



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

UNIVERSIDAD DE GUANTÁNAMO

FACULTAD AGROFORESTAL

Tesis presentada en opción al Título Académico de

Máster en Ciencias Forestales

Mención: Aprovechamiento Forestal

Título: Organización espacial e inventario para predecir el potencial de biomasa forestal para la producción de carbón vegetal aplicando modelos matemáticos

Autor: Ing. Yoandris Tamayo Santoya

2021

“Año 63 de la Revolución”

UNIVERSIDAD DE GUANTÁNAMO

FACULTAD AGROFORESTAL

Tesis presentada en opción al Título Académico de

Máster en Ciencias Forestales

Mención: Aprovechamiento Forestal

Título: Organización espacial e inventario para predecir el potencial de biomasa forestal para la producción de carbón vegetal aplicando modelos matemáticos

Autor: Ing. Yoandris Tamayo Santoya

Tutores: Ing. Dr. C. Yordan Lores Pérez. Profesos Titular

Ing. Dr.C. Héctor Barrera Medel. Profesor Titular. Investigador Titular

2021

“Año 63 de la Revolución”

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

A todo aquellas personas que me alentaron a realizar la maestría en ciencia forestales es difícil citarlos a todas, lo que es difícil, porque según el lugar en que las ubique parecerá que unas tienen más trascendencia que otros y eso no es así, todas son de igual de importantes y a todos le quiero expresar el mismo agradecimiento. Por eso las iré nombrando en la secuencia en que aparecieron en mi vida:

A Mí querida familia

Mi madre Marice la Santoya Suárez por ser fuente de inspiración en mi superación , mi padre Héctor Tamayo por ser un eslabón fundamental en mi vida , mis hermanos Héctor y Daniel son parte de mi vida y han participado, de forma activa en mi investigación , mi queridos hijos Azumi Samira Tamayo Correoso , Marlon Daniel Tamayo Plutin , Brayan Daniel Tamayo Plutin , Jonathan Yaniel Tamayo Plutin , mi esposa Maria Elena Plutin Ramirez por su dedicación y apego en las largas horas de estudio .

A Mis profesores

De la Facultad Agroforestal de Montaña por ver De la carrera de ingeniería forestal y de la maestría en ciencias forestales en especial a aquellos que de forma directa o indirecta han participado de forma activa en mi formación y en especial a mi tutor Dr.C. Yordan Lores Pérez por las largas horas de consulta y por su ayuda incondicional como amigo y tutor amistad

Al personal y la dirección de la facultad forestal de sido parte de mi formación como profesional y hombre de bien.

A mi país y en especial a nuestro externo líder Fidel Castro Ruz por su confianza en los jóvenes, es el faro que nos guía por lo que es una orden seguir su legado cuba tiene que ser un país de hombres de ciencias y somos continuidad .

A todos muchas gracias

DEDICATORIA

DEDICATORIA

A Mí querida familia

Mi madre Marice la Santoya Suárez por ser fuente de inspiración en mi superación , mi padre Héctor Tamayo por ser un eslabón fundamental en mi vida , mis hermanos Héctor y Daniel son parte de mi vida y han participado,de forma activa en mi investigación , mi queridos hijos Azumi Samira Tamayo Correoso ,Marlon Daniel Tamayo Plutin , Brayan Daniel Tamayo Plutin , Jonathan Yaniel Tamayo Plutin , mi esposa Maria Elena Plutin Ramirez por su dedicacion y apego en las largas hora de estudio .

A todos los investigadores que requieran de los resultados que se muestran en esta memoria escrita.

PENSAMIENTO

Pensamiento

El hombre puede hacer de si muchas cosas producto de su esfuerzo físico y espiritual, y el que se proponga cultivar la virtud, la cultiva, el que se proponga alcanzar la moral más alta la alcanza, el que se proponga adquirir más conocimiento, lo adquiere; el que se proponga hacer mejor estudiante puede llegar hacer mejor estudiante, el que se proponga alcanzar los más altos niveles de conocimientos lo alcanza.



Fidel Castro Ruz

RESUMEN

RESUMEN

La investigación se desarrolló en la UBPC Rio Frio, perteneciente a la empresa Agroforestal Guantánamo, localizado en el municipio Niceto Pérez, provincia Guantánamo. Iniciada en septiembre del 2019 a diciembre del 2020. La misma tiene como objetivo ordenar espacialmente las áreas para justificar la implementación de modelos matemáticos para predecir el potencial de biomasa forestal para la producción de carbón, Se levantaron un total de 25 parcelas circulares de 500 m², mediante un muestreo a la zar, en el cual se determinó el diámetro a 1.30 y la altura de todos los árboles mayores de 5 m de altura, se determinaron los valores dasométricos del área para conocer el valor actual del bosque. Se obtienen en este trabajo, que el área se dividió en dos lotes, el lote I con 15 rodales y el lote II con 8 para un total de 23, según el inventario arrojo que existen especies de alto valor energético por lo que se justifica el ensayo de modelos matemáticos para estimar el potencial de biomasa forestal para la producción de carbón vegetal proponiendo un plan de manejo simplificado para la organización y desarrollo del patrimonio con acercamiento a la sostenibilidad y un modelo polinómico de tercer grado como el modelo de mejor ajuste.

Palabras claves: Modelos matemáticos Plan, Manejo, Simplificado, sostenibilidad.

SUMMARY

SUMMARY

The research was developed at the UBPC Rio Frio, belonging to the Guantánamo Agroforestry company, located in the Niceto Pérez municipality, Guantánamo province. Started in September 2019 to December 2020. It aims to spatially order the areas to justify the implementation of mathematical models to predict the potential of forest biomass for charcoal production. A total of 25 circular plots of 500 m² were raised. By means of a zar sampling, in which the diameter was determined at 1.30 and the height of all the trees greater than 5 m in height, the dasometric values of the area were determined to know the current value of the forest. It is obtained in this work, that the area was divided into two lots, lot I with 15 stands and lot II with 8 for a total of 23, according to the inventory showed that there are species of high energy value, which is why the testing of mathematical models to estimate the potential of forest biomass for the production of charcoal proposing a simplified management plan for the organization and development of the heritage with an approach to sustainability and a third degree polynomial model as the best fit model.

Keywords: Mathematical models Plan, Management, Simplified, sustainability.

ÍNDICE

ÍNDICE

| TITULO | Pág. |
|--|------|
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 8 |
| 2.1. El inventario como base de la ordenación forestal sostenible | 8 |
| 2.1.1. Objetivos y tipos de inventarios | 9 |
| 2.1.2. El inventario forestal continuo | 11 |
| 2.1.3. Optimización de inventario | 13 |
| 2.1.4. Informaciones que se toman en los inventarios | 15 |
| 2.1.5. Unidades muestrales | 15 |
| 2.2. Intensidad de muestreo | 17 |
| 2.2.1. Tamaño de la muestra | 19 |
| 2.3. Consideraciones con relación a los inventarios forestales en bosques tropicales de cuba | 21 |
| 2.4. Estructura de un proyecto de ordenación de montes | 22 |
| 2.4.1. El Inventario | 23 |
| 2.4.2. La Planificación | 24 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 25 |
| 3.1. Caracterización del área de investigación | 25 |
| 3.1.1. Ubicación del área de trabajo | 25 |
| 3.2. Estado legal del área objeto de estudio | 26 |
| 3.3. Características climáticas | 27 |
| 3.3.1. Características biofísicos del área | 27 |
| 3.3.2. Topografía | 27 |
| 3.3.3. <i>Clima</i> | 28 |
| 3.3.4. <i>Suelos</i> | 28 |
| 3.3.5. Hidrografía | 28 |
| 3.4. Condiciones de trabajo | 29 |
| 3.5. Metodología utilizada para el inventario | 30 |

| | |
|--|-----------|
| 3.5.1. Tamaño de la muestra | 31 |
| 3.5.2. Intensidad de muestreo | 31 |
| 3.6. Índices dasométricos | 34 |
| 3.6.1. Determinación del área basal por hectárea | 34 |
| 3.6.2. Determinación del volumen por hectárea | 34 |
| 3.6.3. Determinación del número de árboles por hectárea | 35 |
| 3.7. Propuesta de manejo | 35 |
| 3.8. Análisis de los modelos de regresión de volumen | 36 |
| 3.8.1. Selección del modelo | 36 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 40 |
| 4.1. Estado actual del patrimonio de la UBPC Rio Frio | 40 |
| 4.1.1. Tamaño de la muestra | 40 |
| 4.2. Resultados del inventario forestal | 42 |
| 4.3. Organización espacial del patrimonio de la UBPC Rio Frio con el empleo de sistemas de información geográfica | 45 |
| 4.4. Plan de manejo simplificado para la organización y desarrollo del patrimonio de la UBPC Rio Frio con base a la sostenibilidad | 50 |
| 4.4.1. Plantación | 50 |
| 4.4.2. Regeneración natural | 51 |
| 4.4.2.1. Evaluación de la Regeneración | 52 |
| 4.4.3. Enriquecimiento de Bosque | 52 |
| 4.4.4. Actividades de aprovechamiento | 56 |
| 4.4.5. Red general de caminos | 57 |
| 4.4.6. Protección contra incendios | 58 |
| 4.4.7. Áreas Inforestales | 60 |
| 4.4.8. Edad de corta final | 60 |
| 4.4.8.1. Ciclo de Corta | 61 |
| 4.4.8.2. Actividades de Aprovechamiento | 61 |
| 4.4.8.3. Actividades de pre- aprovechamiento | 62 |
| 4.4.8.4. Actividades de post Aprovechamiento | 62 |

| | |
|--|----|
| 4.4.9. Orden de ejecución de los trabajos de aprovechamiento | 62 |
| 4.4.9.1. Red general de caminos | 63 |
| 4.4.10. Comercialización e Industrialización de la madera | 63 |
| 4.4.11. Productos Forestales No Maderables del Bosque | 64 |
| 4.5. Modelos matemáticos de mejor ajuste que prediga el potencial de biomasa forestal para la producción de carbón vegetal de la UBPC Rio Frio | 64 |
| 4.5.1. Matriz de correlación entre las variables | 64 |
| CONCLUSIONES | 67 |
| RECOMENDACIONES | 68 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | |

INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

Los bosques son indispensables para el bien de la humanidad. A través de sus funciones ecológicas se convierten en base de la vida del planeta tierra, regulando el clima, los recursos hídricos y sirviendo de hábitat a plantas y animales (Machado, 2002).

El combustible más antiguo que conoce la humanidad es la leña el hombre aprendió a utilizar las fuentes de energía para obtener determinados servicios energéticos que les permite realizar con mayor facilidad actividades , los combustibles fue el paso al desarrollo de diferentes civilizaciones y de la maquinaria entre los años 1760 y 1830, la tecnología se desarrolló con ritmos inéditos al aparecer invenciones como la máquina de vapor, los telares, el ferrocarril y navíos propulsados a vapor.

Los países en vía de desarrollo dependen mucho de la leña y el carbón vegetal para la cocinar sus alimento y la calefacción domestica (Navas *et al.*, 2011). La combustión de biomasa constituyó tradicionalmente la fuente de energía más importante desde el descubrimiento del fuego hasta la revolución industrial.

En los últimos tiempos, este aprovechamiento ha vuelto a suscitar un gran interés, entre otras razones, ante la problemática del cambio climático global, cuyo origen parece vinculado al sistema energético actual. (Balboa *et al.*, 2011)

Esta circunstancia ha motivado que a los criterios tradicionales de gestión energética, basados en lograr la mayor competitividad de costes y seguridad de suministro posibles, se hayan añadido otros tendentes a lograr una mayor protección del medio ambiente, a través de una política que incluye el desarrollo de energías de carácter renovable entre las que se encuentra la biomasa (Balboa *et al.*, 2011).

El uso de los recursos forestales está indisolublemente ligado a la evaluación de su extensión y estado (FAO, 1993). Es imposible tomar decisiones y medidas acertadas en materia de ordenación forestal tanto en escala local como mundial, sin contar con información fidedigna sobre situación y evaluación de los bosques en el tiempo.

La biomasa se define como la masa material o tejidos vegetal expresadas en término de peso seco de los órganos de una planta (Espinosa 2007). En la actualidad solo se aprovecha entre el 20 y el 50 % de la madera de los árboles en pie en cuba, el desarrollo forestal ha sido severamente afectado por el bloqueo de los estados unidos a hacia cuba , la mayoría de los árboles talados por empresas forestales no son a provechados en su totalidad por la falta de una tecnología de avanzada que aporte al aprovechamiento de la materia prima principal que tiene la forestal que es la madera , con la introducción de nuevas maquinarias para el aprovechamiento de los residuos forestales para la producción de energía limpias y renovables hemos tenido un avance en pequeña escala y somos parte de proyectos de desarrollos que dan lugar a un mejor aprovechamiento de la biomasa forestal y de aquellas especies que hace veinte años a tras presentaban un peligro para la agricultura por ser plantas invasoras como es el caso del marabú, aroma y otras que fueron declaradas como una amenaza en la actualidad son necesaria para el desarrollo de nuestro país.

Los ecosistemas forestales constituyen el origen de un elevado porcentaje del total de biomasa que se produce en el mundo, el conocimiento que hasta ahora se posee de la existencias de biomasa se reduce casi exclusivamente a lo proporcionado por los métodos tradicionales de inventarios. En ellos se considera únicamente el volumen de madera de determinadas especies, definiendo este como el volumen de fuste hasta un diámetro mínimo aprovechable ha punta que oscila entre los 7 y 10 cm con corteza , de esta forma, la cantidad real de biomasa disponible queda sustancialmente subestimada , al no considerarse el raberón, ramas, hojas, tocón, raíces, biomasa muerta y el matorral que constituye el sotobosque y materias primas susceptibles , de ser utilizadas en un mercado todas estas formas de biomasa o productos del bosque donde no prime la forma y tamaño del producto seria un avance para la economía y un desenlace social para la fomentar nuevas fuente de empleo (González, 1989).citados por (A. Vidal 1 ; J. Y. Benítez 2 ; J. Rodríguez 3 ; R. Carlos 3 ; H. Gra 1 2003) .

En los últimos tiempos la necesidad de la estimación racional e integral de toda la biomasa forestal aprovechable , así como la predicción de los incrementos potenciales de la misma, se han convertido en un importante aspecto a tener en cuenta dada la enorme cantidad de alternativas de sus usos, tanto dentro de la planificación productiva como de sus posibilidades de desarrollo científico técnico (Ritchie y Hann, 1990). citado por A. Vidal 1 ; J. Y. Benítez 2 ; J. Rodríguez 3 ; R. Carlos 3 ; H. Gra 1 2003)

Los gobiernos, la opinión pública y la comunidad científica han manifestado una preocupación cada vez mayor por la tala y degradación de los bosques de todo el mundo. La Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAB, Río de Janeiro, junio del 1992) reflejó ampliamente esta preocupación y en el Capítulo 11 titulado Lucha Contra la Deforestación, considera como elemento clave el fortalecimiento de la capacidad de planificación, evaluación y observación sistemática de los recursos forestales.

La FAO (1995) plantea que la evaluación de los recursos forestales es uno de los aspectos más descuidado en las actividades de manejo, conservación y desarrollo de los bosques tropicales.

Cuba no está ajena a esta problemática y con el triunfo de la revolución se tomaron medidas rigurosas encaminadas a regular, proteger, mejorar y aprovechar racionalmente, tanto las plantaciones como los bosques naturales de acuerdo con su categorización.

En 1959 el área forestal cubierta alcanzaba sólo el 13,4 % (Ramos, 1998). Una de las principales medidas que emprende el país, es la reforestación, pero a pesar de todos los esfuerzos y como consecuencia de una explotación irracional en el pasado, la situación general de los bosques es pobre (MINAG, 1985). Las actividades de inventario forestal en las regiones tropicales son consideradas muy engorrosas y costosas, donde la obtención de resultados fiables requiere de métodos y técnicas avanzadas. Sin embargo, los múltiples usos de los árboles y

bosques constituyen una poderosa justificación para su ordenación sostenible (Lores, 2012).

Aldana (2010) plantea que la noción fundamental de la Ordenación Espacial se refiere a la tercera condición de rendimiento sostenido. Ella se ocupa de la división del bosque en sentido horizontal (= Ordenación de la superficie) y en sentido vertical (= Estructura del vuelo o del arbolado). A estos conceptos fundamentales relativos hay que añadir aún algunos conceptos técnicos referentes a las medidas para lograr la Ordenación Espacial.

Las tareas del presente y del futuro tienen que establecerse en correspondencia con las leyes objetivas del desarrollo social. Por eso, antes de tratar las tareas, el objeto y las metas u objetivos de la Ordenación de Montes, se necesita hacer una breve exposición sobre la posición de la Economía Forestal Socialista.

El desarrollo de la Economía Forestal está inseparablemente unido a la formación de la sociedad socialista desarrollada. El fomento sistemático, el aprovechamiento y el cuidado de los bosques como fuente considerable de materia prima e importante factor cultural nacional y la utilización efectiva de la materia prima madera y otros factores forestales son pues, los primeros deseos de la Economía Forestal Socialista., donde debe alcanzarse el mayor incremento posible en la reserva de madera (existencia) junto al mejoramiento de las funciones de protección, recreación, culturales y de recreación (Aldana, 2010).

La planificación de cualquier recurso requiere en primer lugar un conocimiento del mismo, de las restricciones posibles para su utilización y de los medios disponibles. Con ellos se pueden evaluar, en paso sucesivo, alternativas de gestión que conduzcan al logro de los objetivos fijados. La planificación se inicia, por tanto, con una toma de datos (Madrigal, 1994).

La toma de datos necesaria es complicada y debe ser rigurosa, por lo que la complejidad de esta primera etapa de la ordenación, conocida como inventario o inventario para la ordenación, ha ido en aumento. Prieto y López (1993) en el Manual de Ordenación de Montes (Versión española del Manuel D'Aménagement), plantean que la ordenación consta, entre otros aspectos, de un

conjunto de análisis, que permiten comprender el conjunto de las capacidades de producción de bienes y servicios y de un conjunto de restricciones, que el gestor deberá tener en cuenta, es decir:

- El análisis del medio natural para conocer los factores ecológicos es completamente esencial.
- El análisis del medio económico y humano, es decir, del conjunto de los factores externos socio-económicos.
- El análisis de la masa forestal cuya importancia es evidente.
- El análisis de las infraestructuras forestales, como las vías de saca y redes de drenaje, que ponen de manifiesto las inversiones y las mejoras deseables, así como las restricciones que pueden condicionar la explotación del monte.

Apoyando la necesidad de este conjunto de análisis Leslie (1995) dijo que la ordenación sostenible de los bosques para la producción de madera se basaba en un principio, aparentemente sencillo, donde sólo era menester aprovechar la madera a un ritmo anual que no supere al de producción del bosque y sin perjudicar su capacidad de suministrar otros bienes y servicios. Por el contrario, si la ordenación forestal se ocupa solamente de la producción de madera y se descuidan otros bienes y servicios, así como cuestiones sociales de más amplio alcance, no será sostenible.

FAO (1998) deja claro que la aparición de nuevos métodos, como la teledetección, facilita la observación de cambios de gran magnitud en la cubierta vegetal, por lo que deben existir inventarios recientes para evaluar dichos cambios registrados en la calidad y función de los bosques y establecer conclusiones útiles acerca de la sostenibilidad en su utilización.

“El inventario forestal es el conjunto de informaciones representativas sobre el bosque, expresadas tabular-mente, las cuales están referidas en sucesión jerárquica a la unidad o unidades de manejo exigidas” (Loetsch, Zöhrer y Haller, 1973).

1. El inventario forestal implica la investigación de las informaciones referentes a la producción de madera, relacionándolas a la protección y la

recuperación del bosque, por lo que el diseño de un inventario forestal consiste, principalmente, en desarrollar la más eficiente combinación de diversas técnicas para asegurar los objetivos de la operación.

Antes de la ejecución de los trabajos de campo de cualquier tipo de inventario hay que establecer una planificación que asegure todos los aspectos del inventario, donde el diseño es uno de los componentes esenciales de esta planificación (Husch, 1971; Villanueva, 1985; Prieto y Hernando, 1995).

La estrategia ambiental nacional (CITMA, 1997), identifica como uno de los principales problemas ambientales, la deforestación agudizada en los últimos años por el uso irracional de los bosques con fines energéticos, debido a la escasez de combustible doméstico, y otras dificultades que afectan la calidad de los bosques cubanos. Los métodos y técnicas tradicionales utilizadas en Cuba y otros países subdesarrollados para la realización de los inventarios forestales con fine de ordenación, no permite obtener información actualizadas y de manera continua de los recursos forestales, ni el monitoreo de los indicadores con finalidad de evaluar el cambio de la ordenación forestal sostenible.

Para minimizar los efectos ambientales asociados a la deforestación, se propone revitalizar la ordenación forestal macro y simplificada e intensificar los planes de manejo, establecer especies adaptadas a los diferentes ecosistemas, el enriquecimiento de la flora forestal, detener la tala no controlada, incrementar el ritmo de reforestación y forestación y un aprovechamiento más efectivo de los recursos no maderables de los bosques, analizando lo antes planteado se traza como **Problema:** ¿Cuál será el beneficio de la Organización espacial y aplicación de modelos matemáticos para predecir el potencial de biomasa para la realización de carbón vegetal en la UBPC Rio Frio?

Hipótesis: Si se Organizaran espacialmente las áreas correspondientes al patrimonio de la UBPC Rio frio, se propone un manejo simplificado a partir del inventario forestal y se ensayan modelos matemáticos seleccionando el de mejor ajuste, entonces, sería posible predecir el potencial de biomasa forestal para la

producción de carbón vegetal a partir de una organización espacial y un manejo simplificado.

Objeto: Organización espacial y modelos matemáticos para la estimación de biomasa para la producción de carbón vegetal

Objetivo general: Determinar el modelo de mejor ajuste que prediga el potencial de biomasa forestal para la producción de carbón vegetal a partir de una organización espacial para un manejo simplificado en la UBPC Rio Frio.

Objetivos específicos:

1. Organizar espacialmente las áreas correspondientes al patrimonio de la UBPC Rio frio.
 2. Proponer un manejo simplificado a partir del inventario forestal con vista a la producción de biomasa para producción de carbón vegetal.
 3. Ensayar modelos matemáticos seleccionando el de mejor ajuste que prediga el potencial de Biomasa forestal para la producción de carbón vegetal en la UBPC Rio Frio.
- Reordenamiento de las áreas forestales, generando información necesaria para la aprobación, monitoreo y seguimientos exigido por el Servicio Estatal Forestal de los manejos a realizar en el bosque. Incremento de los beneficios económicos a la entidad, al realizar correctamente los manejos propuestos. Actualización de la base catastral del patrimonio, brindándole al tenente información sencilla, fiable y de fácil acceso. Propuesta de manejo del bosque para el fomento y conservación de las especies por su importancia biológica y/o económica.

II. EVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. El inventario como base de la ordenación forestal sostenible

La ley forestal No.85 de la República de Cuba toma la definición de la ordenación forestal dada por la FAO (1995), la cual que “Por ordenación forestal“se entienden los aspectos generales de orden administrativo, económico, jurídico, técnico y científico que intervienen en el manejo, la conservación y la utilización sostenible de los bosques”

En el manual de manejo elaborado por la OFFICE NATIONAL DES FORÊST, de (Francia, 1989), citado por, (Fernández, 2013), se plantea que la ordenación comprende en primer lugar una serie de análisis que permitan comprender el conjunto de potencialidades de bienes y servicios y el conjunto de restricciones que el gestor deberá tener en cuenta. Son estos:

- Un análisis del medio natural para conocer los factores ecológicos.
- Un análisis del medio económico y humano para conocer los factores externos socioeconómico.
- Un análisis de las masas arbóreas
- Un análisis de la infraestructura, sobre todo viaria, del monte

La ordenación sostenible de los bosques para la producción de madera es basaba en un principio aparentemente sencillo, donde sólo era menester aprovechar la madera a un ritmo anual que no supere al de producción del bosque del que se trate y sin perjudicar su capacidad de suministrar otros bienes y servicios (Leslie, 1995).

Loetsch y Haller (1973) definen el inventario forestal como una disciplina especial de la Ordenación de Montes, donde plantean que “El inventario forestal es el conjunto de informaciones representativas sobre el bosque, expresadas tubularmente, las cuales están referidas en sucesión jerárquica a la unidad o unidades de manejos exigidas”.

Husch (1971) dice que los datos que suministra un inventario forestal pueden ser relativos a los recursos forestales o a las zonas donde crecen los árboles. Las informaciones relativas a las zonas donde vegetan las masas está relacionada con el tipo de propiedad, la superficie, la situación geográfica, la posición hidrográfica, la posición orográfica, el clima, el suelo, la flora y la fauna, la accesibilidad de las masas (cuantía y condiciones de las vías de saca), las capacidades de recreo, los espacios singulares, etc.

La realización del inventario forestal implica, generalmente, la investigación de las informaciones referentes a la producción de madera, relacionándolas la protección y la recreación del bosque. Por tanto, el diseño de un inventario forestal consiste, principalmente, en desarrollar la más eficiente combinación de diversas técnicas para asegurar los objetivos de la operación. Según Nyysönen (1976), (citado por Lores, 2012), descubrir el diseño más conveniente de inventario es comparable con subir por escalera. Cada paso consiste, en realidad, de componentes metódicos opcionales en que cada uno de ellos ha de ser seleccionado en función de los objetivos del inventario, requisitos del mismo, el error estándar permisible, consideración costo-eficiencia, accesibilidad del terreno, la disponibilidad del personal entrenado y por último el evitar el sesgo eventualmente previsto.

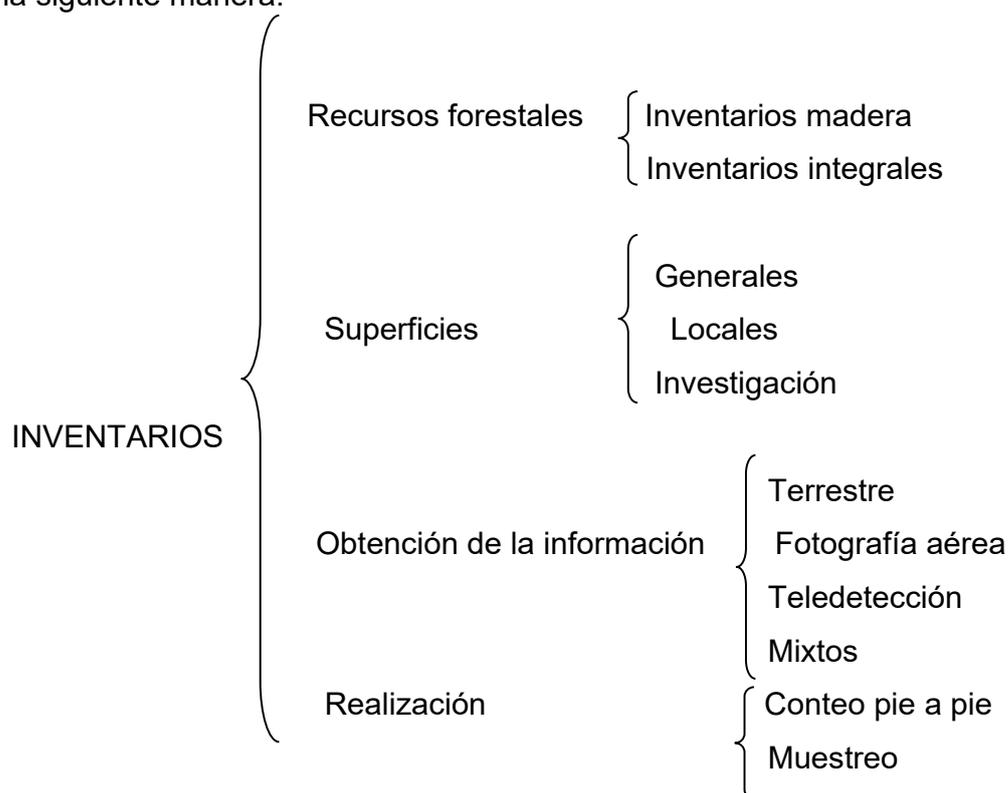
2.1.1. Objetivos y tipos de inventarios

Los objetivos de un inventario deben reflejar el nivel y la finalidad de la planificación que se considere, la naturaleza y magnitud de la unidad de gestión y la etapa a que se ha llegado para tomar las decisiones. Todo esto hay que definirlo en términos de parámetros que hay que investigar su grado de precisión a un nivel dado del riesgo aceptado (Aldana, 2017).

Aldana (2017) plantea que donde la evolución de la cubierta forestal ha llegado a ser rápida, especialmente en los países tropicales, la estimación de las variaciones en el tiempo de todos estos parámetros se ha hecho indispensable, lo que requiere unos esfuerzos y unos gastos suplementarios nada despreciables: para un nivel de precisión igual, la intensidad de muestreo necesaria es en efecto

mayor para la estimación de la diferencia entre los valores de un parámetro en dos fechas que para la de su valor en una sola fecha.

En función de los objetivos y del procedimiento para obtener la información que se quiera extraer de las masas, Prieto y Hernando (1995) clasifican los inventarios de la siguiente manera:



Por su parte Péllico y Brena (1997) clasifican los inventarios de la siguiente forma:

1. De acuerdo con su objetivo
 - Inventario de tipo táctico
 - Inventario de tipo estratégico
2. De acuerdo a su envergadura
 - Inventario forestal nacional
 - Inventario forestal regional
 - 1. Inventario forestal de áreas restringidas
3. En cuanto a la obtención de los datos
 - Enumeración total o censo
 - Muestreo
 - Tabla de producción

4. Por la medición de la población { Inventarios en una ocasión o temporales
{ Inventarios en múltiples ocasiones

2. Los objetivos del inventario forestal están encaminados a la actualización de las informaciones de la ordenación forestal reiterada (cada 10 años), que elabora nuevo proyecto de organización y desarrollo de la economía forestal, teniendo en cuenta todos los cambios del patrimonio forestal.

3. En Cuba, tradicionalmente, se han utilizados inventarios mixtos, mediante la combinación de inventarios terrestres y fotografías aéreas, sin embargo, de acuerdo con los resultados internacionales y los adelantos científicos – técnicos alcanzado en este campo en la actualidad, se requiere de una metodología más eficientes, que combine las técnicas modernas de Teledetección, Informática, Estadísticas y los Sistemas de Información Geográfica.

Uno de los objetivos de este trabajo está dirigido a la búsqueda de un diseño de inventario continuo o de múltiples ocasiones, el cual se analiza con más detalle a continuación.

2.1.2. El inventario forestal continuo

Para el aprovechamiento racional, en la identificación de los sitios más productivos y para determinar el rendimiento sostenido de los bosques tropicales el inventario a realizar debe ser más detallados y más repetidos en el tiempo (inventario continuo).

El inventario forestal continuo comprende todo inventario en el que las unidades medidas en la primera ocasión son instaladas de manera que puedan ser localizadas y remedidas en ocasiones sucesivas (FAO, 1981). Este diseño es óptimo cuando la finalidad de los repetidos inventarios se limita a estimar el cambio experimentado por la población durante el período (Prodan *et al.*, 1997).

Los sistemas de inventarios con parcelas de muestreo permanente, en las cuales se realizan mediciones periódicas para determinar el crecimiento de los árboles, tuvieron su origen en Europa.

Las parcelas permanentes de muestreo han sido usadas, particularmente en Norte América, para propósitos de inventarios forestales. Desde fines de 1930 hasta más o menos 1960 el procedimiento llamado comúnmente “Inventario Forestal Continuo” o CFI, fue aplicado asumiendo la remediación de todas las parcelas del inventario inicial en ocasiones sucesivas.

Lores (2012) plantea que en los últimos 50 años fueron pocos los intentos que realizaron muchos países tropicales para llevar a cabo inventarios periódicos de los recursos forestales, los cuales son necesarios para practicar una ordenación intensiva.

Un objetivo adicional, es generar información para construir y retroalimentar modelos de crecimiento de bosques. Estos modelos son utilizados tanto para planificar el aprovechamiento y manejo de los recursos forestales, como para la actualización funcional permanente de los inventarios entre sucesivas mediciones (Cunia, 1990; Aldana, 2010).

Según Aldana (2010) el propósito original del inventario forestal continuo fue proporcionar la información siguiente:

- Información volumétrica
- Información de crecimiento y mortalidad
- Dar bases para un mejor manejo forestal.

Por otra parte Fernández (2013) dice que existen distintos criterios para el establecimiento de parcelas permanentes, los cuales van desde el tamaño y forma de la parcela, las condiciones topográficas y climatológicas hasta la clasificación del tipo de vegetación; esta diversidad de criterios, cuantitativos y cualitativos, ha traído como consecuencia la imposibilidad de hacer estudios comparativos entre dos o más regiones, sitios de explotación forestal o tipo de bosque. Para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo hay que tener en cuenta algunas consideraciones importantes:

1. Las parcelas de muestreo permanentes necesitan localizarse con exactitud en las masas forestales y determinar su posición precisa en el bosque.
2. En general, la dimensión de las parcelas permanentes está determinado por el tipo de bosque, la homogeneidad de la masa forestal y la distribución de las especies. En bosques mixtos tropicales es apropiado, usualmente, una superficie de 1 ha. Puede ser conveniente dividir la parcela en 100 cuadrados de 10 x 10 metros. En los bosques uniformes se usan normalmente parcelas de 0.05 hectárea.
3. Tener en cuenta la posición del centro de los árboles en los límites o bordes de la parcela.
4. Realizar el marcado de los árboles dentro de la parcela con pintura o placas metálicas.
5. Generalmente las parcelas pueden ser rectangulares o circulares. Las parcelas circulares son más rápidas de ubicar que las rectangulares para tamaños inferiores a 0,1 ha en rodales poco densos y 0,05 ha en rodales densos. Las parcelas rectangulares son más adecuadas para tamaños mayores de 0,1 ha. La relación entre la longitud y la anchura de las parcelas rectangulares pueden ser variables. En terrenos con pendientes, es preferible una relación alta hasta de 5 a 1, con la longitud siguiendo la pendiente y la anchura la curva de nivel.

2.1.3. Optimización de inventario

Se entiende por inventario óptimo, aquel que estima alguna dimensión poblacional con un mínimo error a un determinado costo o también es aquel inventario que permite estimar un parámetro de la población con un determinado error al costo mínimo. Resulta difícil dimensionar el error total que afecta a un inventario y aún más difícil programar un inventario estableciendo una magnitud límite para este error, pues las fuentes de error son numerosas y difíciles de dimensionar.

Según Barrero (2010), la precisión de las estimaciones de un inventario forestal, está determinada por el método de muestreo empleado.

Prodan *et al.* (1997) resumen que las principales fuentes de error en inventarios forestales son: errores de diseño, errores de operación, errores en la delimitación de superficie y errores en modelo dendrométrico y plantean que no es posible formular un modelo optimizador de inventario que considere todas las fuentes de error. Sin embargo, es posible definir criterios para invertir el presupuesto total de modo que el último peso gastado produzca la máxima reducción del error. Para ello es necesario individualizar las fuentes de error y desarrollar los procedimientos adecuados para minimizarlos.

Aldana (2017) plantea que los errores de muestreo se pueden reducir: aumentando el tamaño de la muestra, mejorando la eficiencia de la muestra, utilizando un esquema de muestreo más complejo o más apropiado y utilizando datos o información adicional.

Barrio *et al.* (2007) y Barrero (2010) citan a Spurr (1952), el cual afirma que la determinación de cualquier variable dendrométrica mediante muestreo debe ser siempre interpretada dentro de cierto grado de precisión y fiabilidad.

La experiencia general sobre inventario forestal indica que la diferencia entre el volumen estimado y el volumen realmente cosechado es, en algunos casos, muy pequeña y en otros puede superar varias veces el error de la muestra (Prodan *et al.*, 1997).

Sosa (1981) refiriéndose a los requerimientos de precisión, dice que no existe una uniformidad de criterio y cita como ejemplo que el inventario forestal de los Estados Unidos presupone, en la parte este del país, un error de muestreo aproximado de un 5 % y en los inventarios para planes de manejo, en áreas relativamente pequeñas del norte de Europa, se emplea una precisión de ± 10 % con una probabilidad del 95%.

El grado de precisión requerido en el inventario está relacionado con los costos, estos se evidencia claramente a través de los resultados siguientes sobre la estimación del error en función del número de parcelas para un nivel de probabilidad del 95 %.

Tabla 2.1. Grado de precisión requerido en el inventario forestal.

| | | | |
|---------------------|-----|------|------|
| Grado de precisión | 5 % | 10 % | 15 % |
| Números de parcelas | 514 | 129 | 57 |

2.1.4. Informaciones que se toman en los inventarios

Fernández (2013) cita a Zöhler (1980) quien afirma que las informaciones fundamentales sobre los bosques para los objetivos de planificación son de gran necesidad mundialmente y difieren en distintas zona o parte de la tierra. Tanto los países desarrollados, que disponen de extensas superficies de bosques, como los países tropicales necesitan informaciones urgentes sobre las existencias de madera, técnica y económicamente utilizables.

2.1.5. Unidades muestrales

FAO. 2002 cita que Loetsch *et al.* (1973) Plantean que el uso de parcelas muestrales es un método muy viejo y que se emplean desde el siglo XVII en Alemania por Hartig (1725) Cotta (1804) y Pfeil (1810) pero su desarrollo lo encuentra con la evolución de la estadística, la computación y el uso de las fotos aéreas aplicada a la rama forestal, después de la segunda guerra mundial.

La unidad de muestreo es uno de los componentes fundamentales del diseño de inventario y constituye el espacio físico o parte de la población donde se realizarán las mediciones y observaciones de formas cualitativas y cuantitativas de las variables en estudio, necesarias para satisfacer los objetivos del inventario.

Prodan *et al.* (1997) plantean que por razones prácticas, los árboles no se seleccionan individualmente, sino en grupos, llamados unidades muestrales. Las dos alternativas de muestreo más comunes han sido: unidades muestrales probabilísticas y unidades muestrales no probabilísticas.

Thren (1993) plantea que las parcelas cuadradas se emplean cuando las unidades muestrales son de gran tamaño, es decir, cuando excedan de 0,2 ha, pues es

más fácil demarcar cuadrados que círculos y Zöhrer (1973) dice que las parcelas cuadradas y rectangulares pueden ser ventajosas en bosques artificiales, cuando se tienen en cuenta las asociaciones de plantas, estableciéndose de tal forma que se puedan abarcar dos o tres hileras de árboles. El procedimiento debe considerarse, sobre todo, en terrenos llanos. Las parcelas cuadradas y rectangulares también son apropiadas para estudios detallados de crecimiento donde son necesarios sondeos de las copas y mapas de distribución de los árboles.

Malleux (1982) refiere que las parcelas rectangulares o fajas se emplean corrientemente en inventario de bosques tropicales donde las fajas, permiten delimitar, con facilidad, unidades de gran magnitud, a la vez que captan una alta proporción de la variabilidad del bosque. Sin embargo, Loetsch *et al.* (1973), refiriéndose a la experiencia de su empleo en el inventario nacional de Suecia, indican la existencia de sesgos asociados a su delimitación y describen un procedimiento que permitiría reducirlos. También Aldana *et al.* (1994) explican dos variantes como las fundamentales para establecer las fajas, es decir: el método de la línea central y el método de la línea lateral.

Fernández y Rodríguez (2010) citan a Grosenbaugh (1949) el planteó que teóricamente el muestreo con parcelas de dimensiones variables es más eficiente que el de dimensión fija, debido a que es un muestreo con probabilidad proporcional al área basal. Asimismo, Ferrere *et al.* (2001) plantean que las parcelas de dimensiones fijas están sujetas a menos errores que los demás tipos de parcelas.

En nuestro país, en general, se utilizan parcelas de dimensiones fijas, aunque, de acuerdo con la Instrucción para la Ordenación del Patrimonio Forestal de Cuba se puede utilizar el método de Bitterlich para realizar el inventario.

En este sentido han sido realizadas investigaciones en diferentes regiones del mundo con el objetivo de determinar el tamaño y la forma más eficientes de las unidades de muestreo.

García (2010) dice que el mejor procedimiento, si el tiempo y los recursos están disponibles, es realizar el estudio previo para determinar el tamaño y la forma óptima de la parcela de muestreo. La mejor parcela puede definirse por tres aspectos:

1. Estadísticamente, como el tamaño y la forma de la parcela que proporcionen la más alta precisión estadísticas del total de área muestreada o para una cantidad determinada de tiempo y dinero.
2. Ecológicamente, como el tamaño y la forma de la parcela que es más eficiente para dar respuesta a los objetivos propuestos.
3. Logísticamente, como el tamaño y la forma de parcela que es más fácil de ubicar y de usar.

Según Henry (2002) las parcelas cuadradas son más eficientes que las circulares cuando es necesario medir más de cuatro árboles para levantar estas últimas con la misma precisión.

Moreno (2004) plantea que independientemente de las ventajas expuestas de una forma de parcela con respecto a otra, el factor forma de la parcela de muestreo es muy secundario y a superficie igual cualquier forma de parcela proporciona precisiones prácticamente idénticas.

Prieto y Hernando (1995) dicen que la intensidad o porcentaje de muestreo, es el que condiciona la precisión de los resultados obtenidos, cualquiera que sea la forma o el tamaño de la parcela. Por su parte González *et al.* (1993) plantean que la elección del tamaño de la parcela es un problema complicado que se ha de estudiar mediante un muestreo piloto empleando la técnica de “muestreo por grupo en una etapa” (cluster single sampling). El tamaño dependerá de la densidad y tipo de población y se pueden elegir tamaños de parcelas entre 100 y 5 000 metros cuadrados.

2.2. Intensidad de muestreo

Según la FAO (1981) para una determinada intensidad de muestreo, cuanto menores sean las parcelas de muestreo mejor es la precisión. Sin embargo, es

conveniente tener en cada elemento de muestreo una imagen claramente representativa del bosque, y esto sólo se puede conseguir si las parcelas tienen un tamaño razonable. Por ejemplo, una parcela de muestreo de 0,01 ha en un bosque tropical mezclado para la estimación del volumen de dimensiones explotable, no sería útil para este fin.

Hay que tener en cuenta que unidades muestrales de pequeñas superficies pueden provocar en poblaciones heterogéneas una mayor variabilidad de la muestra y, por ello, un mayor error de muestreo. Por el contrario, unidades muestrales de gran superficie en poblaciones heterogéneas tienen una menor variabilidad y un menor error, aunque el costo de replanteo es mayor.

Rodríguez (2009) plantea que el tamaño de la parcela tiene un efecto adicional sobre la varianza. En la misma escala de medidas las parcelas pequeñas serán más variables que las grandes. La varianza en volumen por hectárea en parcelas de 0,1 ha sería mayor que la varianza en volumen por hectárea en parcelas de 0,5 ha. Las parcelas grandes tienden a tener menor varianza puesto que promedian el efecto de los claros y rasos. En poblaciones muy uniformes los cambios de tamaño en las parcelas tienen un efecto muy pequeño en la varianza. En poblaciones no uniformes la relación entre el tamaño de la parcela y la varianza dependerá de cómo son los tamaños de los claros y rasos con el tamaño de la parcela.

De acuerdo con Kometter (1996), (citado por Rivera 2013), el tamaño grande y la forma larga de la unidad de muestreo son convenientes para el inventario en los bosques mixtos tropicales porque permite recoger una alta variabilidad, caracterizando mejor el bosque y reduciendo la necesidad de un alto número de muestras.

Acuña y Pozo (1983) llegaron a la conclusión de que el tamaño óptimo de las parcelas de muestreo circulares, a partir de las cuales se obtiene una mayor exactitud es de 600 m²

Aldana (2017) cita que Cuello *et al.* (1986), concluyeron en su trabajo que la superficie óptima para parcelas circulares es de 400 m² y 300 m² en parcelas cuadradas. En cuanto a la forma plantean que la cuadrada es la parcela óptima.

Thren (1993) plantea que la superficie de la parcela de tamaño constante varía normalmente entre 0,05 y 0,1 ha, pero lo más importante es que dentro de una parcela existan por lo menos 15 árboles, para tener una representación suficiente del área basal.

El costo de los trabajos de campo del inventario es, prácticamente, directamente proporcional al número de parcelas, mientras que el error a esperar no disminuye más que con el cuadrado de ese número. Las investigaciones realizadas por el <<Institut Fédéral de Reserches Forestières>> de Birmensdorf (Suiza) sobre exactitud, tiempo de trabajo y tamaño de la parcela, han mostrado que en masas de montes alto regular son convenientes parcelas de 300 a 400 m² de superficie y en masas de monte alto estrictamente irregular de 600 m². Con superficies mayores, es difícil tener una visión de conjunto y se corre el grave riesgo de olvidar árboles en su medición (Prieto y Hernando, 1995).

Prodan *et al.* (1997) expone que el tamaño óptimo de la parcela es aquel que para lograr una precisión dada minimiza el tiempo total requerido para su realización y medición. En su determinación se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{Tamaño óptimo de la parcela} = P_1(t/m)^2$$

P_1 = tamaño de parcela usado en una muestra preliminar para valorar tiempo y variación.

t = tiempo medio de viaje entre dos parcelas próximas de tamaño P_1 .

m = tiempo medio de medición para parcelas de tamaño P_1 .

2.2.1. Tamaño de la muestra

El problema esencial de cualquier inventario por muestreo es obtener una muestra que sea representativa de la población. Mientras mayor es el área muestreada en relación al área total, mayor será la exactitud del valor obtenido.

La intensidad o fracción de muestreo es la relación entre el número de unidades de muestreo (n) y el número total de unidades de la población (N) : $f = n/N$, y también puede ser expresada por la relación entre el área muestreada (a) y el área total de la población, o sea: a/A .

Normalmente en inventarios forestales se han utilizado intensidades de muestreo del orden de 1 %, 0,5 % y 0,1 % en dependencia de varios factores. Para el caso de bosques mixtos tropicales, dada su gran complejidad y alta variabilidad, suelen ser necesarias intensidades del orden del 3 al 5 %.

Según Péllico y Brena (1997) la intensidad de muestreo puede ser determinada a través de dos procedimientos principales:

1) En función de la variabilidad de la población, la precisión requerida y la confiabilidad fijada.

Es el procedimiento normal y deseable en un inventario forestal. Cuando se trata de una población finita, la intensidad de muestreo necesaria para un error de muestreo requerido y una probabilidad de confianza, puede ser calculada en función de la varianza y del coeficiente de variación, mediante las siguientes fórmulas:

a) En función de la varianza

$$n = \frac{t^2 s_x^2}{E^2 + \frac{t^2 s_x^2}{N}}$$

b) En función del coeficiente de variación

$$n = \frac{t^2 (cv\%)^2}{(lE\%)^2 + \frac{t^2 (cv\%)^2}{N}}$$

Donde:

n es el tamaño de la muestra

t es t de Student que se obtiene de una tabla según la probabilidad y los grados de libertad ($n - 1$).

s_x es la varianza de la masa

cv % es el coeficiente de variación en porciento

$E = (LE * \bar{X})$ es el error de muestreo absoluto.

LE es el límite de error de muestreo admitido en porciento.

N es el tamaño de la población.

Péllico y Breña (1997), plantean que para determinar si una población es finita o infinita, debe cumplirse lo siguiente:

a) si $(1-f) \geq 0,98$ la población es considerada infinita

b) si $(1-f) \leq 0,98$ la población es finita.

En el caso de una población infinita se desprecia el factor de corrección $(1 - f)$.

Las fórmulas simplificadas son:

a) En función de la varianza

$$n = \frac{t^2 s_x^2}{E^2}$$

b) En función del coeficiente de variación

$$n = \frac{t^2 (cv\%)^2}{(LE\%)^2}$$

En muchos inventarios forestales la intensidad de muestreo es fijada en función del tiempo disponible para su realización o de los recursos financieros, humanos y materiales existentes.

2.3. Consideraciones con relación a los inventarios forestales en bosques tropicales de cuba

Las zonas tropicales, en términos geográficos, constituyen el área comprendida entre el trópico de Cáncer y el trópico de Capricornio, situado respectivamente en los 23° 30' al sur y al norte del ecuador (Fernández, 2013).

De acuerdo con la definición de la FAO (1994) los bosques de la zona tropical son sistemas ecológicos con un mínimo del 10% de cubierta de copas arbóreas o bambúes, generalmente asociados con la flora silvestre, fauna y condiciones naturales del suelo, y no estén sujetas a prácticas agrícolas.

Los bosques en Cuba son muy disímiles debido a la variabilidad de los suelos y del clima local (Samek, 1974).

Responden en sus características y distribución, en primer lugar a los factores climáticos que determinan la existencia de los bosques zonales, estos están distribuidos en zonas con similares características en cuanto a la cantidad y distribución de las lluvias y la temperatura media anual. Pero, al margen del condicionamiento climático, hay otros factores que también determinan la presencia de diferentes formaciones boscosas: los que están condicionados por las características de los suelos, es decir, responden a los factores edáficos, o los que lo tienen, fundamentalmente por la humedad excesiva en los suelos donde se asientan y por la naturaleza de estos (Del Risco, 1995).

Los bosques tropicales presentan problemas para la realización de los inventarios debido a las faltas de buenos caminos de acceso y a las condiciones climáticas adversas. Por lo tanto, es importante usar diseños de parcelas que provean cálculos confiables, minimicen costos de viaje y eliminen trabajo de campo innecesario (Suárez et al., 2002).

Pardé y Bouchón (1994), plantean dos problemáticas fundamentales para la realización de los inventarios en los bosques tropicales, relacionadas con la presencia de numerosos árboles con costillas basales, o con raíces aéreas, que hacen inútil la medida de diámetro a 1,30 m. y de bosques heterogéneos, generalmente compuestos por un gran número de especies en lugares inaccesibles.

2.4. Estructura de un proyecto de ordenación de montes

El Proyecto de Ordenación o de Manejo, debe estructurarse de modo que su desarrollo, revisado y contrastado periódicamente, irá acercando el monte al modelo teórico propuesto como meta para alcanzar en un futuro la sostenibilidad (Aldana, 2017), el Inventario, Plan General, Plan Especial, Planes Anuales y Revisiones son las etapas que contiene y en las que se desarrolla el Proyecto de Ordenación (Madrigal, 1994).

Según Madrigal (1994) el contenido de un Proyecto de Ordenación o de Manejo se estructura del modo siguiente:

- a) El inventario y.
- b) La planificación, que es la ordenación propiamente dicha o manejo del bosque

2.4.1. El Inventario

El inventario según Aldana (2017) es la necesaria auscultación de los recursos, de los medios disponibles, de la oferta y demanda de todo tipo de usos, y de las restricciones, en el epígrafe 2.1 se relacionan lo concerniente al inventario.

La Ordenación de Montes es una disciplina de la Ciencia Forestal y según resulta del objeto y la meta, ella tiene carácter metódico, pero también muy sintético, es decir, la Ordenación de Monte asimila muchos conocimientos de otras disciplinas dirigidos hacia el cumplimiento de la meta.

Madrigal (1994) dice que el contenido de la Ordenación de Montes puede ser:

- a) **Planificar**, pues supone secuencialmente: una toma de datos (Inventario); una definición de objetivos y prioridades entre los mismos (Plan General); una evaluación de alternativas (Plan General, Plan Especial) y una toma de decisiones (Plan General, Plan Especial).

- b) **Gestión**, o ejecución de lo planificado (Planes anuales).

- c) **Control**, mediante la comparación de lo planificado con lo ejecutado (Revisiones).

Asimismo, plantea Madrigal (1994) que las etapas que contiene y en la que se desarrolla el Proyecto de Ordenación de Montes son: Inventario, Plan General, Plan Especial, Planes Anuales y Revisiones.

2.4.2. La Planificación

La planificación es una de las partes importantes del contenido de Ordenación de Montes, la cual comprende las siguientes actividades, conforme se muestra en la figura 2.2.



Figura 2.2: Actividades que comprende la planificación de la Ordenación de Montes.

Todo este esquema se revisa periódicamente al concluir cada plan especial. Este control, basado en la comparación entre lo planificado y lo ejecutado, conduce a la formulación de un nuevo Plan Especial y a la posible revisión de las líneas generales de la planificación a largo plazo.

En general, como en el caso de España, un Proyecto de Ordenación de Montes se estructura en tres partes o capítulos, es decir:

- Fundamentos y fines.
- Plan General.
- Plan Especial.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

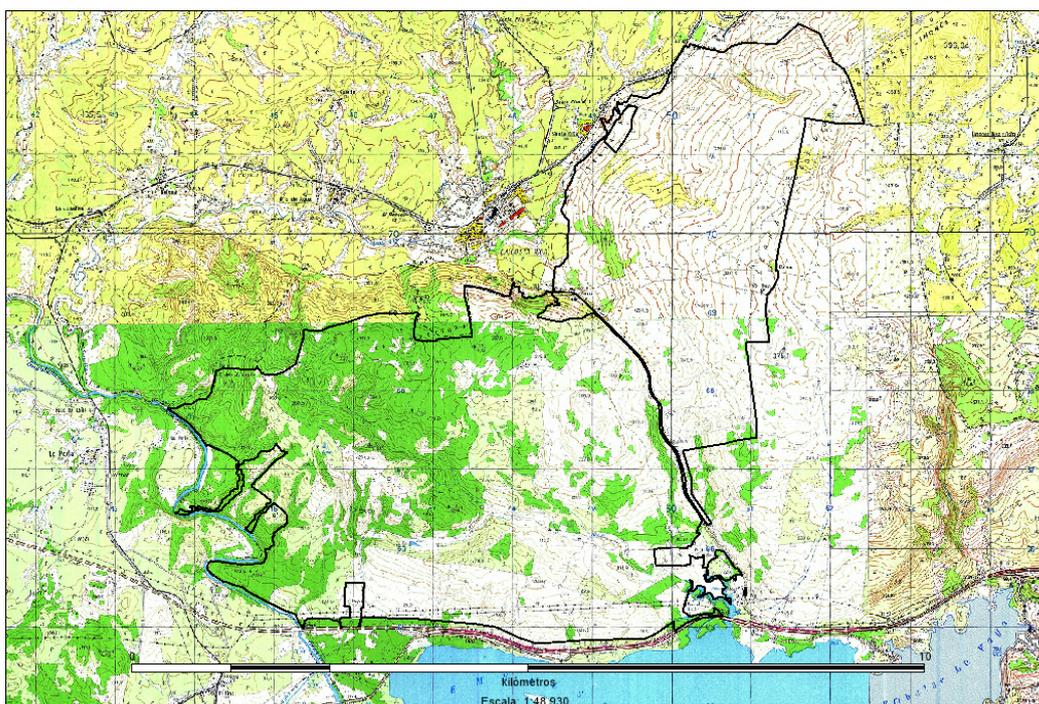
3.1. Caracterización del área de investigación

3.1.1. Ubicación del área de trabajo

La investigación se desarrolló en la La Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) Río Frío, surgida el 27 de diciembre de 1994 según resolución número 20/94 emitida por director de la Empresa Iván Rodríguez, en el municipio Niceto Pérez, provincia Guantánamo con una superficie de 2758,56, localizada en el Municipio Niceto Pérez García, con domicilio legal en la localidad en km 18, Carretera Santiago de Cuba, provincia Guantánamo. La cual limita:

- Norte: Poblado de Costa Rica
- Sur: Presa la Yaya
- Este: Carretera a Costa Rica
- Oeste: Río Guantánamo

Hojas Cartográficas: Embalse la Yaya 5176 III-a, Niceto Pérez 5176 III-b, Los Reinaldo 5176 IV-c, Cuneira 5176 IV-d, muestra en negrita el patrimonio que abarca la UBPC Río Frío figura 3.1.



Figura

3.1. Ubicación del área de investigación.

3.2. Estado legal del área objeto de estudio

Nombre de la administración o tenente: Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) Río Frío de Niceto Pérez García, perteneciente a la Empresa Pecuaria Iván Rodríguez, fue constituida el 27 de junio del 1994, mediante resolución 20/94, ejerce además como presidente el compañero Rubén Correoso Ladoy, mediante acuerdo número 9, adoptado en Asamblea de Cooperativista de la UBPC efectuada en fecha 20 de enero de 2017, tabla 3.1.

Tabla 3.1. Área total del patrimonio de la UBPC: 461.40 ha

| Conceptos | Actual (ha) | % |
|-------------------------------|----------------|--------------|
| Superficie total | 2758,56 | 100 |
| Superficie agrícola | 2032.46 | 73.66 |
| Ganadería | 2032.46 | 100 |
| Superficie no agrícola | 726.10 | 26.34 |
| Patrimonio Forestal | 706.76 | 97.33 |
| Infraestructura | 19.34 | 2.67 |

Los datos expresados anteriormente corroboran con los brindados por el registro de control tierra en el municipio, es necesario destacar que en el caso del patrimonio dedicado a la ganadería que se extiende a unas 2032.46 ha, se encuentran 16.60 ha de área dedicada a la siembra de forrajes, 416.55 ha de pastos naturales y el resto se encuentra en el fondo de tierra para el uso ganadero, sin embargo, teniendo en cuenta el nivel de la vegetación que predomina, es necesario realizar un cambio de uso a forestal ya que se encuentra en un área de conservación de la flora y fauna y para restablecerlo como pastizales es necesario afectar la masa forestal ocasionando daños irreparables en este sentido (Fernández, 2018) plantea que es necesario rescatar las áreas que ya no se utilicen como potreros y que han sido colonizadas por especies forestales .

3.3. Características climáticas

3.3.1. Características biofísicos del área

La Unidad Básica de Producción Cooperativa Rio Frio tiene una extensión de 2758.56 ha, de las cuales el 18% es llano y 82% restante es montañoso y semi-montañoso, dedicada fundamentalmente a la crianza de ganado mayor, en el que el rublo fundamental es la producción de carne y leche, la producción de cultivos varios solo es empleado para el auto consumo, cuenta además con un pequeño rebaño de ovinos y caprinos, potencial que no es explotado a todo su nivel.

La parte montañosa y semi-montañosa del sitio muestra signos de erosión debido al inadecuado manejo y el nivel de pendiente a la que están expuestas, áreas que en antaño eran pastizales naturales y por abandono y falta de manejo se han convertido en matorrales de poco valor económico, pero alto en la diversidad ecológica, patrimonio que se desea manejar para obtener bienes y servicios.

3.3.2. Topografía

En el 85% del área, el relieve se clasifica entre fuertemente ondulado y fuertemente alomado, con pendientes que oscilan entre 10 y 60 Grados. Entre los

15% restante se encuentran pequeñas áreas con relieve más llano, con pendientes entre 5 y 10 Grados y situadas a diferentes alturas sobre el nivel del mar que oscilan de 223.25 hasta 323.20 MSNM,

Elevación: (msnm)

Máxima: 323.20 Media: 223.25 Mínima 123.3

Pendiente: Entre 10 y 50 Grados

3.3.3. Clima

El Centro Meteorológico Provincial Guantánamo Estación N°. 78334, informa que en los últimos 10 años el sitio objeto de estudio se mantuvo bajo la influencia anticiclónica generalmente de origen continental migratorio provocando un microclima variado el cual oscila entre los 3420 mm a 6840 mm de precipitaciones anual con temperaturas medias de 26°C y humedad relativa hasta 80%. Bajo estas circunstancias y teniendo en cuenta los valores de precipitaciones, temperatura y humedad relativa el microclima del sitio se clasifica como Tropical Seco, estableciendo condiciones para categorizar el área como bosques semi-decíduos mesófilos.

3.3.4. Suelos

Bien drenados de color pardo con carbonato o amarillo y fertilidad media . También existen los inceptisoles, que son suelos jóvenes, con baja saturación de bases. Ambos se ubican sobre terrenos suavemente ondulados, con pendientes entre 2 y 15% (ITCR 2004).

3.3.5. Hidrografía

El patrimonio situado en la montaña y pre montaña tiene afluentes que son activos solo en los periodos lluviosos ocasionado escurrimientos violentos y rápidos, influyendo de esta forma a la formación de cárcavas y deslizamientos de suelo. La entidad se encuentra directamente en el área de influencia del embalse La Yaya, principal reservorio acuífero en la provincia, administrado en parte de su faja el usufructuario forestal Adán López Silva el cual cuenta con una extensión de 8.0 ha plantada de especies forestales.

3.4. Condiciones de trabajo

Para la realización del presente trabajo se utilizaron diferentes materiales, entre ellos los que se describen.

Imagen de satélite Google Earth

Para el desarrollo del trabajo en el área de estudio se utilizaron dos recortes de imágenes de satélites, bajada del programa Google Earth, de septiembre del 2020.

Software

En la obtención de los resultados se utilizaron diferentes softwares, en dependencia de la tarea a acometer, tanto para la obtención de los mapas, la obtención de los datos estadísticos, la confección del informe, entre otros, como se observa a continuación:

Mapinfo Professional 12.0, (confección de mapas temáticos y como plataforma del SIG).

Microsoft Office Word 2016, (preparación del informe final).

Microsoft Office Excel 2016, (confección de la base de datos y las gráficas estadísticas).

Transf_Neo, (transformar las coordenadas geográficas a planas rectangulares).

Google Earth. (para la obtención de imágenes satelitales de Internet).

Hardware

En la tabla 3.3 se muestra algunos de los equipos utilizados por la autora para el desarrollo del presente trabajo.

Tabla 3.3. Hardwares utilizados.

| | |
|---|---|
| <p>GPS: ANATEL GARMIN Version: OREGON 550t www.garmin.com</p> |  |
| <p>Cámaradigital:SAMSUNG Zoom6.3 – 18.9 mm 7.2 MEGA PIXELS</p> |  |
| <p>Computador: PENTIUM IV con Microsoft Windows XP Profesional</p> | |

3.5. Metodología utilizada para el inventario

El presente trabajo fue elaborado según la “Metodología Simplificada para la elaboración de Planes de Manejo en Bosques Naturales y Artificiales”. Ministerio de la Agricultura según (Palenzuela, 2005). La metodología para la planificación de los gastos necesarios para la elaboración del plan de manejo se realizó según Carta Circular No. 1/2015 Dirección Forestal.

El método empleado para la colección de datos fue por el muestreo de área fija, mediante un establecimiento al azar, en el cual se levantaron 25 parcelas circular de 500 m² con radios de 12.62 como muestreo previo, en el cual se determinó el diámetro a 1.30 m del suelo con una forcípula y la altura de los árboles mediante la aproximación óptica de todos los individuos, con altura iguales o superior a los 5.0 m de altura, además se determinaron las especies que conformaban el estrato arbóreo y herbáceo por enumeración completa en las parcelas de muestreo.

3.5.1. Tamaño de la muestra

Aldana (2010) plantea que el muestreo aleatorio simple es el proceso fundamental de selección a partir del cual se derivaron todos los demás procedimientos de muestreo, buscando aumentar la precisión de las estimaciones y reducir los costos del levantamiento. El muestreo aleatorio simple requiere que todas las combinaciones posibles de (n) unidades de muestra de la población tengan igual oportunidad de participar de la muestra. La selección de cada unidad de la muestra debe ser libre de cualquier escogida y totalmente independiente de las demás unidades de la muestra. En este proceso, el área forestal a ser inventariada es tratada como una población única. En el muestreo aleatorio simple son definidos los siguientes símbolos para identificar las variables:

N = Número total de unidades de muestreo de la población

n = Número de unidades muestreadas.

f = Fracción de muestreo

t^2 = t de Student

Para determinar el tamaño de la muestra se realizó un inventario previo de 25 unidades de muestreo, primeramente, fue necesario determinar el tamaño de la población que correspondía al área, para lo cual se empleó la siguiente expresión

matemática: $N = \frac{A}{a}$

Dónde:

A = Área total de la población

a= Área de la parcela de muestreo.

3.5.2. Intensidad de muestreo

Para calcular el tamaño de la muestra se realizó un inventario piloto o previo, donde se levantaron 25 parcelas de muestreo, utilizándose como variable de

interés el número de árboles por hectárea de las tres especies y se distribuyeron las parcelas mediante el muestreo aleatorio estratificado. Para ello se dividió la población en cuatro estratos: el estrato 1 comprende desde 0 hasta 60 árboles por hectárea, el estrato 2 desde 61 hasta 160, el estrato 3 desde 161 hasta 340 y el estrato 4 más de 341 como se muestra en la Tabla 3.4. Para calcular el tamaño de la muestra, primeramente, fue necesario determinar el tamaño de la población que corresponde al área de la 2 758,56 ha de pluvisilvas de montaña donde se realizó la investigación, es decir, el número total de parcelas de 0,05 ha que hay en el área de investigación, para lo cual se empleó la fórmula: $N = \frac{A}{a}$ Donde: $A =$ área total de la población (2 758,56 ha) y $a =$ área de la parcela de muestreo (0,05 ha).

Tabla 3.4: Número de parcelas por estrato con su respectivo número de árboles por hectárea en el inventario piloto.

| Parcelas (n_h) | Estrato1 | Estrato 2 | Estrato 3 | Estrato 4 |
|---------------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| 1 | 40 | 100 | 280 | 360 |
| 2 | 0 | 80 | 200 | 420 |
| 3 | 60 | 160 | 220 | 400 |
| 4 | 0 | 100 | 180 | 420 |
| 5 | 60 | 140 | 300 | 540 |
| 6 | 20 | 160 | 340 | 660 |
| 7 | 60 | | | |
| 8 | 0 | | | |
| 9 | 20 | | | |
| 10 | 0 | | | |
| 11 | 0 | | | |
| 12 | 0 | | | |
| 13 | 0 | | | |
| 14 | 0 | | | |
| 15 | 40 | | | |
| 16 | 0 | | | |
| 17 | 0 | | | |
| 18 | 0 | | | |
| 19 | 0 | | | |
| 20 | 0 | | | |
| 21 | 0 | | | |

Para la selección de la fórmula con vista al cálculo del tamaño de la muestra, se determinó si la población objeto de investigación era finita o infinita mediante el cumplimiento de las siguientes hipótesis:

a) Si $1 - f \geq 0,98$ la población es infinita y la fórmula a emplear será:

$$n = \frac{t^2 \sum_{h=1}^L W_h s_h^2}{E^2}$$

b) Si $1 - f < 0,98$ la población es finita y entonces la fórmula a emplear será:

$$n = \frac{t^2 \sum_{h=1}^L W_h s_h^2}{E^2 + t^2 \sum_{h=1}^L \frac{W_h s_h^2}{N}}; \text{ donde: } E = \frac{LE\%}{100} * \bar{x}_{st}$$

Donde : $f = \frac{n}{N}$ = fracción de muestreo de la población; L = número de estratos;

h = estrato; N_h = número potencial de unidades del estrato h en la población;

$W_h = \frac{N_h}{N}$ = proporción del estrato h en la población; $s_h^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} (X_{ih} - \bar{x}_h)^2}{n_h - 1}$ = varianza

por estrato; E = error o la precisión deseada; t = valor de t de Student para 95% de probabilidad

Además se calcularon otras variables estadísticas o estadígrafos, tales como:

Media por estrato: $\bar{x}_h = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} X_{ih}}{n_h}$; Media estratificada: $\bar{x}_{st} = \frac{\sum_{h=1}^L n_h \bar{x}_h}{n} = \sum_{h=1}^L W_h \bar{x}_h$

Varianza estratificada: $s_{st}^2 = \sum_{h=1}^L W_h s_h^2$; Error estándar: $s_{\bar{x}(st)} = \sqrt{\sum_{h=1}^L W_h^2 \frac{s_h^2}{n_h} (1 - f_n)}$

Error de muestreo: a) Absoluto: $E_a = \pm t s_{\bar{x}(st)}$; b) Relativo: $E_r = \pm \frac{t s_{\bar{x}(st)}}{\bar{x}_{st}} * 100$

Intensidad de muestreo por estrato: $n_h = \frac{N_h}{N} * n = W_h * n$

3.6. Índices dasométricos

3.6.1. Determinación del área basal por hectárea

El área basal de un árbol o de un rodal es una de las variables para el cálculo del volumen, por lo que es un indicador dasométrico importante para definir el estado y la capacidad de rendimiento de un rodal.

El área basal por hectárea (G/ha) se determinó mediante la forcipulación total de los árboles en las parcelas de pruebas y el cálculo se realizó por las fórmulas:

$$G/ha = F \sum_{i=1}^m g_i = F \sum_{i=1}^m \frac{\pi}{4} d_i^2$$

Dónde: G/ha = área basal por hectárea en m^2 ; d_i = diámetro de cada árbol medido;

g_i = área basal de cada árbol medido; m = número total de árboles en la parcela;

$F = \frac{A}{a}$ = factor de proporcionalidad para convertir los valores de la parcela a

valores por hectárea ($A = 1$ ha ó 10000 m^2 y a = al área de la parcela en hectárea ó en m^2). El cálculo del área basal por clase diamétrica se realizó mediante la

siguiente fórmula: $G_i = \frac{\pi}{4} \bar{d}_i^2 * n_i$

Dónde: G_i = área basal de la clase diamétrica; \bar{d}_i = diámetro medio de la clase diamétrica y n_i = número de árboles en la clase diamétrica.

3.6.2. Determinación del volumen por hectárea

Para el cálculo del volumen por hectárea (V/ha) se aplicó la fórmula:

$$V/ha = F \left(\sum_{i=1}^m v_i \right) \text{ o lo que es lo mismo: } V/ha = F \left(\sum_{i=1}^m \frac{\pi}{4} d_i^2 * h_i * f_i \right) = F \left(\sum_{i=1}^m g_i * h_i * f_i \right)$$

Dónde: v_i = volumen de cada árbol; h_i = altura estimada de cada árbol y f = factor volumétrico de cada árbol.

Como (f_i) no se conoce exactamente para las especies investigadas, se empleó entonces, para la estimación del volumen (v_i) la tabla de coeficientes móricos empíricos (f_e) y la fórmula, utilizada en el Manual para la Ordenación de Montes en Cuba, o sea: $v_i = g_i * (h_i + 3) * f_e$ y también $v_i = \frac{\pi}{4} d_i^2 * (h_i + 3) * f_e$.

El cálculo del volumen por clase diamétrica se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$V_i = \left[\frac{\pi}{4} \bar{d}_i^2 * (\bar{h}_i + 3) * f_e \right] * n_i$$

Dónde: V_i = volumen de la clase diamétrica; \bar{d}_i = diámetro medio de la clase diamétrica, \bar{h}_i = altura promedio de la clase diamétrica y n_i = número de árboles en la clase diamétrica.

3.6.3. Determinación del número de árboles por hectárea

El número de árboles por hectárea (N/ha) se obtuvo por el conteo del número de árboles dentro de la parcela (m) y multiplicado por el factor de proporcionalidad (F), o sea: $N/ha = mF$.

3.7. Propuesta de manejo

La propuesta de manejo se realizó según la Metodología Simplificada para la elaboración de planes manejo en bosques naturales y plantaciones desarrollada por (Palenzuela 2015). Según Palenzuela (2015) esta metodología simplificada responde a las experiencias nacionales e internacionales fundamentalmente a los de nuestra región, siendo la mejor opción desde el punto de vista ecológico, social y económicamente viable para manejar los bosques naturales y artificiales, de esta forma pueden producir madera, productos no maderables, bienes y servicios e., de manera que los tenentes y la población en general logren valorarlos como

sistemas productivos capaces de generar ingresos económicos para mejorar las condiciones de vida de la familia, comunidad y del país en general.

Conscientes de esta situación el Estado representado por el Ministerio de la Agricultura a través de la Dirección Forestal considera oportuno y necesario materializar el Art. 51 del Reglamento de la Ley Forestal donde los administradores y tenentes del patrimonio forestal elaboren previa autorización del SEF Municipal los Planes de Manejo. Esto permitirá crear las condiciones propicias para que la comunidad y los propietarios individuales conozcan los “Derechos y deberes respecto al bosque” y tengan acceso a los beneficios directos e indirectos derivados del manejo forestal sostenible en el marco de los criterios e indicadores definidos para el país.

En este contexto el Departamento de Ordenación y Control de Áreas ha elaborado el documento “Metodología Simplificada para la elaboración de Planes de Manejo en Bosques Naturales y Artificiales”. Su estructura y contenido están basados en el Manual de Ordenación Forestal y en la Guía Simplificada para la Región Centroamericana

Este documento facilitara la elaboración de los Planes de Manejo por las entidades no especializadas del Sector Forestal, esperando que se convierta en una herramienta de gestión, útil, practica, flexible y sencilla, para hacer el manejo forestal sostenible en las fincas de los tenentes y facilitar el monitoreo, control y seguimientos por parte del Servicio Estatal Forestal.

3.8. Análisis de los modelos de regresión de volumen

3.8.1. Selección del modelo

Se ensayaron 11 modelos matemáticos usados frecuentemente tabla 3.4 para la obtención de biomasa forestal y se ensayaron mediante un análisis de regresión usando el paquete estadístico SPSS versión 23.

Tabla 3.4. Modelos matemáticos de simple entrada según variables correlacionadas.

| | | |
|----|-------------------------|---|
| 1 | Lineal VrT=f(x) | $Vrt = b_0 + (b_1 * x)$ |
| 2 | Logarítmica VrT=f(x) | $\log(Vrt) = b_0 + (b_1 * \log(x))$ |
| 3 | Inverso VrT=f(x) | $Vrt = b_0 + (b_1 / x)$ |
| 4 | Cuadrático VrT=f(x) | $Vrt = b_0 + (b_1 * x) + (b_2 * x^2)$ |
| 5 | Cúbico VrT=f(x) | $Vrt = b_0 + (b_1 * x) + (b_2 * x^2) + (b_3 * x^3)$ |
| 6 | Potencia VrT=f(x) | $\log(Vrt) = \log(b_0) + b_1 * \log(x)$ |
| 7 | Compuesto VrT=f(x) | $\log(Vrt) = x (b_0) + (\log(b_1) * (x)$ |
| 8 | S VrT=f(x) | $\log(Vrt) = b_0 + (b_1 / x)$ |
| 9 | Logístico VrT=f(x) | $\log(1 / Vrt * 1 / u) = (\log b_0 + (\log(b_1) * x)$ |
| 10 | Crecimiento VrT=f(x) | $\log(Vrt) = b_0 + (b_1 * x)$ |
| 11 | Exponencial VrT=f(x) | $\log(Vrt) = \log(b_0) + (b_1 * x)$ |

b_0, b_1, b_2, b_3 : coeficientes de regresión.
 El modelo logístico cuya ecuación es $\ln(1/Y - 1/u) = \ln(b_0 + (\ln(b_1) * t))$ donde u es el valor del límite superior. Tras seleccionar Logístico.
 La variable (x) corresponde a cada una de las variables independientes correlacionadas, cada uno de estos modelos se ensayó con VrT = f(Gt; Db; d_{1,3}; d_{1/2}; G_{1.3} y Ac).

La selección de la ecuación de volumen se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Salas (2002), la cual consiste en las siguientes cuatro etapas:

a) **Cumplimiento de los supuestos teóricos.** Se verificó el cumplimiento de los supuestos del análisis de regresión. La normalidad, homocedasticidad e independencia serial de los residuales se verificó mediante el test de Kolmogorov-Smirnov (Ostle, 1973), prueba de Levene (Ott y Longnecker, 2001), y test de

Durbin y Watson (Canavos, 1988), respectivamente. La presencia de multicolinealidad entre las variables predictoras fue evaluada mediante el factor de inflación de la varianza (*VIF*) (Maddala, 1996). Los modelos que no cumplieron con algunos de estos supuestos fueron eliminados de las siguientes etapas. La presencia de multicolinealidad se asumió para aquellas ecuaciones que presentaron *VIF* mayores a 10 para alguna de sus variables independientes (Kozak, 1997).

b) **Bondad de ajuste.** Se calculó el coeficiente de correlación (*R*), el coeficiente de determinación (*R*²), el error estándar de la estimación (*Sx*) y la significancia estadística de los coeficientes de regresión ajustados mediante la prueba de *t*-student. Aquellos modelos que presentaron al menos un parámetro no significativamente distinto de cero fueron eliminados.

c) **Capacidades predictivas.** Fueron evaluadas las capacidades predictivas), con el fin de comparar los modelos, en la totalidad de la muestra empleada para la validación de los modelos (validación independiente. Los estadísticos empleados son la raíz del error cuadrático medio (*RECM*) y la diferencia agregada (*DA*) (Prodan *et al.*, 1997). Debido al sesgo que se produce al transformar los valores estimados de modelos logarítmicos (*lnv m*³) a los valores aritméticos (*m*³); se empleó, previo al cálculo del *RECM* y *DA*, la corrección propuesta por Baskerville (1972) para los modelos que emplean logaritmos en la variable respuesta. Ambos estadísticos están expresados como una proporción de la media del grupo y son recomendados por su efectividad por Max y Burkart (1985); Real (1993); Rodríguez y Molina (2003); Novo *et al.* (2003); Barrio *et al.* (2007); Gezan *et al.* (2009) y Barrero (2010). Para estos estadísticos el mejor modelo corresponderá al que presente los valores más cercanos a cero. Ante dos valores iguales de error, el modelo que estimó con un menor (*RECM*) se consideró superior.

Estos estadísticos fueron determinados mediante las siguientes expresiones:

$$RECM\% = \frac{100}{\bar{y}} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2 \right]^{1/2}$$

$$DA \% = \frac{100}{\bar{y}_i} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) \right]$$

Donde: y_i y \hat{y}_i corresponden al valor observado y estimado de la medición i-ésima; \bar{y} es el promedio y n el total de observaciones.

d) Análisis de capacidades predictivas dentro de clases de validación. Se calcularon la media y la desviación estándar del RECM y DA calculados para la validación de cada ecuación (Salas, 2002). En general, con esta metodología, se espera que un modelo con un buen comportamiento debiera presentar para el RECM una menor media (mayor exactitud) y una menor desviación. Para la DA la tendencia esperada es la misma, con la diferencia que para la obtención de la media y desviación estándar de la DA en las clases de validación se emplean valores absolutos. Este análisis es clasificado de acuerdo a Kozak (2003) como un análisis de falta de ajuste, el cual normalmente no es realizado en gran parte de los estudios que evalúan y comparan varios modelos.

La elección de la mejor ecuación estimadora de volumen, se efectuó a través de la asignación de puntajes a cada uno de los estadísticos (Cao *et al.*, 1980) y (Salas, 2002). La clasificación de mejor ajuste fue asignado a la correspondiente ecuación ajustada que presentó el menor valor de RECM calculado para toda la muestra, el menor valor de la media y desviación estándar de la RECM en las clases de validación hasta completar la asignación de puntajes con el total de modelos. De igual manera se realizó con el análisis del sesgo; esto es, el mejor ajuste fue asignado a la ecuación que presentó la DA más cercana a cero, calculada para toda la muestra, el menor valor de la media en valor absoluto y desviación estándar de la DA en las clases de validación. Finalmente, se obtuvo la sumatoria de estos puntajes para cada modelo, donde los menores puntajes finales indican ecuaciones más exactas. En caso que hubiera ecuaciones con el mismo puntaje se optó por la expresión matemática más sencilla.

Luego de la selección de los mejores modelos para cada especie se ensayó un mejor modelo común para cada uno de los casos de las tres especies.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Estado actual del patrimonio de la UBPC Rio Frio.

4.1.1. Tamaño de la muestra

Se procesaron los datos de las 25 parcelas del inventario piloto de la Tabla 3.4 y se determinó el tamaño de la muestra total para toda el área, de categorías de bosques de protección de la flora y la fauna y protectores de las agua y los suelos, y por estrato de la formación de bosques xerofítico típico cuya superficie es de 2758,56 ha.

Lo primero que se determinó fue el tamaño de la población (N), o sea el número total de parcelas o unidades de muestreo de 0,05 ha. $N = \frac{2758.56.ha}{0,05.ha} = 55171.2$

parcelas.

Después se determinó la intensidad de muestreo o fracción de muestreo (f) del inventario piloto que, según Chacko (1965), es la razón entre el número de unidades de la muestra (n) y el número total de unidades de la población (N). Por

$$\text{tanto: } f = \frac{25}{55171.2} = 0,0004531$$

Como se cumple la hipótesis de que $1 - f = 1 - 0,0004591 = 0,9995 > 0,98$, entonces la población es infinita y por tanto, la fórmula a emplear para calcular el tamaño de la muestra es la correspondiente a una población infinita.

Se aplicó para el cálculo de los diferentes estadísticos el procedimiento propio para un muestreo estratificado, ya explicado en el capítulo de materiales y métodos, considerándose el número de árboles por hectárea de las tres especies como variable de interés. En la Tabla 4.1 se muestran los resultados de los estadísticos por cada estrato.

Tabla 3.1: Principales valores estadísticos por estrato necesarios para el cálculo del tamaño de la muestra.

| Estratos | n_h | N_h | W_h | A_h | \bar{x}_h | s_h^2 | $W_h * s_h^2$ |
|----------|-------|---------|--------|----------|-------------|-----------|---------------|
| I | 7 | 15822 | 0,3000 | 689,64 | 14,27 | 525,71 | 157,7 |
| II | 8 | 14290 | 0,2000 | 689,64 | 124,29 | 1 118,68 | 223,7 |
| III | 5 | 10931 | 0,2856 | 689,64 | 249,0 | 3 009,47 | 859,8 |
| IV | 5 | 14128,2 | 0,2143 | 689,64 | 506,69 | 29 409,52 | 6 302,5 |
| Total | 25 | 55171,2 | 1 | 2 758,56 | | | 7 543,71 |

Además se calculó la media estratificada $\bar{x}_{st} = 208,86$ árboles y la varianza estratificada $s_{h(st)}^2 = 7543,71$ árboles.

Para el cálculo del tamaño de la muestra se consideró obtener un límite de error de muestreo de $\pm 10\%$ para una probabilidad de 95%. Como el límite de error está en por ciento, se convirtió a valor absoluto: $E = 20,886$.

Como $n = 25$, entonces el valor de (t) para 95% de probabilidad será: $t_{(0,05;24)} = 1,995$. Por tanto el tamaño de la muestra para el inventario definitivo es:

$$n_{t(0,05;24)} = \frac{(2,064)^2 * 7543,7}{(20,86)^2} = 22 \text{ parcelas}; t_{(0,05;21)} = 1,995 \quad n_{2t(0,05;21)} = \frac{(2,080)^2 * 7543,7}{(20,86)^2} = 22 \text{ parcelas};$$

lo que indica que las 25 parcelas que se levantaron son representativas y suficientes para alcanzar la precisión deseada.

Finalmente se comprobó la cantidad de parcelas que deben levantarse por estrato (intensidad de muestreo por estrato), correspondiéndose el número de parcela (n_h) representativa por estrato con las que se levantaron en el inventario piloto, según se muestra en la Tabla 4.2.

En la Tabla 3.2 están indicados también los diferentes estadísticos para calcular el error estándar.

Tabla 4.2: Valores estadísticos para calcular el error de muestreo.

| Estratos | n_h | N_h | W_h | $W_h * n$ | W_h^2 | s_h^2 | $\frac{s_h^2}{n_h}$ | $W_h^2 * \frac{s_h^2}{n_h}$ |
|----------|-------|---------|--------|-----------|---------|----------|---------------------|-----------------------------|
| I | 7 | 94 922 | 0,3000 | 20,7 | 0,09 | 525,71 | 25,03 | 2,3 |
| II | 8 | 63 282 | 0,2000 | 13,8 | 0,04 | 1 118,68 | 79,91 | 3,2 |
| III | 5 | 90 402 | 0,2856 | 19,7 | 0,08 | 3 009,47 | 150,47 | 12,3 |
| IV | 5 | 67 802 | 0,2143 | 14,8 | 0,05 | 29 409,5 | 1 960,7 | 90,0 |
| Total | 25 | 316 408 | 1 | 69 | 1 | | | 107,8 |

Como la población es infinita el término $(1 - f_n)$ se elimina, ya que (f_n) tiende a cero. Por tanto el error estándar es $\pm 10,38$ árboles/hectárea y como $t = 1,997$, el error absoluto es: $E_a = \pm 20,7$ y el error relativo es: $E_r = \pm 9,91\%$, por debajo del $\pm 10\%$ deseado, por lo que los cálculos realizados están dentro del límite propuesto.

4.2. Resultados del inventario forestal

Una vez realizado el trabajo de campo y de gabinete y evaluado el estado y conservación del bosque, buscando las mejores técnicas de establecimiento y conservación del bosque se realizó la distribución de superficie, en este caso se tuvo en cuenta el patrimonio total de la entidad ya que el área presenta características propias de un bosque establecido, dejando la posibilidad de realizar manejos que cambien el uso.

Los datos reflejados en la tabla anterior expresan el uso y tenencia de la tierra, datos extraídos del catastro de planificación física en el que se puede observar una diferencia de 452.06 ha comparado con el expediente del registro de control tierra, incongruencia ocasionada por los procesos de entrega de tierra ociosa.

Tabla 4.3. División de la superficie total del patrimonio forestal por categorías de las áreas de la UBPC Rio Frio.

| Categoría de Bosq. | AREA FORESTAL EN HECTAREAS | | | | | | | | | | | AREAS INFORESTAL EN HECTAREAS | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|------------|--------|-------|------------------|--------------|---------|-----------|-----------|---------------------|---------------------|-------------------------------|---------|--------------------|---------------------------|---------|-------------------|----------|-----------|-------------------------|-----------------|------------|---------|
| | Boscosa | | | pinar | Plantación joven | Deforestadas | | | | | Total área forestal | Pastos | Aradura | Arroyos y embalses | Viales, trochas y tendido | Viveros | Naves Otras inst. | ciénagas | Asomo Ro. | Otros (Cultivos varios) | Total área iinf | Área Total | |
| | Bosque natural | Plantación | Total | | | Calvero | B .ralo | A taladas | Sup.quem. | Plantación Montes.m | | | | | | | | | | | | | Total |
| Bosque de Conservación de la flora y la fauna silvestre | 3141,5 | | 3141,5 | | | | 6,0 | | | | 5,98 | 3147,5 | 42,3 | 15,3 | | | | | | | 5,6 | 63,1 | 3210,62 |
| Total | 3141,5 | | 3141,5 | | | | 6,0 | | | | 5,98 | 3147,5 | 42,3 | 15,3 | | | | | | | 5,6 | 63,1 | 3210,62 |

Autores como Malleus (1982), Lamprecht (1993), Pardé y Bouchon (1994), Jiménez (1996), Kometter (1996), Mejía (1996), Prodan *et al.* (1997) y Machado (2002), Lores (2012), Osorio (2013), Sánchez (2015), Lores (2017) y Utria (2018), han demostrado y coincidido con la hipótesis de que los bosques irregulares o disetáneos, es decir, deben tener una tendencia exponencial negativa (J invertida), lo que significa que las clases diamétrica menores se presentan con mayor frecuencia de individuos que las clases superiores, esta distribución garantiza la perpetuidad del bosque de forma natural, los resultados de la figura 4.1 difiere con los autores antes mencionados donde no se ve una tendencia negativa sino que los valores se encuentran muy dispersos lo que avala la perturbación a que han sido sometidos estos bosques abalados por el coeficiente de determinación (R^2) con un valor de 0,0013, esto demuestra que se deben realizar acciones de rehabilitación para largo plazo ir cambiando esta situación como ya se explicó estos bosque eran potreros hace pocos años por lo que están comenzando a recuperarse paulatinamente con especies propias de la zona.

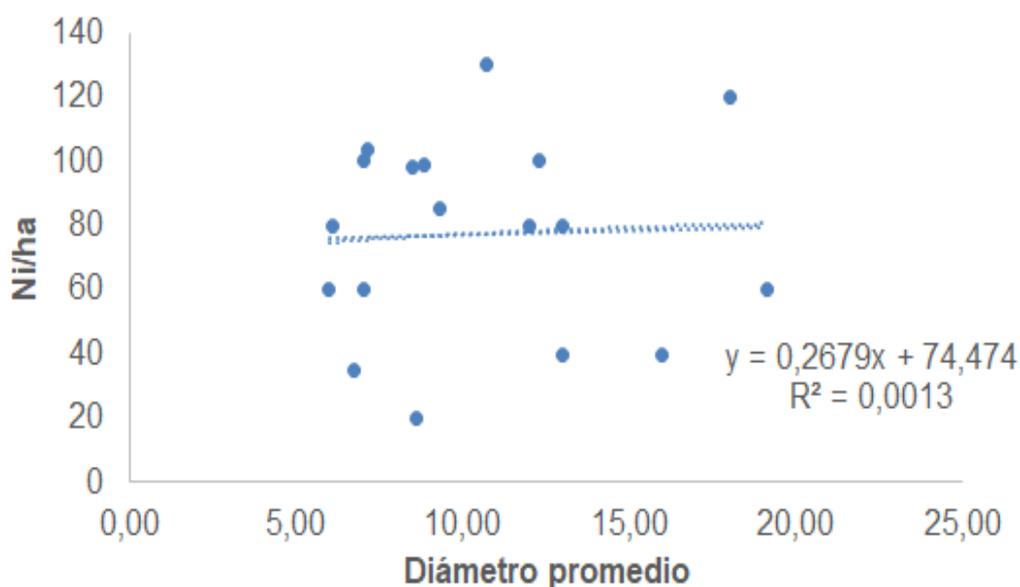


Figura 4.1. Frecuencia por clase diamétrica de las especies inventariadas en el área de investigación.

4.3. Organización espacial del patrimonio de la UBPC Río Frío con el empleo de sistemas de información geográfica

Basado en el comportamiento espacial se reordenaron las áreas de la entidad separada en dos principales lotes Figura 4.2 y 4.3, divididos por la vía pavimentada a Costa Rica, en el que se enmarcaron los diferentes rodales, los cuales se conformaron con grandes extensiones de área ya que las condiciones son similares por lo que se conforma un solo rodal, a medida que se vayan realizando los manejos posibles se irán marcando diferencias significativas que permitan fragmentarlos en rodales más pequeños y así trabajarlos mejor. Solís (2018); Michelson (2018) y Luperón (2018) utilizando esta técnica para ordenar la finca los lirios en limonar.

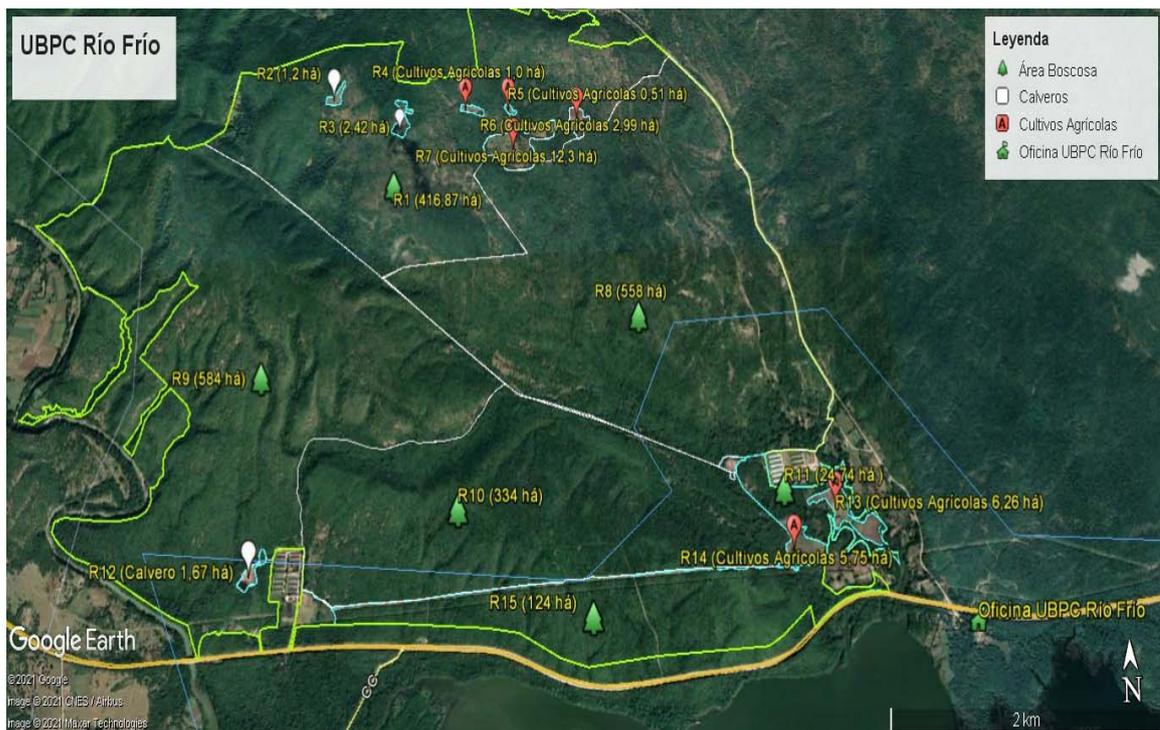


Figura 4.2. Ordenación espacial del lote I UBPC Río Frío.

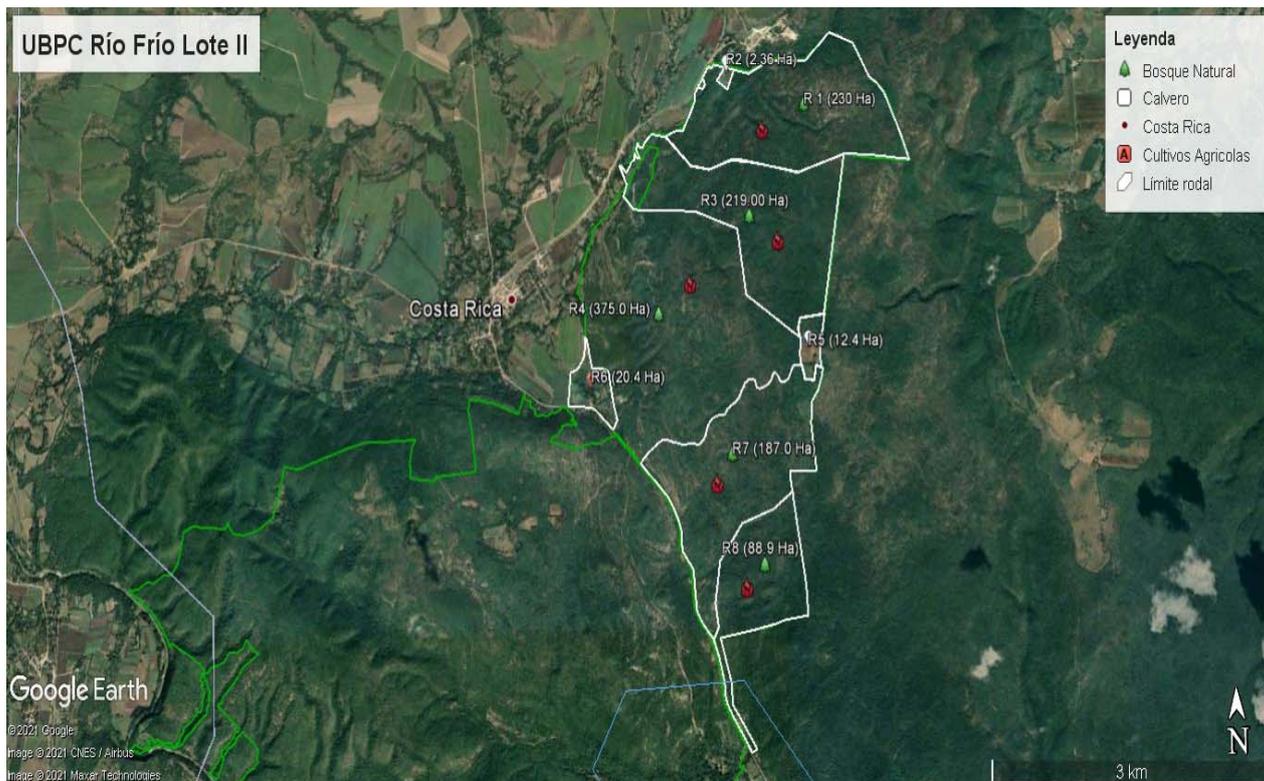


Figura 4.3. Ordenación espacial del lote II UBPC Río Frío.

En la tabla 4.4 se aprecia que según la nueva organización espacial figuras 4.2 y 4.3 la UBPC cuenta actualmente con 3210,4 hectáreas o sea 452,4 hectáreas más que las que contaba antes del inventario diferencia que debe resolver la entidad con el balance de la tierra.

Tabla 4.4. Relación Superficie Lote Rodal de la UBPC Río Frío.

| Entidad | Superficie en Ha | Cantidad de lotes | Cantidad de rodales |
|----------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|
| UBPC Río Frío | 3210,6 | 2 | 23 |
| Lote I | | | 15 |
| Lote II | | | 8 |

En la tabla 4.5 expresa la formación de bosque existente y el área que representa, como también el área basal promedio y el volumen de madera por hectárea, valores que son minúsculos al tener una formación boscosa xerofítico típico,

marcando una abundancia en especies de diámetros bajos al tener un comportamiento de crecimiento lento, en el que el diámetro promedio se encuentra en 13.4 cm y la altura 11.2 metros con altura comercial de 7.5 m, dificultando la existencia de surtidos de grandes volúmenes.

Tabla 4.5. Clasificación de las áreas boscosas por Formación de Bosques (Ley Forestal).

| Formación de Bosques | Área (há) | Área Basal m²/há | Volumen m³/há |
|-----------------------------|------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Xerofíticos Típicos | 3017.51 | 16,55 | 60,64 |
| | | | |
| | | | |

Como se puede apreciar en la tabla 4.6 la mayoría de las áreas actualmente están cubiertas de bosques, áreas dedicadas a la crianza de ganado menor y mayor, debido a los manejos insuficientes e inadecuados que ha sido sometido el área de trabajo, los árboles que en esos momentos eran sombreadores y los aislados matorrales fueron colonizado el área en general, estableciéndose y creado un bosque denso en el que la fauna silvestre y la rica diversidad de especies vegetales han formado un ecosistema armónico en el que el CITMA lo declara como bosque de conservación de la fauna.

La composición de especies en el área se encuentran representada principalmente por *Mimosa sp*, (Aroma), *Dichrostachys sinerea* (marabú), *Evestigma cubensis* (frijolillo), *Guasuma tomentosa* (guasima), *Nectandra ciriacea* (sigua), *Cedrela odorata* (cedro), *Cordia gerascanthus* (baria), *Galactia combsii* (soplillo), *Leocaena leucosefala* (ipil ipil), *Samanea saman* (algarrobo del país) entre otras, estas áreas en un período progresivo se irán tratando buscando la forma de convertirlas en áreas de silvo-pastoreo con especies de gran valor económico, dejando claro que los rodales con alta presencia de afloramiento rocoso se maneja de forma especial, en el que no se aplicará ningún tipo de aprovechamiento y a la hora de la plantación se realizara bajo dosel, plantando en los espacios que lo permita.

Fernández (2018) plantea que en estos bosques no se permiten talas de explotación. Los manejos silvícolas se realizarán con el objetivo de mejorar el hábitat de la fauna silvestre, de acuerdo con el plan aprobado para cada área, por lo que se recomienda para estas áreas la regeneración natural y la reconstrucción de bosques. Estos bosques deben ser conservados permanentemente y en ellos no se permiten talas de aprovechamiento sino cortas de mejora, orientadas al reforzamiento de su función principal y a la obtención de productos secundarios del bosque. En término forestales la UBPC por condiciones territoriales, el patrimonio se extiende hasta el poblado de Costa Rica con 2 lotes y 23 rodales, categorizados según ley forestal como bosques de protección de la flora y la fauna silvestre.

Tabla 4.6. Resumen por lotes y rodales

| L | R | área | Categoría | Composición | Estrato | Alt | Especie | Edad | Dap | Clase | Formac | Den | V dm ³ | |
|----|----|----------|----------------|---|---------|-----|---|------|-----|-------|--------|-----|-------------------|-------|
| | | | | | | | | | | | | | Ha | Rodal |
| I | 1 | 416 | Bosque Natural | 4Msp2Gt1LI1 Sm+Ss+Ti- Ces-Ec | R | 8,0 | Aroma, Guácima, Almendrillo, ipil ipil, marabú, algarrobo | 25 | III | | Xt | 0,8 | 63,36 | 26412 |
| | 2 | 1,2 | Deforestada | ---- | M | | | | | | | | | |
| | 3 | 2,4 | Deforestada | ---- | M | | | | | | | | | |
| | 8 | 558 | Bosque Natural | 3LI,3Sma,1Z m,1Aj,1Cho+ Gt-Msp-Ti | R | 7,0 | Frijolillo, ayúa, algarrobo del país Almendrillo, algarroba del país | 20 | IV | | Xt | 0,9 | 64,80 | 36158 |
| | 9 | 584 | Bosque Natural | 3Sma,3Rrg,1 Zm,1Aj,1Cho+ Ss-Ces | R | 7,0 | Frijolillo, Almendrillo, Ayúa, Caoba del país, palma | 20 | III | | Xt | 0,8 | 61,20 | 35740 |
| | 10 | 334 | Bosque Natural | 3LI,3Sma,1Z m,1Aj,1Cho+ Gt-Msp-Ti | R | 7,0 | ipil ipil, algarrobo del país, ayúa, ateje, guácima, frijolillo | 20 | III | | Xt | 0,8 | 57,60 | 19238 |
| | 11 | 24, 7 | Bosque Natural | 3LI,3Sma,1Z m,1Aj,1Cho+ Gt-Msp-Ti | R | 7,0 | ipil ipil, algarrobo del país, ayúa, ateje, guácima, frijolillo | 20 | V | | Xt | 0,8 | 72,00 | 1781 |
| | 15 | 124 | Bosque Natural | 3LI,3Sma,1Z m,1Aj,1Cho+ Gt-Msp-Ti | R | 8,0 | ipil ipil, algarrobo del país, ayúa, ateje, guácima, frijolillo | 22 | IV | | Xt | 1 | 79,20 | 9820 |
| II | 1 | 230 | Bosque Natural | 2Aj,1Cho,1Zm ,1Sma,1Rrg | R | 7,0 | Ateje, guácima, frijolillo, algarrobo del país, ayúa, ateje, guácima, frijolillo | 22 | III | | Xt | 0,7 | 46,80 | 10764 |
| | 2 | 2,3 | Deforestada | ---- | M | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|----------------|---------------------------------|---|-----|---|----|-----|--|----|-----|-------|-------|
| 3 | 219 | Bosque Natural | 3Sma,3Rrg,1Zm,1Aj,1Cho | R | 7,0 | Algarrobo del país, ayúa, ateje, guácima, frijolillo | 20 | V | | Xt | 0,7 | 50,40 | 11037 |
| 4 | 375 | Bosque Natural | 3LI,3Sma,1Zm,1Aj,1Cho+Gt-Msp-Ti | R | 8,0 | ipil ipil, algarrobo del país, ayúa, ateje, guácima, frijolillo | 20 | III | | Xt | 0,6 | 51,48 | 19305 |
| 7 | 187 | Bosque Natural | 3Sma,3Rrg,1Zm,1Aj,1Cho | R | 7,0 | Frijolillo, Almendrillo, Ayúa, Caoba del país, palma | 20 | IV | | Xt | 0,9 | 61,20 | 11444 |
| 8 | 88,9 | Bosque Natural | 3LI,3Sma,1Zm,1Aj,1Cho+Gt-Msp-Ti | R | 6,0 | ipil ipil, algarrobo del país, ayúa, ateje, guácima, frijolillo | 20 | III | | Xt | 1 | 58,32 | 5184 |

En el área de bosque se determinaron los índices dasométricos al medir el diámetro a 1,30 y la altura, también se clasificó según su formación boscosa quedando como se observa en la tabla 4.7.

Se una sola formación forestal: bosques xerofíticos típicos que representa el 100 %, se puede observar que la formación tiene condiciones similares en toda el área, teniendo un área basal promedio de 16,55 m²/ha y un volumen promedio de 60,64 m³/ha.

En estos bosques la tala es regulada, y se efectuarán según necesidad para la reforestación, los manejos silvícolas se realizarán con el objetivo de mejorar el hábitat de la fauna silvestre, de acuerdo con el plan aprobado para cada área, por lo que se recomienda para estas áreas la regeneración natural y la reconstrucción de bosques. Estos bosques deben ser conservados permanentemente y en ellos no se permiten talas rasas, solos cortas de mejora, orientadas al reforzamiento de su función principal y a la obtención de productos secundarios del bosque.

Tabla 4.7. Áreas boscosas por Formación de Bosques.

| Formación de Bosques | Área (há) | Área Basal m ² /há | Volumen m ³ /há |
|----------------------|-----------|-------------------------------|----------------------------|
| Xerofíticos Típicos | 3017.51 | 16,55 | 60,64 |
| | | | |

4.4. Plan de manejo simplificado para la organización y desarrollo del patrimonio de la UBPC Lorenzo Boicet con base a la sostenibilidad

Manejos Recomendados:

Teniendo en cuenta las categorías de bosques y las formaciones boscosas que existen en el área bajo manejo se le recomiendan los siguientes manejos:

1. Forestación y reforestación:
2. Regeneración Natural
3. Enriquecimiento de Bosque
4. Tratamientos silviculturales

4.4.1. Plantación

La acción de poblar con especies arbóreas áreas que hayan sido objeto de aprovechamientos, previos o arrasadas por incendios u otras causas, en el caso que nos toca son áreas invadidas por especies oriundas del lugar, afectando el uso del suelo.

Para la ejecución de la forestación hay que tener en cuenta una serie de medidas técnicas, según las características edafo-climáticas de cada sitio, en los terrenos con pendientes de más del 16 % se ejecutará la chapea, el acordonamiento de la broza y restos del aprovechamiento, el acordonamiento se realizará a curva de nivel, cumpliendo los parámetros técnicos establecidos para estos fines.

Se propone la acción de reforestar o forestar por año 5,0 ha, teniendo en cuenta la fuerza de trabajo disponible, los recursos, materiales dispuestos y la lejanía de las áreas a plantar, se recomienda iniciar en los rodales 2 y 3 del lote I y en el rodal 2 lote II, áreas que en estos momentos se encuentran deforestada, recomendamos además manejar de esta forma las áreas ya aprovechadas en la producción de carbón vegetal, el cual aporta beneficios lucrativos a la entidad, dejar claro que a pesar de los aportes anuales que genera este rublo de la economía aún se queda por debajo el potencial productivo del área.

La preparación del sitio se realizará en terrazas individuales de 60x40x30, a un marco de plantación de 2 x 2 y a tres bolillos, en los lugares que el asomo rocoso lo

permita; aunque se deben hacer análisis relacionado con el marco de plantación para aquellas áreas donde se haga difícil llegar hasta ellas por la lejanía y las vías de acceso.

Para los sitios en los cuales lo permita, se realizarán sistemas de silvo pastoreo utilizando un marco de plantación más amplio y se seleccionarán las especies autóctonas y de mayor interés económico según los objetivos de la plantación, que debe estar de acuerdo con la categorización del área, se propone la utilización de mezclas de especies como lo expresa la tabla 4.8.

El método de reproducción de postura se realizará siempre en bolsos para lograr de esta forma mayor supervivencia. En el proyecto de reforestación debe ir planificado las limpiezas y reposición de las fallas, se planificarán tantos mantenimientos como el técnico del área entienda, teniendo en cuenta el régimen climático (pluviosidad) de la región.

Tabla 4.8. Propuesta de combinaciones de especies.

| Propuestas | Especies principal | Especies secundaria | Frutal | Marco de plantación |
|------------|--------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| 1 | Cedro | Soplillo | Aguacate | 3x3 |
| 2 | Cedro | Júpiter | Aguacate | 3x3 |
| 3 | Caoba del País | Bijáguara | Guayaba, marañón | 2x2 |
| 4 | Caoba del País | Júpiter | Naranja Asida | 2.5x3 |
| 5 | Baria | Soplillo | Naranja Asida | 2x2 |

Es tarea del técnico comprobar la calidad de la plantación del área, realizar el primer conteo de supervivencias al mes de realizada la plantación para determinar las fallas y se realice la reposición de fallas necesaria, luego hacer los otros conteos de supervivencias restantes en el plazo que se establece para cada caso.

4.4.2. Regeneración natural

En el inventario realizado demostró que la regeneración natural se clasifica de nula a mala a pesar que en pequeñas parcelas hay existencia de caoba del país y baria. Se propone el aclareo en parte del rodal 1 del lote 2 con el objetivo de estimular la regeneración natural, valorando siempre las medidas preventivas y los procedimientos para la aplicación dichas técnicas.

Para el manejo de la regeneración natural se elabora un proyecto técnico donde se establecen unas series de parámetros relacionados con la cantidad de árboles a extraer, cuantos quedarán por hectáreas y los mantenimientos que se planifican por tres años. En sentido general se les da las mismas atenciones que a las plantaciones.

4.4.2.1. Evaluación de la Regeneración

La valoración de la regeneración natural se hará dentro del perímetro de la parcela y para la condición seca, húmeda y muy húmeda del bosque. Se hará el conteo de plantas por especie y por hectárea. Se determinará la cantidad de regeneración por grupos de especies y por clase de altura expresada en miles de posturas bajo los siguientes criterios: (Guía No:8) para su manejo respectivo.

Establecimiento de la regeneración natural:

- ◆ Buena.: Si por el conteo se obtienen 3000 plantas o más /ha
- ◆ Regular: Entre 3000 y 1500 plantas /ha.
- ◆ Mala: Menos de 1500 plantas /ha

La evaluación del estado de las plantaciones establecidas (>3 años) se determina por especie y de acuerdo al método de inventario.

4.4.3. Enriquecimiento de Bosque

Se realizan a los rodales 1, 8, 10, 11, 15 del lote 1 y del lote 2 los rodales 1, 2, 4 y 7 de poco valor económico, señalándose el modo de establecimiento (en fajas, en grupos, en marco de plantación definidos, por espacios libres y totales) y la especie principal que debe reemplazar el rodal que se reconstruye. El enriquecimiento se proyecta en las áreas de poco valor en las que el estado y composición del bosque no respondan a las condiciones del sitio ni a la planificación de una acertada política de desarrollo forestal.

El método anterior es un manejo aplicable a los bosques pobres o carentes de madera valiosas, así como bosques que producto de la tala irracional presentan

árboles poco vigorosos y mal conformados que no pueden garantizar una regeneración natural de perspectivas y bosques degradados de poca densidad donde el espacio es subutilizado; por tanto, este manejo consiste en llevar a los rodales especies de alto valor económico y elevar su densidad de forma artificial.

Teniendo en cuenta las actuales condiciones de los bosques en el patrimonio que abarca la entidad, cuyas densidades están en su gran mayoría por debajo de los 0.5 de densidad, ocupado por arbustos de diferentes tipos y árboles de bajo valor económico, debido al mal uso que se les ha dado, provocado fundamentalmente por las talas indiscriminadas para diferentes usos, entre los que se encuentran los productores furtivo, la misma debe poner especial interés al enriquecimiento de bosque, valorando además que la superficies deforestada que existe se plantará en un plazo de 5 años.

Con el fin de mejorar las condiciones de los bosques y por ende garantizar bosque con gran potencial productivo, principalmente con especies de alto valor económico se maneja utilizando este método, el cual resulta conveniente al no tener que eliminar la cubierta forestal en su totalidad, más bien permite el establecimiento de especies bajo dosel, dando de esta forma una cubierta forestal que beneficia la supervivencia de la plántula, admite además método de plantíos pocos uniforme, permitiendo de esta forma esquivar las a floraciones rocosas existentes las cuales son abundantes.

Tratamientos silviculturales

Los tratamientos silviculturales son las primeras intervenciones que se realizan al bosque joven en desarrollo; estas son: poda, limpias o aclareos y raleos, Se proyectan generalmente en los rodales con una densidad de 0.8 – 1.0; pero puede aplicarse también en otras densidades donde los árboles estén ubicados por grupos.

Los tratamientos silviculturales se proyectan:

- ❖ Para el mejoramiento de la composición de las diferentes formaciones boscosas.
- ❖ Para lograr el incremento de la masa.
- ❖ Para aumentar el volumen de aprovechamiento de madera, de un área boscosa, teniendo en cuenta también la utilización de los árboles muertos.

- ❖ Para aumentar la estabilidad de los bosques contra los factores que no son satisfactorios al crecimiento y el desarrollo de los mismos.
- ❖ Para la conservación y el mejoramiento de las propiedades protectoras del bosque.
- ❖ Para lograr el producto final deseado.

Limpias.

Consiste en el tratamiento, mediante la corta, que se realiza en los rodales jóvenes, generalmente en la época de brinzales, con el objetivo de:

- Eliminar árboles mal formados en la masa en formación.
- Eliminar árboles de otras especies maderables que se regeneran por si solas dentro del repoblado objeto de tratamiento.
- Eliminar el exceso de arbolitos en las regeneraciones naturales superdensas, para evitar el debilitamiento general de la masa a causa de la lucha por el espacio, el agua y los nutrientes.
- Eliminar la mala hierba que compita con el arbolado.

Las limpieas se realizarán en una o en varias intervenciones, en dependencia del número de individuos por hectárea y el hábito y ritmo de crecimiento de las especies cultivadas.

- Raleos o Aclareos.

Estas cortas intermedias se realizan al bosque desde los latízales hasta fustales y se realizan con el objetivo de mantener una densidad adecuada y propiciar al bosque un buen desarrollo para obtener de los mismos los resultados esperados.

Los raleos se deben realizar oportunamente, ya que en casos contrarios se perjudica de sobremanera el desarrollo del rodal. En muchas empresas cuentan con un sin número de rodales que no se han manejado oportunamente y otros se han hecho sin tener en cuenta las normas técnicas elaboradas para estos fines, lo que arroja resultados negativos en la masa boscosa, esto queda evidenciado en el levantamiento de campo realizado por los tasadores, donde las mayorías de los rodales de las plantaciones establecidas están por debajo de 0.7 de densidad.

Este manejo se realizará en los rodales 1, 8, 9, 10 y 15 del lote I y en los rodales 7 y 8 del lote 2 con intensidad de un 35%, con intervenciones de 10,0 ha al año,

teniendo en cuenta la fuerza de trabajo disponible, con el fin de propiciar condiciones deseadas para la regeneración natural y le silvo-pastoreo, además el uso de los resultados del raleo para la producción de carbón vegetal

Áreas Inforestales

Son inforestales las áreas inapropiadas para los cultivos forestales (asomos rocosos, cárcavas, ciénagas, superficies acuosas) o que, por su uso, en ellas no se pueden desarrollar cultivos forestales (viveros, instalaciones, tendidos eléctricos, viales, pastos, cultivos agrícolas) en la entidad existen diferentes áreas que se pueden clasificar como in-forestales en la que se identificaron 63,1 ha principalmente en áreas de pastizales con 42.3 ha, recordar que el encargo estatal de esta área responde a la crianza de ganado mayor y menor, en el que la siembra e incremento pastos y forraje cumple como rol principal, además existen 15.3 ha clasificadas como araduras y dedicado permanentemente a los cultivos varios 5.6 ha Tabla 4.9.

Tabla 4.9. Plan de Reforestación a proponer al SEF.

| INDICADORES | U/M | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 |
|-------------------------|-----|------|------|------|------|------|
| Envases Llenos | M/u | 7,0 | 7,0 | 3,6 | 3,5 | 3,5 |
| Posturas Producidas | M/u | 7,0 | 7,0 | 3,6 | 3,5 | 3,5 |
| En Envases | M/u | 7,0 | 7,0 | 3,6 | 3,5 | 3,5 |
| A Raíz desnuda | M/u | | | | | |
| Preparación de Tierra | Ha | 2,0 | 2,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Plantaciones en (ha) | Ha | 2,0 | 2,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| En Envases | Ha | 2,0 | 2,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Bosque Energético | Ha | | | | | |
| Plantaciones (en miles) | M/u | 8,0 | 8,0 | 4,1 | 4,0 | 4,0 |
| En Envases | M/u | 7,0 | 7,0 | 3,6 | 3,5 | 3,5 |
| Estacas | M/u | 1,0 | 1,0 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Postes Vivos | M/u | 1,3 | 1,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Frutales | M/u | 1,1 | 1,1 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Melíferas | M/u | 2,1 | 2,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |

| | | | | | | |
|--------------------------------------|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Reposición de Fallas | M/u | 0,7 | 0,7 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Reconst.y Enriquecimiento de Bosques | Ha | 2,0 | 2,0 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| Reconst.y Enriquecimiento de Bosques | Ha | 6,0 | 8,0 | 6,0 | 4,0 | 4,0 |
| Trat.Silvicola | Ha | 18,0 | 18,0 | 20,0 | 24,0 | 34,0 |
| Raleos | Ha | 10,0 | 10,0 | 12,0 | 12,0 | 14,0 |
| limpia | Km | 8,0 | 8,0 | 8,0 | 12,0 | 20,0 |
| Podas | Km | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Trochas Cortafuego | Km | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Construcción | Km | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Mantenimiento | Km | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Caminos Forestales | Km | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 |

se conformó el cronograma (en un periodo de 5 años) para la ejecución de las actividades antes descritas.

4.4.4. Actividades de aprovechamiento

Edad de corta final

Se considera edad de corta final a la edad mínima que han de tener los rodales que están aptos para la tala, teniendo en cuenta los objetivos a los cuales se destinan, así como el rendimiento de las especies maderables que lo conforman.

Para su determinación hay que considerar el surtido que se desea obtener, el crecimiento de la especie, incremento medio anual, calidad del sitio y las necesidades de la economía nacional. Actualmente la entidad no cuenta con rodales maduros en el que se le pueda realizar ningún tipo de aprovechamiento, esta tarea se realizará en medida de lo posible, en las áreas en la que se realizará la preparación de tierra para la plantación y en las áreas ocupadas por marabú, principal especie utilizada en la producción de carbón vegetal, tener en cuenta que el surtido generado, por su calidad, será utilizado en su mayoría como postes para cercas y madera para combustible.

Se evalúa la posibilidad de pequeñas talas selectivas en el área direccionadas a la extracción de madera rolliza, como varas, postes, cujes, horcones de madera

dura, principalmente para el uso de la comunidad circundante y trabajadores del centro.

4.4.5. Red general de caminos

La dirección de la entidad se encuentra ubicada en la autopista nacional, pero su patrimonio se dispersa en la zona circundante, por lo tal se requiere de una buena red caminera que dé respuesta a la necesidad de acceder a la mayor extensión del patrimonio.

La vía que da acceso a la dirección de la entidad se encuentra en buen estado constructivo, nos referimos a la autopista nacional Guantánamo Santiago de Cuba en su Km 18, no se puede decir lo mismo de la red de camino que da acceso a las áreas del patrimonio marcado por saltos de piedras, cárcavas de grandes dimensiones y otros obstáculos que han afectado en gran medida las vías, ocasionadas por la falta de mantenimiento y las grandes escorrentías fluviales del periodo lluvioso, por lo que es necesario reparar y mantener las principales vías que dan acceso a las áreas que se le realizaran los primeros manejos, priorizando los establecimiento de bosque, valorando la fuerza de trabajo existente y la tecnología con la que cuenta la entidad se propone mantener 4.0 km de camino al año, cantidad que es insuficiente por la extensión del patrimonio por lo que se realizara dando respuesta a un programa de desarrollo a mediano y largo plazo tabla 4.10.

Tabla 4.10. Red de caminos existentes y a construir

| Clase de camino | Existentes (km) | A construir | | A mantener | |
|------------------|----------------------|-------------|------------|------------|-----------|
| | | Año | Km | Año | Km |
| Secundarios | | | | | |
| | 18.0 | 2022 | 1.0 | 2022 | 10.0 |
| | 18.0 | 2023 | 1.0 | 2023 | 11.0 |
| | 18.0 | 2024 | 1.0 | 2024 | 12.0 |
| | 18.0 | 2025 | 1.0 | 2025 | 13.0 |
| | 18.0 | 2026 | 1.0 | 2026 | 14.0 |
| | | | | | |
| Sub-Total | | | | | |
| Total | 18.0 | | 5.0 | | 60 |

4.4.6. Protección contra incendios

Los incendios forestales son los eventos que más daños proporcionan al bosque, ocasionando pérdidas incalculables, a la flora y la fauna, al medio ambiente, al suelo, a la microflora, a la biodiversidad en general, también desde el punto de vista económico por los gastos en que se incurrió en el fomento, atenciones y cuidado de las plantaciones.

De acuerdo con las categorías establecidas existen distintas clases de peligrosidad de incendio en nuestros bosques, las cuales se basan según el material combustible que se encuentren en ellos.

Clase I Alta peligrosidad de incendio

Clase II peligroso

Clase III medianamente peligroso

Clase IV poco peligroso.

TROHAS CORTAFUEGOS:

Obstáculos naturales o artificiales, cuya función es evitar o disminuir la propagación de los incendios forestales. Estos se caracterizan por romper la continuidad vertical y horizontal del material combustible en la superficie boscosa:

TIPOS DE CORTAFUEGOS

1. Fajas verdes:

Cultivos que evitan o retardan la propagación de los incendios forestales y se establece en plantaciones de 4 metros a tres bolillos. Estos cultivos y sus ramas permanecen verdes todo el año

2. Fajas quemadas:

Franjas que se le aplica quemas controladas para eliminar material combustible a ambos lados de la carretera, caminos, Polígonos Militares, bajo tendidos eléctricos de alta tensión y pueden ser entre 2 y 25 m.

3. Fajas podadas:

Se realiza en lugares que se encuentran en los bordes de las carreteras y su función es evitar que los incendios superficiales se conviertan en incendios de copa.

4. Fajas mineralizadas:

Franja de tierra construida con arado, Buldócer o Motoniveladora dejando el suelo libre de material combustible

5. Línea mineralizada

Cortafuegos que dividen bosques de 12 a 25 ha, y se usa para aplicar contra candela.

1. Trochas Mineralizadas

Para dividir áreas boscosas en cuarterones de 50 a 100 ha, con este tipo de trocha es posible apagar el fuego y su ancho varia de 4 a 6 m.

2. Caminos contra incendios Forestales.

Tienen como objetivo el acceso para combatir los incendios forestales de acuerdo a las características de los recursos y medios a transitar, el ancho será de 4 m.

3. Línea de defensa: Cortafuegos contruidos durante el incendio para facilitar su combate:

Sus características varían, así como sus medidas acorde a las características del terreno y la velocidad de propagación

9. Barreras interiores: *Faja mineralizada de 4 a 6 m, que se construyen a ambos lados de caminos secundarios y terraplenes interbosques, y compartimentar bosques que su superficie oscila entre 100 y 400 ha*

4.4.6.1. Medidas preventivas para prevenir y combatir los incendios forestales

- La creación de los planes contra incendios forestales, clasificación de las áreas boscosas en clases de peligrosidad de incendios.
- Construcción y mantenimientos de trochas
- Fajas verdes y Construcción de los depósitos de agua.

- ➡ Construcción de los caminos asignados a la prevención de los incendios y accesos a los depósitos de agua y Acondicionamiento de las zonas de descanso y áreas para fumar.

4.4.7. Áreas Inforestales

Son Inforestales las áreas inapropiadas para los cultivos forestales (asomos rocosos, cárcavas, ciénagas, superficies acuosas) o que, por su uso, en ellas no se pueden desarrollar cultivos forestales (viveros, instalaciones, tendidos eléctricos, viales, pastos, cultivos agrícolas) en la UBPC existen 107.41 ha que representa el 15 % del área total, en el cual se encuentran 0.5 ha en la que se asienta la lechería de nuevo tipo perteneciente a la entidad, 0.35 ha de un vivero forestal que se planifica construir, 9.31 ha dado en usufructo para la producción de cultivos barios y 0.74 de siembra de pastos y forrajes el resto son pastizales.

4.4.8. Edad de corta final

Se considera edad de corta final a la edad mínima que han de tener los rodales que están actos para la tala, teniendo en cuenta los objetivos a los cuales se destinan, así como el rendimiento de las especies maderables que lo conforman.

Para su determinación hay que considerar el surtido que se desea obtener, el crecimiento de la especie, incremento medio anual, calidad del sitio y las necesidades de la economía nacional.

Para una mejor organización de los manejos y atendiendo a la rapidez de crecimiento y al tiempo necesario para llegar a producir los surtidos deseados, los bosques se dividen en clases de edad y grupos de edad. El crecimiento, estructura, composición de la edad de los bosques son factores determinantes en la definición de la edad de corta final como elemento de la base económica de la UBPC. En dependencia de las clases de edad, los bosques se dividen en grupos de edad, siendo: Brinzal, latizal, fustal adulto y maduro, cada uno representa una etapa de la vida de los árboles con características y tendencias específicas que determinan entre otros aspectos el tipo e intensidad del manejo a ejecutar. Por su edad, los bosques se dividen en diferentes clases, para las especies maderables

la edad de corta final hasta 21 años, se establecen clases de edad con rangos de 5 años y para la edad de corta mayores (31,41,51) los rangos son de 10 años.

Los rodales que se encuentran en el grupo de edad maduro o que pasan al mismo en el decenio que comprende el proyecto, son incluidos en la corta principal, en otros casos, debido al mal estado de nuestros bosques, en que los fustales adultos y latízales se aproximan a la edad de los anteriores y que estén representados en un por ciento apreciable, parte de estos o en su totalidad también son considerados. Aunque esta UBPC no tiene bosques con características para el aprovechamiento forestal para las industrias; hemos hecho las referencias anteriores para que les sirva de capacitación a los miembros de la dirección y a los trabajadores de forma general en las nuevas tareas que enfrentarán en tal sentido.

4.4.8.1. Ciclo de Corta

Los ciclos de corta utilizados en la actividad forestal son:

Brinzal: de 1-10 años; Latizal: De 11-15 Años; Fustal Adulto: de 16- 20 Años

Fustal Maduro: de 21

4.4.8.2. Actividades de Aprovechamiento

En este caso las actividades de aprovechamiento serán limitadas, ya que la categoría de bosque que predomina es Protector de Agua y Suelos y la Ley Forestal No 85 ARTICULO 19 establece los siguientes: Los Bosques Protectores de las Aguas y los Suelos son los situados en las cabeceras de las cuencas hidrográficas, las fajas forestales de las zonas de protección de embalses, ríos y arroyos, así como todos los situados en pendientes mayores del 45% o en zonas susceptibles al desarrollo de la erosión hídrica o eólica; los que evitan la erosión de los suelos y contribuyen a su rehabilitación. El ancho de las fajas forestales de las zonas de protección de embalses y cauces fluviales será establecido conjuntamente por el Ministerio de la Agricultura y las entidades que correspondan. En estos bosques se admiten talas de explotación selectiva individual o en grupos

y talas totales en franjas. Los manejos silvícolas tendrán como fin principal fortalecer su papel como protectores de los suelos y las aguas.

Por otra parte, los bosques que aquí existen en sus mayorías se encuentran en clase de calidad de regular a mala y en suelos esqueléticos, por lo que recomendamos que se preste la mayor atención posible en su protección y conservación para el futuro manejo de la regeneración natural que es el manejo que más se recomienda en las mayorías de sus áreas por las condiciones edafo climáticas que aquí existen.

4.4.8.3. Actividades de pre- aprovechamiento

Objetivo: Los trabajos preparatorios se realizan antes de iniciar el aprovechamiento del área de tala con el objetivo de crear las condiciones necesarias para el cumplimiento exitoso de los trabajos básicos. Sus objetivos son garantizar la máxima efectividad en la utilización de las máquinas y mecanismos, incrementos de la productividad del trabajo y crear las condiciones para asegurar un trabajo sin riesgo en el área de tala y los acopiaderos. Los trabajos preparatorios, básicos y complementarios, se ejecutan acorde con las cartas tecnológicas aprobadas al efecto por el Servicio Estatal municipal correspondiente.

4.4.8.4. Actividades de post Aprovechamiento

En el esquema es obligatorio reflejar los manejos posteriores a la tala con la finalidad de restaurar al máximo posible las condiciones existentes previas a la tala. Entre estas actividades pueden encontrarse:

Reforestación artificial o por regeneración natural; Talas sanitarias y podas
Medidas antierosivas; Mantenimiento, reconstrucción o reforestación de caminos; Medidas contra incendios; Disposición de los residuos; Otras.

4.4.9. Orden de ejecución de los trabajos de aprovechamiento

Existen unas series de parámetros a tener en cuenta en los trabajos de aprovechamientos forestal que no relacionaremos ya que, en esta UBPC, no existen bosques de importancia económica para estos fines

4.4.9.1. Red general de caminos

La dirección de la entidad se encuentra ubicada en el km 12 ¹/₂ de la carretera Palenque-Bernardo, pero su patrimonio se ubica a unos 6.47 km de la entidad, cuenta con los caminos siguientes tabla 4.11:

Tabla 4.11. Categorías de la red de caminos

| Categoría | Longitud (Km) | Estado |
|-------------|---------------|---------|
| Principal | 5 | regular |
| Secundario | 12 | malo |
| Vía de saca | - | - |

Teniendo en cuenta la existencia de la red caminera, el estado en que se encuentra y el nivel de actividades que se desea realizar es necesario restablecer y reconfigurar una nueva red caminera que responda a las necesidades que se pretenden plasmar por lo tanto proponemos lo siguiente: Se realizará un mantenimiento de 3.0 km de camino secundario al mes y 1.0 km de construcción, valorando los medios disponibles y la fuerza de trabajo requerida, recordar que se priorizará las vías de accesos a las áreas de mayor intervención, dígase (plantación).

4.4.10. Comercialización e Industrialización de la madera

Estos bosques se clasifican de conservación con el objetivo de conservar la flora y la fauna silvestre, a pesar de que se pueden realizar talas de aprovechamiento, normadas según Ley Forestal, observando el nivel de degradación y el grado de infestación en partes del patrimonio, por especies invasoras, se recomienda trabajar principalmente restableciendo y renovando las áreas progresivamente, aprovechando y eliminando acto seguido la especie invasora, en este caso la aroma especies con excelentes cualidades caloríficas para la producción de carbón vegetal con el fin de exportar.

4.4.11. Productos Forestales No Maderables del Bosque

Productos forestales no maderables: todos los productos vegetales y animales, así como los bienes y servicios derivados de los bosques, de otras tierras forestales y de los árboles fuera del bosque, excluyendo la madera.

Por la importancia y los volúmenes que ocupan los productos forestales no maderables (PFNM), reporta más ganancia y beneficios ecológicos que el producto neto de la venta de maderas, es que actualmente están tomando más valor a nivel mundial en el uso integral de los bosques. Cuba ha comenzado la explotación de estos con esta óptica y busca nuevos rumbos dentro de la misma que le permitan aumentar el rendimiento del bosque y nuevas vías de productos exportables; la UBPC debe abrirse paso en este renglón tan importante e insertarse en esta política; los productos forestales no maderables (PFNM) que más se deben explotar en la entidad son: la apicultura, como principal vía de acceso a la entrada de moneda libremente convertible a la entidad a través de la comercialización de miel, a la que se puede aspirar a la producción de miel ecológica, producto altamente cotizado en el mercado internacional. Otras de las potencialidades están en la recolección de frutos y raíces, así como también la recolección de semillas de especies forestales.

4.5. Modelos matemáticos de mejor ajuste que prediga el potencial de Biomasa forestal para la producción de carbón vegetal en la UBPC Rio Frio.

4.5.1. Matriz de correlación entre las variables

La base para la estimación de todas las relaciones de regresión es la correlación.

Por esta razón para poder determinar relaciones funcionales entre dos o más variables es necesario conocer a través del coeficiente de correlación si estas tienen algún grado de asociación o relación. Este coeficiente se encuentra dentro del rango de 1 a -1 y a medida que se encuentra más próximo a estos valores (Sotolongo, 2008). Para determinar el grado de relación entre las variables empleadas y sus transformaciones en la estimación de la biomasa se construyó la matriz de correlación para cada variable dependiente (BFV y BRV) con las variables independientes (D1.30, Db, H).

Con los datos de las 25 parcelas de muestra que se seleccionaron y cubicaron de los árboles y se midieron las variables con las cuales se realizó la matriz de correlación de variables para la biomasa del follaje verde (BFV) como variable dependiente respecto a las variables independientes: Diámetro a 1.30, diámetro de la base y la altura total (D1.30, Db, H), donde se observa que la variable que más fuerte correlaciona con la biomasa del follaje verde es el diámetros a 1.30 siendo esta una correlación muy fuerte tabla 4.12, este valor coincide con (Leckoundzou, 2015) y (Lao, 2018) que la relación más fuerte fue con el diámetro a 1.30 para el género *pinus*.

En la tabla 4.13 se encuentran los resultados de la bondad de ajuste y las capacidades predictivas de los modelos que mejores resultados arrojaron, algunos modelos se ensayaron con varias variables donde el modelo que mejores resultados obtuvo fue un modelo polinómico de tercer grado, (Lores, 2012) plantea que estos modelos son los que mejores resultados obtienen para análisis de perfil de fuste y cálculo de biomasa, estos resultados coinciden con (Lao, 2018). De forma general este es el modelo que se seleccionó para el cálculo del potencial de biomasa para el grupo de especies en la UBPC Rio Frio.

Tabla 4.12. Correlación de Pearson para la biomasa del follaje verde (BFV) como variable dependiente.

| | | BFV | D1.30 | Db | H |
|-------|------------------------|-----|----------|-------|----------|
| BFV | Correlación de Pearson | 1 | ,981(**) | -,150 | -,325 |
| | Sig. (bilateral) | | ,000 | ,474 | ,113 |
| | N | | 25 | 25 | 25 |
| D1.30 | Correlación de Pearson | | 1 | -,199 | -,324 |
| | Sig. (bilateral) | | | ,340 | ,114 |
| | N | | | 25 | 25 |
| Db | Correlación de Pearson | | | 1 | ,687(**) |
| | Sig. (bilateral) | | | | ,000 |
| | N | | | | 25 |
| H | Correlación de Pearson | | | | 1 |
| | Sig. (bilateral) | | | | |
| | N | | | | 25 |

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Tabla 4.13. Bondad de ajuste y capacidades Predictivas de la biomasa forestal.

| N° de Modelo | Modelos | Variables Dependiente | Variables independientes | Biomasa para tres especies | | | | |
|--------------|-------------|-----------------------|--------------------------|----------------------------|----------------|---------|------------|----------|
| | | | | Bondad de ajuste | | | Validación | |
| | | | | R | R ² | Sx | RECM | DA |
| 1 | Lineal | BF | D 1.30 | 0,981 | 0,962 | 0,51490 | 0,254 | 0,504061 |
| 2 | Lineal | BF | D1.30; H | 0,981 | 0,962 | 0,52601 | 0,254 | 0,503614 |
| 3 | Logarítmico | LnBF | D 1.30 | 0,975 | 0,950 | 0,02311 | 3,697 | 1,922817 |
| 4 | Logarítmico | LnBF | LnD 1.30 | 0,979 | 0,958 | 0,02133 | 0,0004 | 0,020881 |
| 5 | Logarítmico | LnBF | D1.30; H | 0,975 | 0,950 | 0,02363 | 0,001 | 0,022622 |
| 6 | Logarítmico | LnBF | LnD 1.30;LnH | 0,979 | 0,958 | 0,02180 | 0,0004 | 0,020871 |
| 7 | Cuadrático | BF | D 1.30 | 0,982 | 0,963 | 0,518 | 0,246 | 0,495497 |
| 8 | Cúbico | BF | D 1.30 | 0,982 | 0,963 | 0,517 | 0,245 | 0,494890 |
| 9 | Cuadrático | LnBF | D 1.30 | 0,980 | 0,960 | 0,021 | 0,0004 | 0,020240 |
| 10 | Cúbico | LnBF | D 1.30 | 0,980 | 0,960 | 0,021 | 0,0004 | 0,020182 |
| 11 | Cuadrático | LnBF | LnD 1.30 | 0,980 | 0,959 | 0,021 | 0,0004 | 0,020399 |
| 12 | Cúbico | LnBF | LnD 1.30 | 0,980 | 0,960 | 0,021 | 0,0004 | 0,020389 |
| 13 | Cuadrático | LnBF | LnD 1.30 | 0,980 | 0,959 | 0,021 | 0,0004 | 0,020399 |
| 14 | Cúbico | LnBF | LnD 1.30 | 0,980 | 0,960 | 0,021 | 0,0004 | 0,020389 |

Conclusiones

1. El área de estudio quedó organizada espacialmente en dos lotes y 23 rodales con una superficie total 3210,1 hectáreas.
2. En el manejo simplificado las especies perspectivas para la producción de carbón bejetal fueron *Dichrostachis cinerea*, *Musa sp* y *Ebestigma cubensis*.
3. La ecuación de mejor ajuste para el cálculo de biomasa forestal para el grupo de especies fue el modelo Polinómico de tercer grado $BF = -19,085 + (1,730 * D1.30) + (48,647 * (D1.30)^2) + (-0,0001 * (D1.30)^3)$.

Recomendaciones

A la UBPC Rio frio

Que aproveche estas especies según el plan de manejo para la producción de carbón vegetal según las estimaciones arrojadas por el modelo propuesto,

A Universidad de Guantánamo

Que utilicé estos resultados como consultas en sus planes de estudios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aldana, E. 2010. Medición Forestal. Editorial: Félix Varela. La Habana. 265 p.
2. Aldana, E. 2017. Ordenación de Montes. Texto para la carrera de Ingeniería Forestal. Editorial: Félix Varela. La Habana. 371 p.
3. Aldana, E., Frías, M., Peñalver, A. y Ares, A.E., 1994. **Manual de Dasometría**. Editorial Félix Varela, La Habana, 183 p.
4. Aldana, E.; Puentes, M. y Romero, J.L. 2006. Proyecto de organización y desarrollo de la Economía Forestal en la Empresa Forestal Macurije para el decenio 2006-2015.
5. Álvarez, P. y Varona, J. 1988. Silvicultura. Editorial: Pueblo y Educación. La Habana. 354 p.
6. Amateis, R. L. y Burkhart, H. E. 1987. Cubic-foot volume equations for Loblolly Pine trees in Cutover, Site-Prepared Plantations. SJAF 11 (4): 190-192.
7. Anucchin, N. P. 1970. Forest Mensuration (Lesnaya taksasiya). Second Edition (1960) Israel program for Scientific Translation. Jerusalén. 454 p.
8. Barrero, H. 2010. Modelo integral de crecimiento, perfil del fuste, grosor de corteza y densidad de la madera para *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari. Estudio de caso EFI Macurije. Pinar del Río. 102 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). UPR.
9. Barrio, M.; Sixto, H.; Cañellas, I. y González, F. 2007. Sistema de cubicación con clasificación de productos para plantaciones de *Populus x euramericana* (Dode) Guinier cv. 'I-214' en la meseta norte y centro de España. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 16 (1): 65-75. Disponible en <http://www.inia.es/srf>. Consulta: 24/11/2018.

10. Caballero, M. 1976. Diseños de inventarios. Actas de curso Finlandia de entrenamiento en inventario forestal. FAO. Roma. 452 p.
11. Carron, L.T. 1974. An outline of forest mensuration with special reference to Australia. Australian National University. Canberra Press. 224 p.
12. Castañeda, F. 2004. Los Criterios e Indicadores y la Ordenación Forestal Sostenible: Logros y promesas. Conferencia Magistral del Tercer Simposio Internacional Sobre Manejo Sostenible de los Recursos Forestales (SIMFOR) del 21 al 23 de abril. Pinar del Río.
13. F.A.O. 1981. El Desafío de la Ordenación Forestal sostenible. Perspectivas de la Silvicultura mundial. Roma. 10 p.
14. FAO, 1994. Studies on the volume and yield of tropical forest stands. 112 p.
15. FAO. 1995. Sistemas de realización de la ordenación Forestal Sostenible. Roma, Italia. 292 p.
16. FAO. 1998. Directrices para la Evaluación de los recursos Forestales en los Países Tropicales y Subtropicales, FRA. 2000. Documento 1 y 2. Roma. Italia.
17. FAO. 2002. Evaluación de los recursos forestales 2000. Capítulo 2 Volumen de madera y biomasa leñosa. Informe principal. Ediciones FAO. Roma. 468 p.
18. Fernández, A. y Rodríguez, P. 2010. Metodología de cubicación de árboles en pie. Disponible en: <http://www.cesefor.com/cubifor> Consulta: 6/06/2010
19. Fernández, E. 2013. Diseño de inventario forestal continuo para la ordenación sostenible de los bosques pluvisilvas de montaña en la Empresa Forestal Integral de Baracoa, Guantánamo. Tesis en opción al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Guantánamo. Cuba. 55 h.
20. Ferrere, P.; Fassola, H.; Fahler, J. y Crechi, E. 2001. Funciones de volúmenes totales, parciales y de forma en *Pinus caribaea* var. *caribaea*. Montecarlo, EEA Montecarlo. Informe Técnico N° 26.

21. García, O. 2010. El enfoque del espacio de estados en modelos de crecimiento. Universidad Austral de Chile.
22. Henry, P. P. 2002. Perfeccionamiento de la cubicación de la madera en bolo de las principales especies de interés económico de la Ciénaga de Zapata. Cuba. 218 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Ecológicas.) Universidad de Pinar del Rio.
23. Husch, B. 1971. Planificación de un inventario forestal. FAO. Roma. 135 p.
24. INDAF, (Instituto Nacional de Desarrollo y Aprovechamiento Forestal). 1977. Instrucción para la ejecución de la ordenación del patrimonio forestal de la Republica de Cuba. 151 p.
25. Jiménez, W. M. 1996. Composición y estructura de un Robledal y pautas silviculturales para su manejo. Bosques tropicales montanos. Revista forestal Centroamericana. (17): 38 – 46.
26. Kometter, R. 1996. Evaluación y manejo de los recursos forestales de la Región Continental de Guine Ecuatorial. Proyecto EQG 87/005. FAO. Italia. 61 p.
27. Lamprecht, H. 1993. Silviculture in the Tropical Natural forest. En. Tropical Forestry Handbook. Tomo I. Springer – Verlag. Berlin.
28. Leslie, A. J. 1995. Ordenación sostenible de los bosques húmedos tropicales para la producción de madera. En: Estudio FAO, Roma, No. (122). 292 p.
29. Ley del Medio Ambiente. 1997. Ley No. 81. Gaceta oficial de la Republica de Cuba. 37 p.
30. Ley forestal de la Republica de Cuba. 1998. Ley No.85. Gaceta oficial de la Republica de Cuba. 59 p.
31. Loetsch, F.; Zöhrer, F. y Haller, K. E. 1973. Forest Inventory. 2 ed., Munich. BLV Verlagsgesellschaft München. Vol. II 469 p.
32. Lores, R. 2017. Aplicación del método de grupos densos espaciados para la rehabilitación de la estructura y composición florística del bosque pluvisilva de baja altitud sobre complejo metamórfico en la Cuenca

Hidrográfica del Toa. (Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Forestal). Universidad de Guantánamo. Cuba. 45h.

33. Lores, Y. 2012. Tablas dendrométricas y dasométricas de *Calophyllum antillanum* Britton, *Carapa guianensis* Aubl. y *Andira inermis* Sw. en bosques pluvisilvas de montaña de Baracoa, provincia Guantánamo. 99 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río.

Luperón, Y. 2018. Reordenamiento agroforestal del lado derecho de la finca los lirios, universidad guantánamo. Tesis en opción al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Guantánamo. 40 h.

34. Machado, G. 2002. Diseño de Inventario Forestal continuo para la ordenación sostenible de los bosques pluvisilvas de montañas en Guantánamo. 102 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río.
35. Madrigal, A. 1994. Ordenación de montes arbolados. Colección Técnica, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (ICONA). España. 375 p.
36. Malleux, O. J. 1982. Inventarios forestales en bosques tropicales. Lima., 440 p.
37. Malleux, O. J. 1982. Inventarios forestales en bosques tropicales. Lima., 440 p.
38. Mejía, V. O. 1996. Aplicación y evaluación de eficiencia inicial y los costos de dos tratamientos Silviculturales de un bosque muy húmedo tropical pantanoso en Limón. Costa Rica. CATIE. Turrialba.

Michelson, E. 2018. Ordenación de los recursos forestales maderables de la finca Los Lirios. Tesis en opción al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Guantánamo. 40 h.

39. Moreno, D. A. 2004. Desarrollo de Criterios e Indicadores para evaluar la Sustentabilidad del SIMANIN. Conferencia Magistral del Tercer

Simposio Internacional Sobre Manejo Sostenible de los Recursos Forestales (SIMFOR 2004) 21 al 23 de abril del 2004, Pinar del Río, Cuba.

40. Osorio, Y. 2013. Estructura y diversidad de la flora leñosa en un bosque pluvisilva submontano, sector Cupeyal del Norte, Parque Nacional Alejandro de Humboldt (PNAH). Tesis (en opción al título académico de Master en Ciencias Forestales) Universidad de Pinar del Río. 39 p.
41. Palenzuela, L. 2005. Metodología simplificada para la elaboración de planes manejo en bosques naturales y plantaciones. La Habana. Cuba. 44 h.
42. Pardé, J. y Bouchonh, J, 1994. Dasometría. 2da Reimpresión. Versión española. Editorial Paraninfo. Madrid. 382 p.
43. Pardé, J. y Bouchonh, J, 1994. Dasometría. 2da Reimpresión. Versión española. Editorial Paraninfo. Madrid. 382 p.
44. Paul, F . 1965. Der zyklus des forstlichen Produktionsprozesses und sein Einfluß auf die Wirkungsweise Ekonomischer Gesetze in der Foeswirtschaft. TU Dresden, Fak. F. Forestwissenschaft Tharandt, Habilitationsschrift. 228 p.
45. Pellico, S. y Brena, A.D. 1997. Inventario Forestal. Datos Internacionales de cámara brasileira do libro, Volumen I. Curitiba. 316 p.
46. Prieto, A y López Quero, M.1993. Manual de Ordenación Forestal. Verción española el manual D´amenagement. Editorial Paraninfo S. A. 261 p.
47. Prieto, A. Hernando, A. 1995. Tarifas de cubicación e inventarios por ordenador. Editorial: Fundación conde del Valle de Salazar, España. 274 p.
48. Prodan, M.; Peters, R.; Cox, F. y Real, P. 1997. Mensura Forestal. Serie de investigación y educación en desarrollo sostenible. San José. 586 p
49. Rodríguez, P. E. 2009. Proyecto de ordenación y desarrollo de la Economía Forestal en la Empresa Forestal Integral Baracoa año (2008 – 2017) 56 p.

50. Rodríguez, P. E. 2009. Proyecto de ordenación y desarrollo de la Economía Forestal en la Empresa Forestal Integral Baracoa año (2008 – 2017) 56 p.
51. Samek, V. 1974. Elementos de silvicultura de los pinares. Academia de Ciencias de Cuba. La Habana 102 p.
52. Sanchez, J. 2015. Acciones silvícolas para la rehabilitación del bosque pluvisilva de baja altitud sobre complejo metamórfico del sector quibiján-naranjal del toa. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en Ciencias Forestales. Pinar del Rio. Cuba. 101 h.
- Solis, Y. 2018. Reordenamiento agrofrestal del lado izquierdo de la finca los lirios. universidad de guantánamo. Tesis en opción al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Guantánamo. 38 h.
53. Suárez, M. T; Palenzuela, L. y Roldán, P.P. 2002. Manual para la Ejecución de la Ordenación de Montes en Cuba. Reelaborado basándose en el trabajo original de Alexander Eremeev- asesor internacional del equipo técnico de Ordenación Forestal. 103 p.
54. Suárez, M. T; Palenzuela, L. y Roldán, P.P. 2002. Manual para la Ejecución de la Ordenación de Montes en Cuba. Reelaborado basándose en el trabajo original de Alexander Eremeev- asesor internacional del equipo técnico de Ordenación Forestal. 103 p.
55. Thren, M. 1993. Dasometría. Serie Técnica Forestal. Proyecto UNSE/GTZ. Universidad Nacional de Santiago de Estero. Argentina. Vol. I. 182 p.
56. Utria, I. 2018. Implementacion del metodo grupo denso espaciado para la rehabilitacion del bosque pluvisilva en el sector “la planta-cedrones” despues del paso del huracan Mathew. Memoria escrita presentada en opción al título académico de máster en ciencias forestales. Universidad de Guantánamo. Cuba. 70 h.

57. Villanueva, J. A. 1985. El inventario forestal, una valiosa técnica para el mejor uso, conservación y disfrute de la naturaleza. Montes, España. (7): 38 – 42.
58. Villanueva, J. A. 1985. El inventario forestal, una valiosa técnica para el mejor uso, conservación y disfrute de la naturaleza. Montes, España. (7): 38 – 42.
59. Zöhler, F. 1980. Forstinventur – ein Leitfaden für Studium und Praxis. Verlag Paul Parey. Hamburg und Berlin. 207 p.