,60
<i>Urera baccifera</i>	A	\$ 1.599	90%	0,30	5	0,17
<i>Erythrina poeppigiana</i>	B	\$ 1.740	65%	1,00	30	0,41
<i>Tecoma stans velutina</i>	B	\$ 1.684	85%	0,25	15	0,47
<i>Albizia niopoides</i>	C	\$ 2.833	30%	0,60	30	0,64
<i>Prosopis juliflora</i>	A	\$ 1.754	70%	0,40	12	0,93
<i>Lafoensia speciosa</i>	B	\$ 1.797	70%	0,60	18	0,90
<i>Muntingia calabura</i>	B	\$ 1.731	45%	0,20	10	0,30
<i>Pithecellobium dulce</i>	B	\$ 1.631	80%	0,90	17	1,00
<i>Bactris gasipaes chichagui</i>	C	\$ 2.000	80%	0,25	20	0,43
<i>Maclura tinctoria</i>	C	\$ 2.300	50%	0,70	20	1,02
<i>Anacardium excelsum</i>	B	\$ 1.708	75%	3,00	40	0,41
<i>Attalea butyracea</i>	C	\$ 2.100	50%	0,45	20	0,33
<i>Erythrina fusca</i>	B	\$ 1.673	90%	2,00	18	0,30
<i>Pouteria torta</i>	C	\$ 2.000	80%	0,35	12	1,01

Nombre Científico	Categoría Sucesional	Precio estimado Unidad de Planta	% Germinación	DAP (m)	Altura máx (mts)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
<i>Hymenaea courbaril</i>	C	\$ 2.167	60%	1,50	40	0,82
<i>Cassia moschata</i>	B	\$ 1.797	70%	1,00	25	0,71
<i>Casearia sylvestris</i>	C	\$ 2.300	50%	0,30	12	0,84
<i>Colubrina elliptica</i>	B	\$ 2.280	20%	1,00	15	0,80
<i>Eugenia biflora</i>	A	\$ 1.767	50%	0,20	10	0,80
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	A	\$ 1.834	40%	0,40	12	0,80
<i>Celtis iguanaea</i>	A	\$ 1.667	80%	0,25	8	0,77
<i>Guarea guidonia</i>	B	\$ 1.760	60%	0,90	20	0,76
<i>Zanthoxylum schreberi</i>	A	\$ 1.723	80%	0,20	7	0,76
<i>Myroxylon balsamum</i>	C	\$ 2.000	80%	1,00	45	0,75
<i>Miconia longifolia</i>	A	\$ 1.648	90%	0,30	9	0,75
<i>Trichilia pallida</i>	A	\$ 1.945	30%	0,40	10	0,74
<i>Acacia macracantha</i>	B	\$ 1.731	90%	0,20	12	0,73
<i>Cupania americana</i>	B	\$ 1.616	90%	0,35	18	0,73
<i>Mimosa pigra</i>	A	\$ 1.648	90%	0,15	6	0,73
<i>Inga marginata</i>	B	\$ 1.695	80%	0,50	15	0,72
<i>Parkinsonia aculeata</i>	A	\$ 1.687	95%	0,40	8	0,72
<i>Erythroxylum citrifolium</i>	A	\$ 1.667	80%	0,30	9	0,71
<i>Zygia longifolia</i>	C	\$ 1.921	95%	0,60	25	0,71
<i>Crateva tapia</i>	C	\$ 2.300	50%	0,40	18	0,65
<i>Pseudolmedia rigida</i>	C	\$ 2.300	50%	0,50	24	0,65
<i>Celtis schippii</i>	C	\$ 2.300	50%	0,60	30	0,67

Categoría Sucesional: A = Temprana, B = Intermedia, C = Tardía

**Anexo 2 - Diseño de Arreglo en Forma de Teselado Hexagonal**

Anillo (Nivel del Núcleo)	No. de Hexágonos	No. de Individuos Sembrados	Rango de Individuos (Mínimo)	Rango de Individuos (Máximo)	Área máx ocupada m <sup>2</sup>	Rango de Individuos / Anillo
0	1	7	1	7	1,00	7,00
1	7	31	7	31	7,00	4,43
2	19	73	31	73	19,00	3,84
3	37	133	73	133	37,00	3,59
4	61	211	133	211	61,00	3,46
5	91	307	211	307	91,00	3,37
6	127	421	307	421	127,00	3,31
7	169	553	421	553	169,00	3,27
8	217	703	553	703	217,00	3,24
9	271	871	703	871	271,00	3,21
10	331	1.057	871	1.057	331,00	3,19
11	397	1.261	1.057	1.261	397,00	3,18
12	469	1.483	1.261	1.483	469,00	3,16
13	547	1.723	1.483	1.723	547,00	3,15
14	631	1.981	1.723	1.981	631,00	3,14
15	721	2.257	1.981	2.257	721,00	3,13
16	817	2.551	2.257	2.551	817,00	3,12
17	919	2.863	2.551	2.863	919,00	3,12
18	1.027	3.193	2.863	3.193	1.027,00	3,11
19	1.141	3.541	3.193	3.541	1.141,00	3,10
20	1.261	3.907	3.541	3.907	1.261,00	3,10
21	1.387	4.291	3.907	4.291	1.387,00	3,09
22	1.519	4.693	4.291	4.693	1.519,00	3,09
23	1.657	5.113	4.693	5.113	1.657,00	3,09
24	1.801	5.551	5.113	5.551	1.801,00	3,08
25	1.951	6.007	5.551	6.007	1.951,00	3,08
26	2.107	6.481	6.007	6.481	2.107,00	3,08
27	2.269	6.973	6.481	6.973	2.269,00	3,07
28	2.437	7.483	6.973	7.483	2.437,00	3,07
29	2.611	8.011	7.483	8.011	2.611,00	3,07
30	2.791	8.557	8.011	8.557	2.791,00	3,07
31	2.977	9.121	8.557	9.121	2.977,00	3,06
32	3.169	9.703	9.121	9.703	3.169,00	3,06
33	3.367	10.303	9.703	10.303	3.367,00	3,06
34	3.571	10.921	10.303	10.921	3.571,00	3,06
35	3.781	11.557	10.921	11.557	3.781,00	3,06
36	3.997	12.211	11.557	12.211	3.997,00	3,06
37	4.219	12.883	12.211	12.883	4.219,00	3,05
38	4.447	13.573	12.883	13.573	4.447,00	3,05
39	4.681	14.281	13.573	14.281	4.681,00	3,05
40	4.921	15.007	14.281	15.007	4.921,00	3,05
41	5.167	15.751	15.007	15.751	5.167,00	3,05
42	5.419	16.513	15.751	16.513	5.419,00	3,05
43	5.677	17.293	16.513	17.293	5.677,00	3,05
44	5.941	18.091	17.293	18.091	5.941,00	3,05
45	6.211	18.907	18.091	18.907	6.211,00	3,04
46	6.487	19.741	18.907	19.741	6.487,00	3,04
47	6.769	20.593	19.741	20.593	6.769,00	3,04
48	7.057	21.463	20.593	21.463	7.057,00	3,04
49	7.351	22.351	21.463	22.351	7.351,00	3,04
50	7.651	23.257	22.351	23.257	7.651,00	3,04
51	7.957	24.181	23.257	24.181	7.957,00	3,04
52	8.269	25.123	24.181	25.123	8.269,00	3,04
53	8.587	26.083	25.123	26.083	8.587,00	3,04
54	8.911	27.061	26.083	27.061	8.911,00	3,04
55	9.241	28.057	27.061	28.057	9.241,00	3,04
56	9.577	29.071	28.057	29.071	9.577,00	3,04
57	9.919	30.103	29.071	30.103	9.919,00	3,03

Anillo (Nivel del Núcleo)	No. de Hexágonos	No. de Individuos Sembrados	Rango de Individuos (Mínimo)	Rango de Individuos (Máximo)	Área máx ocupada m <sup>2</sup>	Rango de Individuos / Anillo
58	10.267	31.153	30.103	31.153	10.267,00	3,03
59	10.621	32.221	31.153	32.221	10.621,00	3,03
60	10.981	33.307	32.221	33.307	10.981,00	3,03
61	11.347	34.411	33.307	34.411	11.347,00	3,03
62	11.719	35.533	34.411	35.533	11.719,00	3,03
63	12.097	36.673	35.533	36.673	12.097,00	3,03
64	12.481	37.831	36.673	37.831	12.481,00	3,03
65	12.871	39.007	37.831	39.007	12.871,00	3,03
66	13.267	40.201	39.007	40.201	13.267,00	3,03
67	13.669	41.413	40.201	41.413	13.669,00	3,03
68	14.077	42.643	41.413	42.643	14.077,00	3,03
69	14.491	43.891	42.643	43.891	14.491,00	3,03
70	14.911	45.157	43.891	45.157	14.911,00	3,03
71	15.337	46.441	45.157	46.441	15.337,00	3,03
72	15.769	47.743	46.441	47.743	15.769,00	3,03
73	16.207	49.063	47.743	49.063	16.207,00	3,03
74	16.651	50.401	49.063	50.401	16.651,00	3,03
75	17.101	51.757	50.401	51.757	17.101,00	3,03
76	17.557	53.131	51.757	53.131	17.557,00	3,03
77	18.019	54.523	53.131	54.523	18.019,00	3,03
78	18.487	55.933	54.523	55.933	18.487,00	3,03
79	18.961	57.361	55.933	57.361	18.961,00	3,03
80	19.441	58.807	57.361	58.807	19.441,00	3,02
81	19.927	60.271	58.807	60.271	19.927,00	3,02
82	20.419	61.753	60.271	61.753	20.419,00	3,02
83	20.917	63.253	61.753	63.253	20.917,00	3,02
84	21.421	64.771	63.253	64.771	21.421,00	3,02
85	21.931	66.307	64.771	66.307	21.931,00	3,02
86	22.447	67.861	66.307	67.861	22.447,00	3,02
87	22.969	69.433	67.861	69.433	22.969,00	3,02
88	23.497	71.023	69.433	71.023	23.497,00	3,02
89	24.031	72.631	71.023	72.631	24.031,00	3,02
90	24.571	74.257	72.631	74.257	24.571,00	3,02
91	25.117	75.901	74.257	75.901	25.117,00	3,02
92	25.669	77.563	75.901	77.563	25.669,00	3,02
93	26.227	79.243	77.563	79.243	26.227,00	3,02
94	26.791	80.941	79.243	80.941	26.791,00	3,02
95	27.361	82.657	80.941	82.657	27.361,00	3,02
96	27.937	84.391	82.657	84.391	27.937,00	3,02
97	28.519	86.143	84.391	86.143	28.519,00	3,02
98	29.107	87.913	86.143	87.913	29.107,00	3,02
99	29.701	89.701	87.913	89.701	29.701,00	3,02
100	30.301	91.507	89.701	91.507	30.301,00	3,02
101	30.907	93.331	91.507	93.331	30.907,00	3,02
102	31.519	95.173	93.331	95.173	31.519,00	3,02
103	32.137	97.033	95.173	97.033	32.137,00	3,02
104	32.761	98.911	97.033	98.911	32.761,00	3,02
105	33.391	100.807	98.911	100.807	33.391,00	3,02
106	34.027	102.721	100.807	102.721	34.027,00	3,02
107	34.669	104.653	102.721	104.653	34.669,00	3,02
108	35.317	106.603	104.653	106.603	35.317,00	3,02
109	35.971	108.571	106.603	108.571	35.971,00	3,02
110	36.631	110.557	108.571	110.557	36.631,00	3,02
111	37.297	112.561	110.557	112.561	37.297,00	3,02
112	37.969	114.583	112.561	114.583	37.969,00	3,02
113	38.647	116.623	114.583	116.623	38.647,00	3,02
114	39.331	118.681	116.623	118.681	39.331,00	3,02
115	40.021	120.757	118.681	120.757	40.021,00	3,02
116	40.717	122.851	120.757	122.851	40.717,00	3,02
117	41.419	124.963	122.851	124.963	41.419,00	3,02

Anillo (Nivel del Núcleo)	No. de Hexágonos	No. de Individuos Sembrados	Rango de Individuos (Mínimo)	Rango de Individuos (Máximo)	Área máx ocupada m <sup>2</sup>	Rango de Individuos / Anillo
118	42.127	127.093	124.963	127.093	42.127,00	3,02
119	42.841	129.241	127.093	129.241	42.841,00	3,02
120	43.561	131.407	129.241	131.407	43.561,00	3,02
121	44.287	133.591	131.407	133.591	44.287,00	3,02
122	45.019	135.793	133.591	135.793	45.019,00	3,02
123	45.757	138.013	135.793	138.013	45.757,00	3,02
124	46.501	140.251	138.013	140.251	46.501,00	3,02
125	47.251	142.507	140.251	142.507	47.251,00	3,02
126	48.007	144.781	142.507	144.781	48.007,00	3,02
127	48.769	147.073	144.781	147.073	48.769,00	3,02
128	49.537	149.383	147.073	149.383	49.537,00	3,02
129	50.311	151.711	149.383	151.711	50.311,00	3,02
130	51.091	154.057	151.711	154.057	51.091,00	3,02
131	51.877	156.421	154.057	156.421	51.877,00	3,02
132	52.669	158.803	156.421	158.803	52.669,00	3,02
133	53.467	161.203	158.803	161.203	53.467,00	3,01
134	54.271	163.621	161.203	163.621	54.271,00	3,01
135	55.081	166.057	163.621	166.057	55.081,00	3,01
136	55.897	168.511	166.057	168.511	55.897,00	3,01
137	56.719	170.983	168.511	170.983	56.719,00	3,01
138	57.547	173.473	170.983	173.473	57.547,00	3,01
139	58.381	175.981	173.473	175.981	58.381,00	3,01
140	59.221	178.507	175.981	178.507	59.221,00	3,01
141	60.067	181.051	178.507	181.051	60.067,00	3,01
142	60.919	183.613	181.051	183.613	60.919,00	3,01
143	61.777	186.193	183.613	186.193	61.777,00	3,01
144	62.641	188.791	186.193	188.791	62.641,00	3,01
145	63.511	191.407	188.791	191.407	63.511,00	3,01
146	64.387	194.041	191.407	194.041	64.387,00	3,01
147	65.269	196.693	194.041	196.693	65.269,00	3,01
148	66.157	199.363	196.693	199.363	66.157,00	3,01
149	67.051	202.051	199.363	202.051	67.051,00	3,01
150	67.951	204.757	202.051	204.757	67.951,00	3,01
151	68.857	207.481	204.757	207.481	68.857,00	3,01
152	69.769	210.223	207.481	210.223	69.769,00	3,01
153	70.687	212.983	210.223	212.983	70.687,00	3,01
154	71.611	215.761	212.983	215.761	71.611,00	3,01
155	72.541	218.557	215.761	218.557	72.541,00	3,01
156	73.477	221.371	218.557	221.371	73.477,00	3,01
157	74.419	224.203	221.371	224.203	74.419,00	3,01
158	75.367	227.053	224.203	227.053	75.367,00	3,01
159	76.321	229.921	227.053	229.921	76.321,00	3,01
160	77.281	232.807	229.921	232.807	77.281,00	3,01
161	78.247	235.711	232.807	235.711	78.247,00	3,01
162	79.219	238.633	235.711	238.633	79.219,00	3,01
163	80.197	241.573	238.633	241.573	80.197,00	3,01
164	81.181	244.531	241.573	244.531	81.181,00	3,01
165	82.171	247.507	244.531	247.507	82.171,00	3,01
166	83.167	250.501	247.507	250.501	83.167,00	3,01
167	84.169	253.513	250.501	253.513	84.169,00	3,01
168	85.177	256.543	253.513	256.543	85.177,00	3,01
169	86.191	259.591	256.543	259.591	86.191,00	3,01
170	87.211	262.657	259.591	262.657	87.211,00	3,01
171	88.237	265.741	262.657	265.741	88.237,00	3,01
172	89.269	268.843	265.741	268.843	89.269,00	3,01
173	90.307	271.963	268.843	271.963	90.307,00	3,01
174	91.351	275.101	271.963	275.101	91.351,00	3,01
175	92.401	278.257	275.101	278.257	92.401,00	3,01
176	93.457	281.431	278.257	281.431	93.457,00	3,01
177	94.519	284.623	281.431	284.623	94.519,00	3,01

Anillo (Nivel del Núcleo)	No. de Hexágonos	No. de Individuos Sembrados	Rango de Individuos (Mínimo)	Rango de Individuos (Máximo)	Área máx ocupada m <sup>2</sup>	Rango de Individuos / Anillo
178	95.587	287.833	284.623	287.833	95.587,00	3,01
179	96.661	291.061	287.833	291.061	96.661,00	3,01
180	97.741	294.307	291.061	294.307	97.741,00	3,01
181	98.827	297.571	294.307	297.571	98.827,00	3,01
182	99.919	300.853	297.571	300.853	99.919,00	3,01
183	101.017	304.153	300.853	304.153	101.017,00	3,01
184	102.121	307.471	304.153	307.471	102.121,00	3,01
185	103.231	310.807	307.471	310.807	103.231,00	3,01
186	104.347	314.161	310.807	314.161	104.347,00	3,01
187	105.469	317.533	314.161	317.533	105.469,00	3,01
188	106.597	320.923	317.533	320.923	106.597,00	3,01
189	107.731	324.331	320.923	324.331	107.731,00	3,01
190	108.871	327.757	324.331	327.757	108.871,00	3,01
191	110.017	331.201	327.757	331.201	110.017,00	3,01
192	111.169	334.663	331.201	334.663	111.169,00	3,01
193	112.327	338.143	334.663	338.143	112.327,00	3,01
194	113.491	341.641	338.143	341.641	113.491,00	3,01
195	114.661	345.157	341.641	345.157	114.661,00	3,01
196	115.837	348.691	345.157	348.691	115.837,00	3,01
197	117.019	352.243	348.691	352.243	117.019,00	3,01
198	118.207	355.813	352.243	355.813	118.207,00	3,01
199	119.401	359.401	355.813	359.401	119.401,00	3,01
200	120.601	363.007	359.401	363.007	120.601,00	3,01
201	121.807	366.631	363.007	366.631	121.807,00	3,01
202	123.019	370.273	366.631	370.273	123.019,00	3,01
203	124.237	373.933	370.273	373.933	124.237,00	3,01
204	125.461	377.611	373.933	377.611	125.461,00	3,01
205	126.691	381.307	377.611	381.307	126.691,00	3,01
206	127.927	385.021	381.307	385.021	127.927,00	3,01
207	129.169	388.753	385.021	388.753	129.169,00	3,01
208	130.417	392.503	388.753	392.503	130.417,00	3,01
209	131.671	396.271	392.503	396.271	131.671,00	3,01
210	132.931	400.057	396.271	400.057	132.931,00	3,01
211	134.197	403.861	400.057	403.861	134.197,00	3,01
212	135.469	407.683	403.861	407.683	135.469,00	3,01
213	136.747	411.523	407.683	411.523	136.747,00	3,01
214	138.031	415.381	411.523	415.381	138.031,00	3,01
215	139.321	419.257	415.381	419.257	139.321,00	3,01
216	140.617	423.151	419.257	423.151	140.617,00	3,01
217	141.919	427.063	423.151	427.063	141.919,00	3,01
218	143.227	430.993	427.063	430.993	143.227,00	3,01
219	144.541	434.941	430.993	434.941	144.541,00	3,01
220	145.861	438.907	434.941	438.907	145.861,00	3,01
221	147.187	442.891	438.907	442.891	147.187,00	3,01
222	148.519	446.893	442.891	446.893	148.519,00	3,01
223	149.857	450.913	446.893	450.913	149.857,00	3,01
224	151.201	454.951	450.913	454.951	151.201,00	3,01
225	152.551	459.007	454.951	459.007	152.551,00	3,01
226	153.907	463.081	459.007	463.081	153.907,00	3,01
227	155.269	467.173	463.081	467.173	155.269,00	3,01
228	156.637	471.283	467.173	471.283	156.637,00	3,01
229	158.011	475.411	471.283	475.411	158.011,00	3,01
230	159.391	479.557	475.411	479.557	159.391,00	3,01
231	160.777	483.721	479.557	483.721	160.777,00	3,01
232	162.169	487.903	483.721	487.903	162.169,00	3,01
233	163.567	492.103	487.903	492.103	163.567,00	3,01
234	164.971	496.321	492.103	496.321	164.971,00	3,01
235	166.381	500.557	496.321	500.557	166.381,00	3,01
236	167.797	504.811	500.557	504.811	167.797,00	3,01
237	169.219	509.083	504.811	509.083	169.219,00	3,01

Anillo (Nivel del Núcleo)	No. de Hexágonos	No. de Individuos Sembrados	Rango de Individuos (Mínimo)	Rango de Individuos (Máximo)	Área máx ocupada m <sup>2</sup>	Rango de Individuos / Anillo
238	170.647	513.373	509.083	513.373	170.647,00	3,01
239	172.081	517.681	513.373	517.681	172.081,00	3,01
240	173.521	522.007	517.681	522.007	173.521,00	3,01
241	174.967	526.351	522.007	526.351	174.967,00	3,01
242	176.419	530.713	526.351	530.713	176.419,00	3,01
243	177.877	535.093	530.713	535.093	177.877,00	3,01
244	179.341	539.491	535.093	539.491	179.341,00	3,01
245	180.811	543.907	539.491	543.907	180.811,00	3,01
246	182.287	548.341	543.907	548.341	182.287,00	3,01
247	183.769	552.793	548.341	552.793	183.769,00	3,01
248	185.257	557.263	552.793	557.263	185.257,00	3,01
249	186.751	561.751	557.263	561.751	186.751,00	3,01
250	188.251	566.257	561.751	566.257	188.251,00	3,01
251	189.757	570.781	566.257	570.781	189.757,00	3,01
252	191.269	575.323	570.781	575.323	191.269,00	3,01
253	192.787	579.883	575.323	579.883	192.787,00	3,01
254	194.311	584.461	579.883	584.461	194.311,00	3,01
255	195.841	589.057	584.461	589.057	195.841,00	3,01
256	197.377	593.671	589.057	593.671	197.377,00	3,01
257	198.919	598.303	593.671	598.303	198.919,00	3,01
258	200.467	602.953	598.303	602.953	200.467,00	3,01
259	202.021	607.621	602.953	607.621	202.021,00	3,01
260	203.581	612.307	607.621	612.307	203.581,00	3,01
261	205.147	617.011	612.307	617.011	205.147,00	3,01
262	206.719	621.733	617.011	621.733	206.719,00	3,01
263	208.297	626.473	621.733	626.473	208.297,00	3,01
264	209.881	631.231	626.473	631.231	209.881,00	3,01
265	211.471	636.007	631.231	636.007	211.471,00	3,01
266	213.067	640.801	636.007	640.801	213.067,00	3,01
267	214.669	645.613	640.801	645.613	214.669,00	3,01
268	216.277	650.443	645.613	650.443	216.277,00	3,01
269	217.891	655.291	650.443	655.291	217.891,00	3,01
270	219.511	660.157	655.291	660.157	219.511,00	3,01
271	221.137	665.041	660.157	665.041	221.137,00	3,01
272	222.769	669.943	665.041	669.943	222.769,00	3,01
273	224.407	674.863	669.943	674.863	224.407,00	3,01
274	226.051	679.801	674.863	679.801	226.051,00	3,01
275	227.701	684.757	679.801	684.757	227.701,00	3,01
276	229.357	689.731	684.757	689.731	229.357,00	3,01
277	231.019	694.723	689.731	694.723	231.019,00	3,01
278	232.687	699.733	694.723	699.733	232.687,00	3,01
279	234.361	704.761	699.733	704.761	234.361,00	3,01
280	236.041	709.807	704.761	709.807	236.041,00	3,01
281	237.727	714.871	709.807	714.871	237.727,00	3,01
282	239.419	719.953	714.871	719.953	239.419,00	3,01
283	241.117	725.053	719.953	725.053	241.117,00	3,01
284	242.821	730.171	725.053	730.171	242.821,00	3,01
285	244.531	735.307	730.171	735.307	244.531,00	3,01
286	246.247	740.461	735.307	740.461	246.247,00	3,01
287	247.969	745.633	740.461	745.633	247.969,00	3,01
288	249.697	750.823	745.633	750.823	249.697,00	3,01
289	251.431	756.031	750.823	756.031	251.431,00	3,01
290	253.171	761.257	756.031	761.257	253.171,00	3,01
291	254.917	766.501	761.257	766.501	254.917,00	3,01
292	256.669	771.763	766.501	771.763	256.669,00	3,01
293	258.427	777.043	771.763	777.043	258.427,00	3,01
294	260.191	782.341	777.043	782.341	260.191,00	3,01
295	261.961	787.657	782.341	787.657	261.961,00	3,01
296	263.737	792.991	787.657	792.991	263.737,00	3,01
297	265.519	798.343	792.991	798.343	265.519,00	3,01

Anillo (Nivel del Núcleo)	No. de Hexágonos	No. de Individuos Sembrados	Rango de Individuos (Mínimo)	Rango de Individuos (Máximo)	Área máx ocupada m <sup>2</sup>	Rango de Individuos / Anillo
298	267.307	803.713	798.343	803.713	267.307,00	3,01
299	269.101	809.101	803.713	809.101	269.101,00	3,01
300	270.901	814.507	809.101	814.507	270.901,00	3,01
301	272.707	819.931	814.507	819.931	272.707,00	3,01
302	274.519	825.373	819.931	825.373	274.519,00	3,01
303	276.337	830.833	825.373	830.833	276.337,00	3,01
304	278.161	836.311	830.833	836.311	278.161,00	3,01
305	279.991	841.807	836.311	841.807	279.991,00	3,01
306	281.827	847.321	841.807	847.321	281.827,00	3,01
307	283.669	852.853	847.321	852.853	283.669,00	3,01
308	285.517	858.403	852.853	858.403	285.517,00	3,01
309	287.371	863.971	858.403	863.971	287.371,00	3,01
310	289.231	869.557	863.971	869.557	289.231,00	3,01
311	291.097	875.161	869.557	875.161	291.097,00	3,01
312	292.969	880.783	875.161	880.783	292.969,00	3,01
313	294.847	886.423	880.783	886.423	294.847,00	3,01
314	296.731	892.081	886.423	892.081	296.731,00	3,01
315	298.621	897.757	892.081	897.757	298.621,00	3,01
316	300.517	903.451	897.757	903.451	300.517,00	3,01
317	302.419	909.163	903.451	909.163	302.419,00	3,01
318	304.327	914.893	909.163	914.893	304.327,00	3,01
319	306.241	920.641	914.893	920.641	306.241,00	3,01
320	308.161	926.407	920.641	926.407	308.161,00	3,01
321	310.087	932.191	926.407	932.191	310.087,00	3,01
322	312.019	937.993	932.191	937.993	312.019,00	3,01
323	313.957	943.813	937.993	943.813	313.957,00	3,01
324	315.901	949.651	943.813	949.651	315.901,00	3,01
325	317.851	955.507	949.651	955.507	317.851,00	3,01
326	319.807	961.381	955.507	961.381	319.807,00	3,01
327	321.769	967.273	961.381	967.273	321.769,00	3,01
328	323.737	973.183	967.273	973.183	323.737,00	3,01
329	325.711	979.111	973.183	979.111	325.711,00	3,01
330	327.691	985.057	979.111	985.057	327.691,00	3,01
331	329.677	991.021	985.057	991.021	329.677,00	3,01
332	331.669	997.003	991.021	997.003	331.669,00	3,01
333	333.667	1.003.003	997.003	1.003.003	333.667,00	3,01
334	335.671	1.009.021	1.003.003	1.009.021	335.671,00	3,01
335	337.681	1.015.057	1.009.021	1.015.057	337.681,00	3,01
336	339.697	1.021.111	1.015.057	1.021.111	339.697,00	3,01
337	341.719	1.027.183	1.021.111	1.027.183	341.719,00	3,01
338	343.747	1.033.273	1.027.183	1.033.273	343.747,00	3,01
339	345.781	1.039.381	1.033.273	1.039.381	345.781,00	3,01
340	347.821	1.045.507	1.039.381	1.045.507	347.821,00	3,01
341	349.867	1.051.651	1.045.507	1.051.651	349.867,00	3,01
342	351.919	1.057.813	1.051.651	1.057.813	351.919,00	3,01
343	353.977	1.063.993	1.057.813	1.063.993	353.977,00	3,01
344	356.041	1.070.191	1.063.993	1.070.191	356.041,00	3,01
345	358.111	1.076.407	1.070.191	1.076.407	358.111,00	3,01
346	360.187	1.082.641	1.076.407	1.082.641	360.187,00	3,01
347	362.269	1.088.893	1.082.641	1.088.893	362.269,00	3,01
348	364.357	1.095.163	1.088.893	1.095.163	364.357,00	3,01
349	366.451	1.101.451	1.095.163	1.101.451	366.451,00	3,01
350	368.551	1.107.757	1.101.451	1.107.757	368.551,00	3,01
351	370.657	1.114.081	1.107.757	1.114.081	370.657,00	3,01
352	372.769	1.120.423	1.114.081	1.120.423	372.769,00	3,01
353	374.887	1.126.783	1.120.423	1.126.783	374.887,00	3,01
354	377.011	1.133.161	1.126.783	1.133.161	377.011,00	3,01
355	379.141	1.139.557	1.133.161	1.139.557	379.141,00	3,01
356	381.277	1.145.971	1.139.557	1.145.971	381.277,00	3,01
357	383.419	1.152.403	1.145.971	1.152.403	383.419,00	3,01

Anillo (Nivel del Núcleo)	No. de Hexágonos	No. de Individuos Sembrados	Rango de Individuos (Mínimo)	Rango de Individuos (Máximo)	Área máx ocupada m <sup>2</sup>	Rango de Individuos / Anillo
358	385.567	1.158.853	1.152.403	1.158.853	385.567,00	3,01
359	387.721	1.165.321	1.158.853	1.165.321	387.721,00	3,01
360	389.881	1.171.807	1.165.321	1.171.807	389.881,00	3,01
361	392.047	1.178.311	1.171.807	1.178.311	392.047,00	3,01
362	394.219	1.184.833	1.178.311	1.184.833	394.219,00	3,01
363	396.397	1.191.373	1.184.833	1.191.373	396.397,00	3,01
364	398.581	1.197.931	1.191.373	1.197.931	398.581,00	3,01
365	400.771	1.204.507	1.197.931	1.204.507	400.771,00	3,01
366	402.967	1.211.101	1.204.507	1.211.101	402.967,00	3,01
367	405.169	1.217.713	1.211.101	1.217.713	405.169,00	3,01
368	407.377	1.224.343	1.217.713	1.224.343	407.377,00	3,01
369	409.591	1.230.991	1.224.343	1.230.991	409.591,00	3,01
370	411.811	1.237.657	1.230.991	1.237.657	411.811,00	3,01
371	414.037	1.244.341	1.237.657	1.244.341	414.037,00	3,01
372	416.269	1.251.043	1.244.341	1.251.043	416.269,00	3,01
373	418.507	1.257.763	1.251.043	1.257.763	418.507,00	3,01
374	420.751	1.264.501	1.257.763	1.264.501	420.751,00	3,01
375	423.001	1.271.257	1.264.501	1.271.257	423.001,00	3,01
376	425.257	1.278.031	1.271.257	1.278.031	425.257,00	3,01
377	427.519	1.284.823	1.278.031	1.284.823	427.519,00	3,01
378	429.787	1.291.633	1.284.823	1.291.633	429.787,00	3,01
379	432.061	1.298.461	1.291.633	1.298.461	432.061,00	3,01
380	434.341	1.305.307	1.298.461	1.305.307	434.341,00	3,01
381	436.627	1.312.171	1.305.307	1.312.171	436.627,00	3,01
382	438.919	1.319.053	1.312.171	1.319.053	438.919,00	3,01
383	441.217	1.325.953	1.319.053	1.325.953	441.217,00	3,01
384	443.521	1.332.871	1.325.953	1.332.871	443.521,00	3,01
385	445.831	1.339.807	1.332.871	1.339.807	445.831,00	3,01
386	448.147	1.346.761	1.339.807	1.346.761	448.147,00	3,01
387	450.469	1.353.733	1.346.761	1.353.733	450.469,00	3,01
388	452.797	1.360.723	1.353.733	1.360.723	452.797,00	3,01
389	455.131	1.367.731	1.360.723	1.367.731	455.131,00	3,01
390	457.471	1.374.757	1.367.731	1.374.757	457.471,00	3,01
391	459.817	1.381.801	1.374.757	1.381.801	459.817,00	3,01
392	462.169	1.388.863	1.381.801	1.388.863	462.169,00	3,01
393	464.527	1.395.943	1.388.863	1.395.943	464.527,00	3,01
394	466.891	1.403.041	1.395.943	1.403.041	466.891,00	3,01
395	469.261	1.410.157	1.403.041	1.410.157	469.261,00	3,01
396	471.637	1.417.291	1.410.157	1.417.291	471.637,00	3,01
397	474.019	1.424.443	1.417.291	1.424.443	474.019,00	3,01
398	476.407	1.431.613	1.424.443	1.431.613	476.407,00	3,01
399	478.801	1.438.801	1.431.613	1.438.801	478.801,00	3,01
400	481.201	1.446.007	1.438.801	1.446.007	481.201,00	3,00
401	483.607	1.453.231	1.446.007	1.453.231	483.607,00	3,00
402	486.019	1.460.473	1.453.231	1.460.473	486.019,00	3,00
403	488.437	1.467.733	1.460.473	1.467.733	488.437,00	3,00
404	490.861	1.475.011	1.467.733	1.475.011	490.861,00	3,00
405	493.291	1.482.307	1.475.011	1.482.307	493.291,00	3,00
406	495.727	1.489.621	1.482.307	1.489.621	495.727,00	3,00
407	498.169	1.496.953	1.489.621	1.496.953	498.169,00	3,00
408	500.617	1.504.303	1.496.953	1.504.303	500.617,00	3,00
409	503.071	1.511.671	1.504.303	1.511.671	503.071,00	3,00
410	505.531	1.519.057	1.511.671	1.519.057	505.531,00	3,00
411	507.997	1.526.461	1.519.057	1.526.461	507.997,00	3,00
412	510.469	1.533.883	1.526.461	1.533.883	510.469,00	3,00
413	512.947	1.541.323	1.533.883	1.541.323	512.947,00	3,00
414	515.431	1.548.781	1.541.323	1.548.781	515.431,00	3,00
415	517.921	1.556.257	1.548.781	1.556.257	517.921,00	3,00
416	520.417	1.563.751	1.556.257	1.563.751	520.417,00	3,00
417	522.919	1.571.263	1.563.751	1.571.263	522.919,00	3,00

Anillo (Nivel del Núcleo)	No. de Hexágonos	No. de Individuos Sembrados	Rango de Individuos (Mínimo)	Rango de Individuos (Máximo)	Área máx ocupada m <sup>2</sup>	Rango de Individuos / Anillo
418	525.427	1.578.793	1.571.263	1.578.793	525.427,00	3,00
419	527.941	1.586.341	1.578.793	1.586.341	527.941,00	3,00
420	530.461	1.593.907	1.586.341	1.593.907	530.461,00	3,00
421	532.987	1.601.491	1.593.907	1.601.491	532.987,00	3,00
422	535.519	1.609.093	1.601.491	1.609.093	535.519,00	3,00
423	538.057	1.616.713	1.609.093	1.616.713	538.057,00	3,00
424	540.601	1.624.351	1.616.713	1.624.351	540.601,00	3,00
425	543.151	1.632.007	1.624.351	1.632.007	543.151,00	3,00
426	545.707	1.639.681	1.632.007	1.639.681	545.707,00	3,00
427	548.269	1.647.373	1.639.681	1.647.373	548.269,00	3,00
428	550.837	1.655.083	1.647.373	1.655.083	550.837,00	3,00
429	553.411	1.662.811	1.655.083	1.662.811	553.411,00	3,00
430	555.991	1.670.557	1.662.811	1.670.557	555.991,00	3,00
431	558.577	1.678.321	1.670.557	1.678.321	558.577,00	3,00
432	561.169	1.686.103	1.678.321	1.686.103	561.169,00	3,00
433	563.767	1.693.903	1.686.103	1.693.903	563.767,00	3,00
434	566.371	1.701.721	1.693.903	1.701.721	566.371,00	3,00
435	568.981	1.709.557	1.701.721	1.709.557	568.981,00	3,00
436	571.597	1.717.411	1.709.557	1.717.411	571.597,00	3,00
437	574.219	1.725.283	1.717.411	1.725.283	574.219,00	3,00
438	576.847	1.733.173	1.725.283	1.733.173	576.847,00	3,00
439	579.481	1.741.081	1.733.173	1.741.081	579.481,00	3,00
440	582.121	1.749.007	1.741.081	1.749.007	582.121,00	3,00
441	584.767	1.756.951	1.749.007	1.756.951	584.767,00	3,00
442	587.419	1.764.913	1.756.951	1.764.913	587.419,00	3,00
443	590.077	1.772.893	1.764.913	1.772.893	590.077,00	3,00
444	592.741	1.780.891	1.772.893	1.780.891	592.741,00	3,00
445	595.411	1.788.907	1.780.891	1.788.907	595.411,00	3,00
446	598.087	1.796.941	1.788.907	1.796.941	598.087,00	3,00
447	600.769	1.804.993	1.796.941	1.804.993	600.769,00	3,00
448	603.457	1.813.063	1.804.993	1.813.063	603.457,00	3,00
449	606.151	1.821.151	1.813.063	1.821.151	606.151,00	3,00
450	608.851	1.829.257	1.821.151	1.829.257	608.851,00	3,00
451	611.557	1.837.381	1.829.257	1.837.381	611.557,00	3,00
452	614.269	1.845.523	1.837.381	1.845.523	614.269,00	3,00
453	616.987	1.853.683	1.845.523	1.853.683	616.987,00	3,00
454	619.711	1.861.861	1.853.683	1.861.861	619.711,00	3,00
455	622.441	1.870.057	1.861.861	1.870.057	622.441,00	3,00
456	625.177	1.878.271	1.870.057	1.878.271	625.177,00	3,00
457	627.919	1.886.503	1.878.271	1.886.503	627.919,00	3,00
458	630.667	1.894.753	1.886.503	1.894.753	630.667,00	3,00
459	633.421	1.903.021	1.894.753	1.903.021	633.421,00	3,00
460	636.181	1.911.307	1.903.021	1.911.307	636.181,00	3,00
461	638.947	1.919.611	1.911.307	1.919.611	638.947,00	3,00
462	641.719	1.927.933	1.919.611	1.927.933	641.719,00	3,00
463	644.497	1.936.273	1.927.933	1.936.273	644.497,00	3,00
464	647.281	1.944.631	1.936.273	1.944.631	647.281,00	3,00
465	650.071	1.953.007	1.944.631	1.953.007	650.071,00	3,00
466	652.867	1.961.401	1.953.007	1.961.401	652.867,00	3,00
467	655.669	1.969.813	1.961.401	1.969.813	655.669,00	3,00
468	658.477	1.978.243	1.969.813	1.978.243	658.477,00	3,00
469	661.291	1.986.691	1.978.243	1.986.691	661.291,00	3,00
470	664.111	1.995.157	1.986.691	1.995.157	664.111,00	3,00
471	666.937	2.003.641	1.995.157	2.003.641	666.937,00	3,00
472	669.769	2.012.143	2.003.641	2.012.143	669.769,00	3,00
473	672.607	2.020.663	2.012.143	2.020.663	672.607,00	3,00
474	675.451	2.029.201	2.020.663	2.029.201	675.451,00	3,00
475	678.301	2.037.757	2.029.201	2.037.757	678.301,00	3,00
476	681.157	2.046.331	2.037.757	2.046.331	681.157,00	3,00
477	684.019	2.054.923	2.046.331	2.054.923	684.019,00	3,00

Anillo (Nivel del Núcleo)	No. de Hexágonos	No. de Individuos Sembrados	Rango de Individuos (Mínimo)	Rango de Individuos (Máximo)	Área máx ocupada m <sup>2</sup>	Rango de Individuos / Anillo
478	686.887	2.063.533	2.054.923	2.063.533	686.887,00	3,00
479	689.761	2.072.161	2.063.533	2.072.161	689.761,00	3,00
480	692.641	2.080.807	2.072.161	2.080.807	692.641,00	3,00
481	695.527	2.089.471	2.080.807	2.089.471	695.527,00	3,00
482	698.419	2.098.153	2.089.471	2.098.153	698.419,00	3,00
483	701.317	2.106.853	2.098.153	2.106.853	701.317,00	3,00
484	704.221	2.115.571	2.106.853	2.115.571	704.221,00	3,00
485	707.131	2.124.307	2.115.571	2.124.307	707.131,00	3,00
486	710.047	2.133.061	2.124.307	2.133.061	710.047,00	3,00
487	712.969	2.141.833	2.133.061	2.141.833	712.969,00	3,00
488	715.897	2.150.623	2.141.833	2.150.623	715.897,00	3,00
489	718.831	2.159.431	2.150.623	2.159.431	718.831,00	3,00
490	721.771	2.168.257	2.159.431	2.168.257	721.771,00	3,00
491	724.717	2.177.101	2.168.257	2.177.101	724.717,00	3,00
492	727.669	2.185.963	2.177.101	2.185.963	727.669,00	3,00
493	730.627	2.194.843	2.185.963	2.194.843	730.627,00	3,00
494	733.591	2.203.741	2.194.843	2.203.741	733.591,00	3,00
495	736.561	2.212.657	2.203.741	2.212.657	736.561,00	3,00
496	739.537	2.221.591	2.212.657	2.221.591	739.537,00	3,00
497	742.519	2.230.543	2.221.591	2.230.543	742.519,00	3,00
498	745.507	2.239.513	2.230.543	2.239.513	745.507,00	3,00
499	748.501	2.248.501	2.239.513	2.248.501	748.501,00	3,00
500	751.501	2.257.507	2.248.501	2.257.507	751.501,00	3,00
501	754.507	2.266.531	2.257.507	2.266.531	754.507,00	3,00
502	757.519	2.275.573	2.266.531	2.275.573	757.519,00	3,00
503	760.537	2.284.633	2.275.573	2.284.633	760.537,00	3,00
504	763.561	2.293.711	2.284.633	2.293.711	763.561,00	3,00
505	766.591	2.302.807	2.293.711	2.302.807	766.591,00	3,00
506	769.627	2.311.921	2.302.807	2.311.921	769.627,00	3,00
507	772.669	2.321.053	2.311.921	2.321.053	772.669,00	3,00
508	775.717	2.330.203	2.321.053	2.330.203	775.717,00	3,00
509	778.771	2.339.371	2.330.203	2.339.371	778.771,00	3,00
510	781.831	2.348.557	2.339.371	2.348.557	781.831,00	3,00
511	784.897	2.357.761	2.348.557	2.357.761	784.897,00	3,00
512	787.969	2.366.983	2.357.761	2.366.983	787.969,00	3,00
513	791.047	2.376.223	2.366.983	2.376.223	791.047,00	3,00
514	794.131	2.385.481	2.376.223	2.385.481	794.131,00	3,00
515	797.221	2.394.757	2.385.481	2.394.757	797.221,00	3,00
516	800.317	2.404.051	2.394.757	2.404.051	800.317,00	3,00
517	803.419	2.413.363	2.404.051	2.413.363	803.419,00	3,00
518	806.527	2.422.693	2.413.363	2.422.693	806.527,00	3,00
519	809.641	2.432.041	2.422.693	2.432.041	809.641,00	3,00
520	812.761	2.441.407	2.432.041	2.441.407	812.761,00	3,00
521	815.887	2.450.791	2.441.407	2.450.791	815.887,00	3,00
522	819.019	2.460.193	2.450.791	2.460.193	819.019,00	3,00
523	822.157	2.469.613	2.460.193	2.469.613	822.157,00	3,00
524	825.301	2.479.051	2.469.613	2.479.051	825.301,00	3,00
525	828.451	2.488.507	2.479.051	2.488.507	828.451,00	3,00
526	831.607	2.497.981	2.488.507	2.497.981	831.607,00	3,00
527	834.769	2.507.473	2.497.981	2.507.473	834.769,00	3,00
528	837.937	2.516.983	2.507.473	2.516.983	837.937,00	3,00
529	841.111	2.526.511	2.516.983	2.526.511	841.111,00	3,00
530	844.291	2.536.057	2.526.511	2.536.057	844.291,00	3,00
531	847.477	2.545.621	2.536.057	2.545.621	847.477,00	3,00
532	850.669	2.555.203	2.545.621	2.555.203	850.669,00	3,00
533	853.867	2.564.803	2.555.203	2.564.803	853.867,00	3,00
534	857.071	2.574.421	2.564.803	2.574.421	857.071,00	3,00
535	860.281	2.584.057	2.574.421	2.584.057	860.281,00	3,00
536	863.497	2.593.711	2.584.057	2.593.711	863.497,00	3,00
537	866.719	2.603.383	2.593.711	2.603.383	866.719,00	3,00

## **ANEXO 5. REVISTAS A LAS QUE SE SOMETERÁ**

### **EL ARTÍCULO PRESENTADO**

El artículo denominado “ARREGLOS FLORÍSTICOS PARA LA RESTAURACIÓN DEL BOSQUE SECO TROPICAL EN EL VALLE DEL CAUCA: ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS BAJO RESTRICCIONES DE RECURSOS Y ESCENARIOS DE FACTORES ABIÓTICOS”, pretende ser presentado a las siguientes revistas:

#### **REVISTA 1: FOREST ECOLOGY AND MANAGEMENT**

Descripción: Esta revista internacional, indexada con un CiteScore de 3.50 y un Impact Factor de 3.169; publica artículos científicos que relacionan ecología forestal con administración forestal, enfocándose en aplicaciones de conocimiento biológico, ecológico y social para la gestión y conservaciones de plantaciones y bosques naturales, abarcando la totalidad de ecosistemas forestales en el mundo.

Justificación: El artículo propuesto presenta un modelo y metodologías que buscan optimizar el proceso de restauración de un bosque seco tropical, integrando herramientas de gestión y administración que se acoplan con criterios ecológicos, para facilitar el proceso de toma de decisiones en la etapa de diseño de proyectos de restauración. En consecuencia, se ajusta al tipo de publicaciones de interés para esta revista.

#### **REVISTA 2: RESTORATION ECOLOGY**

Descripción: Esta revista internacional, hace parte de la estrategia de publicaciones de la Sociedad para la Restauración Ecológica que integra más de 2.500 miembros de más de 70 países; publica artículos bajo la premisa de promover el intercambio de ideas entre las diferentes disciplinas involucradas en el proceso de restauración ecológica; de tal manera que puedan comunicarse a la comunidad de restauradores en el mundo, contemplando aspectos biológicos, sociales, ecológicos, económicos, entre otros; teniendo su foco de aplicación en cualquier tipo de ecosistema.

Justificación: El artículo propuesto demuestra la necesidad de integrar diversos conocimientos y herramientas metodológicas para el diseño de estrategias de restauración de Bosque Seco Tropical bajo intervenciones de alta intensidad. Por lo tanto, responde al foco de esta revista ya que involucra diversas disciplinas y enfoques para el diseño de estrategias de restauración.