

CAPÍTULO I
MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 IMPORTANCIA ECOLÓGICA DE LOS BOSQUES

Los bosques y las personas están interconectados, y ha sido así desde tiempos inmemoriales. Siempre hemos tenido una especial relación basada en la supervivencia. Era una delicada cadena de existencia que antes tratábamos con respeto y aprecio. Pero las personas empezaron a trastornar este equilibrio. Empezaron a ver el bosque no como parte de ellos, sino como algo a ser conquistado. Usaron los bosques, que aparentaban sin límites, cortando millones de árboles. Pero ahora nos estamos dando cuenta que los bosques sí tienen límites y que ya es tiempo de regresar al anterior equilibrio.

Se debe recordar que todas las formas de vida dependen directa o indirectamente del bosque, como afirma Odum (1995), todos los organismos vivientes dependen de los bosques. En un viejo árbol del bosque pueden encontrarse hasta 1500 invertebrados viviendo en él. Algunas de estas especies pueden ser claves para el desciframiento de misterios científicos y cada planta y cada animal es único y muchos de estos animales dependen enteramente de los bosques.

Todavía hay muchas cosas que se desconoce de los ecosistemas forestales pero cada día hay nuevos descubrimientos, ya que cada especie del bosque, tiene un material genético único que ha estado evolucionando durante miles de años. La protección de los bosques no significa únicamente salvar muchos árboles; es preservar un proceso vital que se inició hace millones de años.

Los bosques protegen las aguas y regulan el clima, cuando llueve en el bosque, las hojas permiten que el agua gotee lentamente sobre el suelo; si se corta el bosque, la lluvia cae fuertemente sobre el suelo desprotegido y sus partículas son arrastradas hacia las corrientes, ensuciando sus aguas. Esto puede provocar inundaciones, además, sin árboles, el agua se evapora rápidamente, cambiando el clima de los bosques próximos.

Sin los bosques, se tendría mucho menos oxígeno disponible: más de 2000 kg por hectárea por año (Schlegel, 2001). Esto es debido a que los árboles (y todas las plantas verdes) usan un proceso llamado fotosíntesis, durante el cual toman dióxido de carbono y como un subproducto, liberan oxígeno. Las plantas "respiran" dióxido de carbono, como nosotros respiramos oxígeno. Ha habido un equilibrio entre especies que eliminan dióxido de carbono y toman oxígeno, y especies que toman dióxido de carbono y exhalan oxígeno. Este equilibrio ha estado siendo trastornado desde el siglo XIX. Los combustibles fósiles, como el petróleo, producen dióxido de carbono cuando son quemados por lo que el nivel del dióxido ha estado aumentando dramáticamente desde entonces. Desgraciadamente, este gas en grandes cantidades, actúa como un aislante y mantiene el calor cerca de la superficie de la Tierra; esto es lo que se llama el "efecto invernadero".

En resumen, la importancia ecológica de los bosques juega un papel importante como proveedora de servicios ambientales, entendiéndose como tal, al conjunto de condiciones y procesos naturales que la población puede utilizar y que ofrecen los bosques por su simple existencia (Wende, 2001), como ser:

- Abastecimiento de agua.
- Fijación y secuestro de carbono.
- Protección contra fuertes vientos.
- Disminución de los cambios climáticos.
- Para muchas poblaciones originarias, el bosque representa el ambiente indispensable para poder vivir, les ofrece alimentos, frutas, material de construcción de sus viviendas y lugares sagrados.

1.2 SELVA TUCUMANO-BOLIVIANA Y SUS CARACTERÍSTICAS.-

Este bosque se extiende en forma de estrecha faja al pie y por las laderas y montañas bajas. El clima de esta región es cálido y húmedo, con lluvias principalmente estivales y heladas durante el invierno. Presenta elevados niveles de biodiversidad con importantes variaciones altitudinales motivadas por fuertes variaciones climáticas

con los cambios en altitud. Soportan precipitaciones muy intensas durante el verano y un periodo seco durante el invierno y primavera. Este ecosistema presenta abundantes y variados recursos madereros y son una protección importante de las laderas montañosas durante las intensas lluvias estivales (Brown, 2009).

La selva tucumano-boliviana se extiende en un rango altitudinal entre 400 y 3000 m.s.n.m y en un rango de precipitaciones de 900 a más de 2000 mm anuales. Los bosques secundarios originados en áreas abandonadas de agricultura y ganadería representan la zona de transición entre bosques naturales y áreas completamente transformadas. Estos bosques son áreas de amortiguamiento y de valor recreativo, pero también pueden ser productores de madera y captadores de carbono atmosférico. Dependiendo de la escala del paisaje estos bosques interactúan con los factores microambientales asociados a la topografía y a los disturbios. De hecho, el gradiente altitudinal es importante para un manejo racional del bosque (Grau, 2002).

La selva tucumano-boliviana a la cual pertenece la zona de estudio, presenta bosques nublados montanos medios que varían desde semidecíduos hasta semi siempreverdes con una predominancia de las familias Myrtaceae y Lauraceae. En el contexto biogeográfico se extiende desde Venezuela hasta la parte Noreste de la Argentina en un rango altitudinal que varía de 500 hasta aproximadamente 3500 m.s.n.m. (González *et al.* 1999). Además, está fuertemente influenciado por las temperaturas frescas y frías en el invierno, con niveles de humedad relativamente altos provenientes de la nieve y las lluvias, presenta una topografía pronunciada y extensa, con algunas discontinuidades desde Santa Cruz (Bolivia) hasta el Sur de Catamarca y Tucumán (Argentina) en las siguientes regiones: Santa Cruz, Chuquisaca, Tarija en Bolivia y Salta, Jujuy, Tucumán y Catamarca en la Argentina.

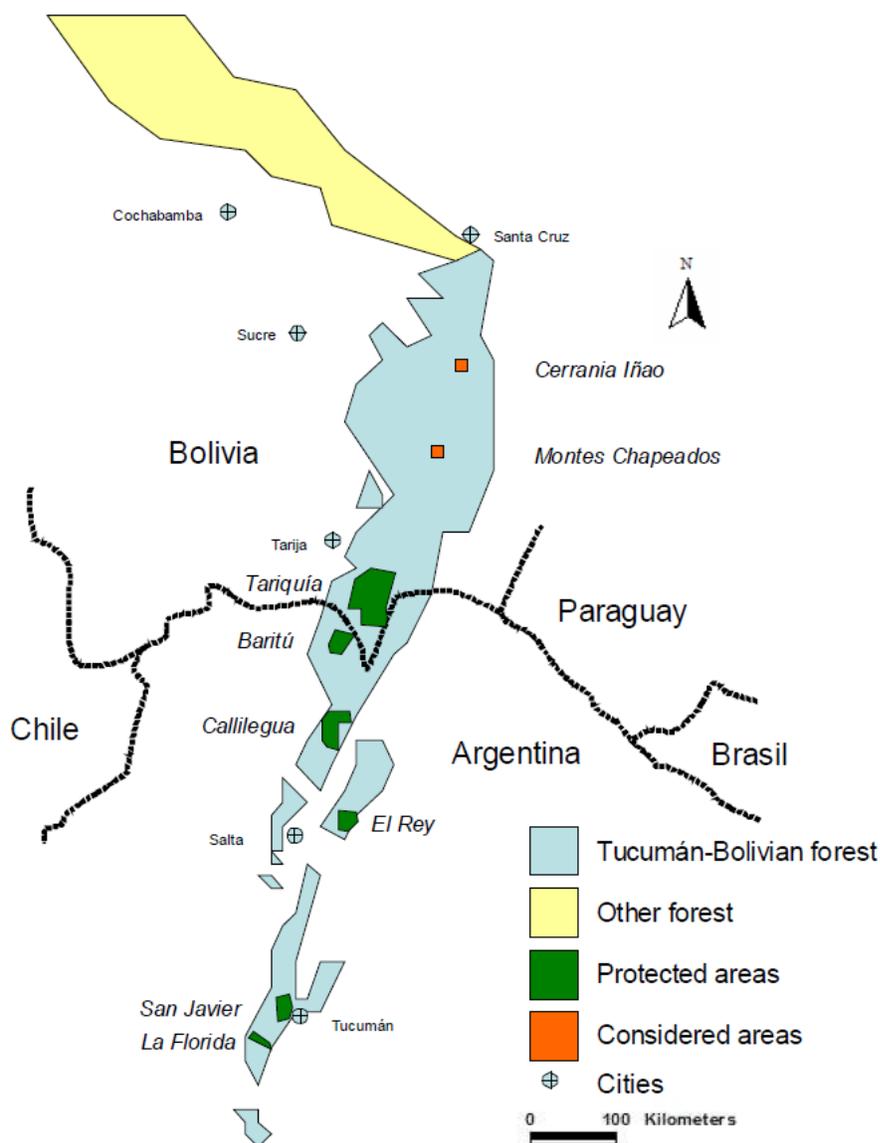


Figura N° 1. Distribución de la Selva Tucumano Boliviana. Fuente: González *et al.* (1999).

El área total es de aproximadamente 50000 km². Éste es un área con una gran diversidad biológica y de importancia para los reservorios genéticos, además tiene una importante función como fuentes de agua, tal como se observa en la Figura 1 (González *et al.* 1999). En las cercanías de Santa Cruz el bosque es transicional con más bosque tropical y montano húmedo. Esta es la subregión más al Sur de los

bosques de los Yungas, el bosque húmedo y montano formando una banda continua a lo largo del Este de los Andes, desde Venezuela hasta el Norte de la Argentina. Mientras que en la Argentina la selva tucumano-boliviana está siendo relativamente estudiado, en Bolivia se conoce poco acerca de su composición y extensión total (Mittermeier y Thomsen, 1997).

Esta región se divide en los Yungas propiamente dicho y en los Yungas en transición. El primero corresponde a áreas tradicionalmente localizadas dentro los Yungas, mientras que el segundo incluye áreas más secas situados en los ecotonos con el Chaco y el Chaco Serrano. Si bien han existido esfuerzos de conservación, es importante plantear una estrategia de acción que garantice la preservación de este ecosistema a largo plazo (Brown *et al.* 2002). En lo que corresponde a la parte de Bolivia, este bosque recién está siendo conocido con mayor detalle en los últimos años. De hecho, en algunos estudios se ha encontrado la presencia de 31 familias botánicas, 47 géneros y 57 especies, y un área basal de 29.4 m²/ha. La riqueza es comparada con la de los bosques secos de Madidi y superiores a la de la selva tucumano-boliviana en el lado argentino (Zenteno y López, 2010).

En la parte Sur de la selva tucumano-boliviana una menor riqueza de especies puede ser observada, principalmente en la vegetación maderable y en las epifitas. Las razones para la disminución son el aislamiento geográfico y las temperaturas bajas como consecuencia de que las latitudes aumentan. Los tipos de utilización del bosque varían de acuerdo a la posición geográfica, topografía, accesibilidad, distancia a las áreas pobladas y el valor de los recursos accesibles. El tipo ordinario de utilización en la zona Norte (Parte Norte de Argentina y Bolivia) es la extracción de productos forestales, ganadería y agricultura migratoria. Las regiones más bajas (400-700/900 m.s.n.m.) de la selva Tucumano Boliviana es una de las áreas cubiertas de bosque con el más alto grado de transformación y degradación y pertenecen a las áreas con la más alta prioridad de conservación. En la zona Sur, la práctica de migración es menos utilizada ya que las actividades importantes son la extracción de productos forestales y la extensiva ganadería. Finalmente, alrededor del 10% de la selva tucumano

boliviana está protegida a través de áreas protegidas en diferentes categorías (Gonzales *et al.* 1999).

En relación a los cambios estructurales en la selva tucumano-boliviana comparando las existencias y volúmenes totales y por grupos de especies según tipo de uso entre 1975 y 2000. Se tiene una reducción de volumen total por ha y una menor cantidad de árboles para la clase de DAP mayor a 40 cm para el año 2000, mientras que para los árboles con DAP menor a 40 cm., se observó un incremento en el número de individuos pero una reducción de volumen. El grupo de especies utilizadas actualmente presenta una brusca disminución de sus existencias en el periodo. El análisis de la estructura actual del bosque permite suponer que existe un menor grado de cobertura arbórea por la extracción de los árboles de mayores dimensiones Brouver *et al.* 2006.

1.2.1 PRODUCTIVIDAD DE LA SELVA TUCUMANO BOLIVIANA

En relación a la productividad en estos bosques, Tortorelli en la década de los años 60-70 señalaba que en la selva tucumano-boliviano del sector argentino se tenían existencias de 34.8 m³/ha para el cedro, 34.1 m³/ha para el nogal y 42.7 m³/ha para el pino del cerro. Para esa época gran parte de la región todavía contaba con importantes áreas sin explotación forestal y podían encontrarse rodales con predominancia de algunas especies que se denominaban cedrales, nogalares, lapachales sitios que fueron los primeros en ser talados. Algunos de estos árboles rendían 5-10 m³ de madera y alcanzaban un DAP de hasta 2 m. Asimismo, la selva tucumano-boliviana se dividía en: a) piso de baja montaña entre 300 y 800 m.s.n.m con la existencia de 150 individuos pertenecientes a 50 especies por hectárea para árboles con DAP mayor a 30 cm. Para el mismo piso entre 600 y 850 m.s.n.m se reportaba 180 individuos correspondientes a unas 60 especies distintas y b) piso de media montaña entre 850 y 1300 m.s.n.m donde el estrato arbóreo tenía 150 árboles con DAP mayores a 30 cm y una existencia promedio de 170 m³. Para el piso de alta montaña no da valores de densidad ni volumen.

Los bosques se explotaron en sucesivos aclareos sin respetar los tiempos de reposición hasta agotarlos completamente. De hecho, en el caso del cedro este inicialmente se cortaba con un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor de 60 cm y al final se terminan extrayendo los llamados trocillos de hasta 20 cm de DAP, con los cual se eliminaron los latizales que constituyen el futuro de los bosques. Este proceso de extracciones sucesivas duró, según los sitios y extensión del bosque entre 30-50 años, quedando la fisonomía del bosque totalmente agotada en especies de valor. En la Selva Montañosa la explotación fue muy selectiva, extrayéndose fundamentalmente el cedro. Los datos del inventario forestal de 1998 señalan una mayor densidad de individuos arbóreos (225), de los cuales un 62.8% corresponden a individuos con DAP inferiores a 30 cm y solamente 22.2% de individuos por hectárea con valor comercial (incluidas todas las clases diamétricas).

En relación al volumen maderable del total por hectárea un 78% (58.38 m³) corresponde al volumen de fuste de especies con DAP mayor a 40 cm, pero solamente un 24% (20.583 m³) del volumen anterior corresponden a especies comerciales donde el cedro tiene escasa participación. La regeneración forestal alcanza un total de 500 individuos incluidas todas las especies y alturas, de los cuales solamente un 31% corresponde a especies de valor comercial como lapacho amarillo, lanza blanca, nogal, cedro rosado y horco cebil. (Del Castillo *et al.* 2000).

En un estudio realizado por Ramos y Ponce (2011) en Río Conchas (afluente del Río Salado), reportan la densidad de las clases inferiores en 305 arb/ha, siendo 15 veces superior en comparación con la densidad en las clases diamétricas superiores con 22.7 arb/ha. Por lo tanto, en total se tiene 327.7 arb/ha, el cual es inferior al obtenido en 1 ha que alcanza 591 arb/ha en el lado argentino por Zenteno y López (2010).

1.3 ESTRUCTURA DEL BOSQUE

Según Donoso (1993), una definición aceptada de estructura de la vegetación es aquella de Dansereau (1957), quien indica que es la organización en el espacio de los individuos que forman un rodal y por extensión un tipo de vegetación de plantas. Existen diferentes interpretaciones en cuanto a los componentes de esta estructura; sin

embargo, desde el punto de vista forestal es conveniente seguir a Kershaw (1973), quien distingue tres componentes de estructura de la vegetación:

- a) Estructura vertical, que indica el ordenamiento de la vegetación en estratos.
- b) Estructura horizontal, que se refiere a la distribución espacial de los individuos y de las especies en el plano horizontal o superficie del rodal.
- c) Estructura cuantitativa, o abundancia de cada especie que se puede expresar de distintas maneras, por ejemplo, por medio de la densidad o simple conteo de las plantas del rodal, o mediante el rendimiento o producción de un rodal a través del peso seco del material vegetal.

1.3.1 ESTRUCTURA VERTICAL

Finegan (1993), define la estructura vertical del bosque como la distribución que presenta las masas foliares en el plano vertical, o las distribuciones cuantitativas de las variables medidas en el plano vertical, tal como la altura. La estructura vertical es la distribución de los organismos a lo alto del perfil del bosque, esa estructura responde a las características de las especies que la componen y a las condiciones microclimáticas presentes en las diferentes alturas del perfil. (Valerio y Salas, 1997).

En cambio, Valerio (1991), indica que a simple observación de un bosque o de una comunidad vegetal cualquiera, resalta en forma clara especialmente si es posible comparar dos comunidades distintas, la altura de las plantas como una característica diferencial. Distintas comunidades mostraran diferentes alturas de sus especies o individuos componentes, de modo que ellas se ordenaran, se estratificaran generalmente en dos o más estratos. Incluso las praderas están constituidas por diferentes especies ubicadas a distintas alturas; con mayor claridad es también así en un matorral.

El bosque más simple, como es una plantación con todos los árboles de aproximadamente del mismo tamaño, contienen por lo menos dos estratos, uno herbáceo al nivel del suelo y otro formado por el dosel superior de los árboles. Más común es que la estratificación sea más complicada y presente varios estratos, con

uno formado por musgos, hierbas y plántulas, otros constituidos por plantas jóvenes o brinzales y diferentes tipos de arbustos y finalmente otro constituido por árboles. Sin duda cada uno de estos estratos, se pueden subdividirse en dos o más, pudiéndose incluso a un continuo de estratos representados por distintas especies o distintos tipos de tolerancia de ellas a la sombra, como ocurre en los bosques tropicales.

La estructura vertical se representa gráficamente mediante diagramas conocidos como perfiles verticales del rodal o bosque. El perfil vertical consiste en una representación pictórica a escala de una faja angosta del rodal que debe ser representativa del bosque cuya estructura se quiere analizar. Puede ser más o menos detallado o exacto en función de la variabilidad y diversidad de la comunidad y de los objetivos del estudio. En bosques complejos, de varias especies y varios estratos, es recomendable usar un ancho de perfil de unos 50 a 60 metros, pero en bosques simples, se pueden usar anchos de 20 o 30 metros. Aunque el gráfico es en dos dimensiones, se debe considerar una profundidad de unos 6 a 8 metros, dependiendo del tamaño y espaciamiento de los árboles mayores. Para representar adecuadamente la estratificación del bosque se recomienda utilizar una cinta métrica para medir los distanciamientos y diámetros y las coberturas de las copas. Las alturas de los árboles y arbustos se representan en una escala vertical que sea proporcional con la escala horizontal; también se mide y representa la altura del fuste hasta el inicio de la copa (Ellenberg, 1974; Donoso, 1993).

Según Becerra (1971), el análisis de la expansión vertical indica la composición florística de los diferentes estratos del bosque en dirección vertical y sobre la importancia (abundancia, frecuencia, dominancia) de las diferentes especies en cada uno de ellos. Con esta finalidad es que se determina la posición sociológica de cada árbol; según que corresponda el estrato superior, medio, inferior y sotobosque.

De acuerdo a Lamprech (1990), la altura de los árboles está generalmente relacionada con el tamaño y el vigor que adquiere sus copas y ambas están también relacionadas con los diámetros que alcanzan los árboles. Esta característica de los árboles es muy dependiente de la calidad genética inherente de cada individuo, pero también de las

relaciones espaciales que él tiene con sus vecinos. El desarrollo de la copa y la altura de los árboles en un bosque permiten clasificar los árboles que indica su posición relativa dentro del dosel de las copas. A este respecto, Berrera (1971), propone un sistema útil para determinar la posición sociológica de acuerdo al estrato que ocupa una determinada especie:

- Árboles dominantes, son aquellos cuyas copas sobresalen ligeramente del dosel, de ese modo tienen sus copas bien iluminadas recibiendo luz por arriba y por todos los costados.
- Árboles codominantes, la copa recibe luz de arriba, pero tiene uno o dos lados en contacto con otras copas en los cuales no recibe luz directa.
- Árboles intermedios, la copa recibe luz directa solamente por arriba.
- Árboles suprimidos, la copa no recibe luz directa

1.3.2 ESTRUCTURA HORIZONTAL

Se entiende por estructura horizontal al arreglo espacial de los organismos, en este caso árboles. Este arreglo no es aleatorio, pero sigue modelos complejos que lo hacen ver como tal. En los bosques, este fenómeno es reflejado en la distribución de individuos por clase de diámetro. Algunas especies presentan una distribución de jota invertida. Otras no parecen presentar una tendencia identificable en su distribución debido a sus propias características.

Los factores que determinan la presencia de un árbol, de una especie y edad determinadas son (Hartshorn, 1980):

- Presencia de una semilla en el lugar y momento oportunos. Esto depende de: agentes polinizadores de la especie en el momento de floración y de diseminadores de frutos de la especie, animales, agua, viento, etc.
- Temperamento de la especie, es decir, el grado de exigencia de luz, propio de la especie en sus diferentes fases de desarrollo.

- Frecuencia de apertura de claros, una de las características propias del ecosistema que va a determinar la estructura poblacional de las especies demandantes de luz desde las primeras etapas de su vida.
- Tamaño del claro, extensión de la apertura por efecto de la caída de uno o varios árboles, que determina la cantidad y calidad de energía lumínica.
- Estrategia de escape de la especie, esto se refiere a la capacidad que presente para superar la amenaza de los depredadores y la presión de la competencia.

Para explicar la distribución espacial de las diferentes especies en el bosque hay que comprender la dinámica originada por la caída natural de los árboles. Este hecho genera los claros, que se produce de una serie de hechos que son desencadenados por la caída de un árbol, la apertura del dosel permite la entrada de luz directa hasta el suelo, la exposición del suelo mineral provocada por el levantamiento de raíces, la acumulación de materia orgánica en el lugar donde cae la copa y la presencia de diferentes intensidades de luz, dentro del área de influencia del impacto. (Valerio y Salas, 1988)

Por su parte Venegas, (2000), indica que las poblaciones forestales poseen una estructura concreta y funcionamiento ordenado de todos los individuos que componen el bosque y que estos a su vez en concordancia con grupos de individuos viven en armonía en un espacio determinado. El patrón espacial de plantas es una característica importante del bosque, por lo tanto es la propiedad más fundamental de cualquier tipo de organismo vivo. (Odum, 1995)

Algunas de las propiedades de la población son particular del o los grupos que se van conformando y están definidas bajo el concepto de dispersión (distribución), difusión (desplazamiento) y densidad (N° de individuos / área determina), de acuerdo al desarrollo de la población resultan de la calidad, mortalidad, distribución de edades potencial biológico y forma de desarrollo, de tal forma que si entendemos funcionamiento normal de un ecosistema se podrá definir su futuro ecológico evolutivo, es decir, es importante estudiar más a fondo los tópicos de los patrones de los árboles en el bosque.

1.3.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES

La rareza local y el agrupamiento en la mayoría de las escalas espaciales son características comunes de los patrones de distribución y dispersión de los árboles tropicales (Plotkin y Levin 2001). Aunque el tamaño de la población regional de muchas especies es grande, la densidad media de la mayoría de especies es baja en el paisaje, encontrándose a menudo menos de un individuo adulto por hectárea (Pitman *et al.* 1999).

La baja densidad poblacional por sí sola requiere consideraciones de manejo, ya que el riesgo de extinción local es una función inversa del tamaño local de la población (MacArthur y Wilson 1967; Hubbell 2001). Es decir, la eliminación de individuos de una especie aumenta su probabilidad de ser extinguida localmente. La baja densidad, sin embargo, no implica que los patrones de dispersión sean uniformes ni al azar. El agrupamiento de individuos puede aparecer a escalas análogas a las que actúa la explotación forestal (He *et al.* 1997; Condit *et al.* 2000; Plotkin *et al.* 2002). Las consecuencias de la extracción selectiva variarán a lo largo del paisaje aunque la intensidad de extracción sea constante (por ejemplo, un número constante de los árboles extraídos por unidad de área) o si varía con la densidad de la especie focal, puesto que el cambio en abundancia relativa de la especie focal comparada con el resto de la comunidad variará de sitio a sitio.

A este respecto Kershaw (1973), indica que los factores causales de los tipos de distribución agrupada y regular, están identificados en tres tipos: medioambientales, sociológicos y morfológicos. Los factores medio ambientales, están generalmente ligados con la topografía, cuyos cambios producen una evidente variación en el drenaje, la disponibilidad de agua, disponibilidad de nutrientes, la lixiviación, el pH, la profundidad del suelo, factores que en conjunto controlan la mortalidad y sobrevivencia de las plantas por lo tanto su forma de distribución horizontal. La distribución regular, muy común en plantaciones, se encuentran raramente en comunidades naturales. Factores medioambientales, especialmente la extrema escasez de agua en zonas de la llanura Chaqueña son causantes aparentemente de la

distribución regular de algunas especies como *Ruprechtia triflora* Griseb. (Choroque o duraznillo), que hace que la planta extienda sus raíces sólo hasta donde le permite la extensión de las raíces de las plantas vecinas, lo que determina una distribución regular. (Navarro y Maldonado, 2003)

Los factores sociológicos derivan de la interacción de una especie con otra y de un individuo con otro, lo cual produce un tipo de distribución que puede o no estar relacionado con los factores microambientales. Estos factores dependen de la capacidad competitiva de un individuo o especie, la que en gran medida es dependiente del medio ambiente y por lo tanto, varía con él. Pero, por otro lado, es posible que este tipo de distribución esté determinado por efectos alelopáticos de una especie o de un individuo a cierta edad. Muchas especies modifican el medio ambiente bajo ellas por razones alelopáticas o de sombra, determinando una forma o tipo particular de distribución de la vegetación asociada a ellos y que contribuye sociológicamente al tipo de distribución horizontal que se puede dar entre las especies.

Los factores morfológicos son aquellos que dependen de la capacidad reproductiva de la especie y de la población, sea ésta de tipo sexual o vegetativa (Donoso, 1993). El análisis de esta clase de distribución que realiza Kershaw (1973), se refiere al que producen especies con reproducción vegetativa por estolones que no parecen de tanto interés para el análisis de la distribución horizontal en plantas forestales.

Al contrario de lo que ocurre con la distribución agrupada es bastante común en diversos tipos de vegetación. Ello es particularmente claro en la regeneración de las especies forestales y puede apreciarse muchas veces por simple inspección en el bosque, donde se observan grupos de brinzales o plantas jóvenes concentradas en manchas o bosquetes. De acuerdo con Whittaker (1975), hay por lo menos tres razones que determinan esta agregación de individuos en manchas o asociaciones puras, razones que están íntimamente relacionadas con los tres tipos de factores causales de Kershaw (1973).

1.4 DISTRIBUCIÓN Y ANÁLISIS ESPACIAL

El propósito de detectar patrones espaciales es el de generar hipótesis concernientes a la estructura de las comunidades ecológicas. Hunchinson (1973) fue uno de los primeros ecólogos en considerar los patrones espaciales en comunidades vegetales e identificó varios causales que llevan a los organismos a seguir un patrón: a) factores vectoriales resultantes de las fuerzas externas ambientales (viento, corrientes de agua e intensidad de luz); b) factores reproductivos atribuibles a la forma de reproducción de los organismos (clonación y regeneración de progenie); c) factores sociales; d) factores colectivos, resultantes de las interacciones intraespecíficas (competencia); e) factores estocásticos resultando de la variación al azar de cualquier factor predecible. Los procesos contribuyen a los patrones espaciales si se considera como intrínseca de la especie (reproducción, social y coactivo) o extrínsecos (vectorial).

Según Brower et al (1999), la densidad aislada presenta un cuadro incompleto de cómo una población es distribuida dentro de su hábitat. Asimismo, dos poblaciones pueden tener la misma densidad pero presentar diferente arreglo de patrones espaciales. El arreglo de los miembros de una población dentro de un hábitat es referido como dispersión o la distribución de patrones de una población. Wells y Getis (1999) señalan que el arreglo de los individuos dentro de un rodal por sitio y edad (estructura del rodal) es en parte determinado por estrategias históricas de la vida de las especies y los disturbios en los rodales.

La estructura espacial es un atributo importante de los bosques, dado que bosques con la misma distribución de frecuencias puede tener estructura espacial completamente diferente. En la figura N° 2, se presentan tres bosques hipotéticos, cada uno con los mismos individuos, los bosques son idénticos con respecto al número de árboles por especie y a la distribución de diámetro y altura. La única diferencia es en la estructura espacial, donde la posición de los árboles y sus atributos son ordenados espacialmente (Gadow y Hui, 2008)

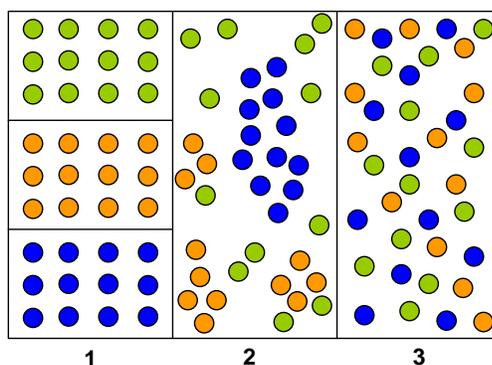


Figura N° 2. Individuos ordenados espacialmente en tres maneras diferentes

El estudio de la dispersión espacial en los ecosistemas forestales es de gran interés en lo correspondiente al manejo de los recursos naturales. Por un lado está relacionada con el crecimiento de los árboles (Matteucci, 1982). Por otro con la eficiencia del muestreo en los inventarios forestales en relación con el tipo de muestreo empleado y con la estimación del número de metros cúbicos por hectárea (Loesth, 1999).

La inclusión en la toma de datos de la posición de los árboles en los inventarios nacionales de algunos países ha servido como punto de partida para las investigaciones sobre las distribuciones espaciales forestales. Los ecosistemas forestales pueden reponder por lo general a ciertos patrones de distribución espacial, los cuales se ubican dentro de las tres formas de constelación espacial mostrada en la figura 2. (Brower, 1999)

- Aleatoria, los individuos están distribuidos al azar dentro del espacio disponible. No existe ningún tipo de interacción entre los mismos, debiéndose cumplir dos condiciones para poder aceptar este tipo de distribución espacial (1) todos los puntos del espacio tienen la misma probabilidad de ser ocupados por un árbol y (2) la presencia de un individuo en cierto punto, no afecta a la ubicación de otro organismo. Estos patrones espaciales se representan matemáticamente mediante la distribución de tipo Poisson.
- Regular, este tipo de distribución por grupos de organismos, alternándose en espacios abiertos. Tal proceso ocurre como consecuencia de la interacción entre individuos que componen una cierta masa forestal, o bien como

resultado de la ausencia de homogeneidad en el sitio, comportamiento gregario y modo reproductivo. Este tipo de distribución se denomina agrupada. La representación matemática más sencilla de este tipo de distribución es una función de doble Poisson o Neyman tipo A (Pielou, 1977)

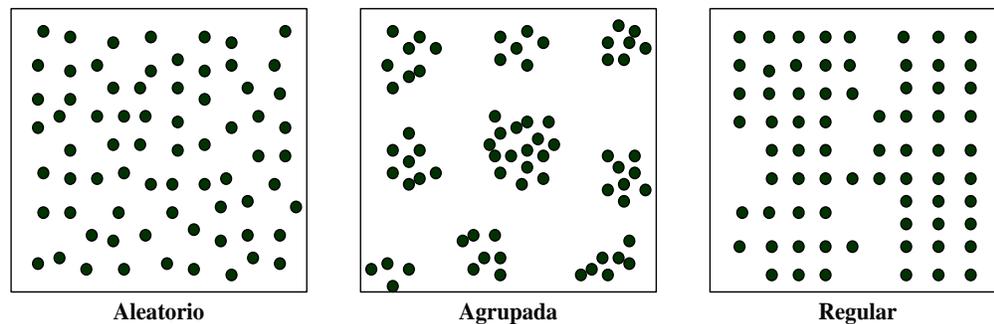


Figura N° 3. Tipos de distribución espacial

De acuerdo a Brower (1999) la suposición básica de distribución espacial es que los individuos de una especie serán espaciados aleatoriamente a menos que estén sometidos a algún tipo de distribución. Los organismos pueden presentar patrones de distribución en el terreno y ellos pueden también presentar patrones en su distribución relativa a otras especies. Dado lo anterior se presentan dos tipos de asociación. Asociación positiva cuando una especie tiende a crecer cerca de otra y asociación negativa si una especie parece evitar alguna otra. La distancia de un individuo a otro proporciona una variable para la medición del espaciamiento que obvia el uso de cuadrantes y por lo tanto elimina el efecto del tamaño del cuadrante.

1.4.1 ÍNDICES DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ÁRBOLES

Las poblaciones arbóreas, tipos forestales, asociaciones o formaciones boscosas presentan una estructura espacial determinada, la que varía a lo largo del desarrollo, tanto vertical como horizontalmente. Estas transformaciones son producto de cambios en las condiciones ambientales debidas a situaciones fortuitas y a diferentes tipos de alteraciones naturales o antrópicas (Donoso, 1998). Los individuos de una comunidad forestal se distribuyen sobre la superficie del suelo siguiendo algún patrón, el que depende de las especies, edad, y las interrelaciones con el medioambiente. Se

reconocen tres grandes tipos de patrones: agrupado o agregado, regular o uniforme y aleatorio. (Donoso, 1998)

Existen diversas metodologías que se pueden utilizar para la determinación de patrones de distribución espacial. Chi cuadrado y la razón varianza media son dos metodologías utilizadas regularmente (Donoso, 1998). Como unidades muestrales se utilizan parcelas (mínimo 100) distribuidas uniformemente sobre la superficie del bosque, donde se mide la frecuencia de individuos por parcela. La primera metodología utiliza una prueba de Chi cuadrado para comparar la distribución espacial observada con la distribución de Poisson, es decir si sigue un patrón aleatorio o no. La segunda metodología es el cociente entre la media de la frecuencia de individuos y su varianza, la que se compara con la de la distribución Poisson (varianza igual a la media). Estas metodologías presentan el gran inconveniente de que sus resultados dependen del tamaño de las parcelas utilizadas, además de ser poco confiables cuando el valor medio de densidad de los individuos estudiados es muy alta o baja (Kershaw, 1973; Donoso, 1998).

El índice de Morisita (Donoso, 1998) resuelve en parte el problema de tamaño de parcela utilizando parcelas de tamaño variable. Mediante el establecimiento de un reticulado con un número considerable de parcelas contiguas, las que simplemente se van uniendo para formar parcelas más grandes. De este modo se pueden generar resultados a distintas escalas espaciales. Sin embargo, se pueden presentar errores en los resultados producto de una errónea selección de tamaño de parcelas y de distanciamiento entre ellas.

Otro método es el desarrollado por Clark y Evans (1954) el cual presenta la limitante de ser un método puntual, en donde se obtienen resultados sólo para la escala del distanciamiento medio entre individuos. Según Moeur (1993) las funciones más adecuadas para describir e interpretar patrones de distribución espacial son el análisis del vecino más cercano y el análisis combinado univariable y bivivariable de cálculo de distancia. Esto gracias a que las limitaciones que presentan son mucho menores que los métodos anteriormente descritos. Las ventajas que presentan son: Es necesaria

una sola parcela, son funciones multiescala, ya que como datos utilizan distancias entre los árboles, y no frecuencia de individuos como en el índice de Morisíta.

Por su parte, Del Río et al (2003), sostienen que dado el interés de la estructura del rodal y teniendo presente la tendencia a orientar el propósito silvicultural, es necesario ser precisos a la hora de describir la estructura. La diversidad depende de varios elementos que se encuentran en el ecosistema, de su rango de variación y de la menor o mayor presencia (abundancia relativa) de cada uno de ellos. Al analizar la diversidad estructural se debe tener en cuenta el papel que desempeñan los diferentes elementos de la masa forestal, que depende de las especies presentes, las características del medio físico, la historia de la masa y el tratamiento silvícola.

La distribución espacial de los individuos de una masa está condicionada por la competencia, la asociación, las estrategias de regeneración de las especies y las intervenciones en el bosque. Los índices que se usan para describir la distribución espacial de los árboles, hacen hincapié en estos aspectos de la estructura del bosque. Ripley (1987), distingue tres tipos de índices:

- a) Los que se basan en muestreos del número de árboles en parcelas
- b) Métodos del vecino más cercano
- c) Métodos que utilizan datos simulados

Los métodos que usan datos simulados se basan en uso de modelos para analizar los mecanismos que dan lugar a diferentes tipos de estructuras, haciendo referencia a ellos en el análisis dinámico de la estructura. Según Del Río (2003), todos estos índices se pueden aplicar a todos los árboles de un rodal o bien utilizarlos para estudiar la distribución de distintas clases, como clases de tamaños, especies, etc., obteniendo el patrón espacial de las zonas en las que se localizan las parcelas de muestreo.

Entre los índices que se basan en *muestreos del número de pies encontrados en parcelas*, sin medir distancias de separación entre los árboles como es el caso del presente estudio, se basan en la discretización del espacio ocupado por los árboles, la

parcela es la unidad elemental y la estructura se caracteriza para el conjunto de parcelas. Estos índices presentan la ventaja de que no es necesaria la medición de distancias o ángulos, pero varían mucho con el tamaño de la parcela.

Por citar algunos índices, se tiene por ejemplo, el índice de agregación de Cox que utiliza el cociente de la varianza (S_x^2) entre la media aritmética del número de individuos por parcela (\bar{x})

$$Ic = \frac{S_x^2}{\bar{x}}$$

Si el cociente es 1 la distribución será aleatoria.

En cuanto a los métodos del *vecino más cercano*, también son índices de gran utilidad para caracterizar la microestructura, es decir, la estructura que forma un árbol y los árboles más próximos. Las variables que utilizan son: la distancia entre cada árbol a su vecino más cercano, la distancia entre puntos aleatorios y el árbol más cercano y la densidad del rodal. Los índices que utilizan la densidad del rodal o bien la distancia de un punto aleatorio a los árboles más próximos, comparan la distancia de cada árbolal vecino más cercano en la distribución real con la distancia esperada si los árboles estuvieran distribuidos en forma aleatoria, de esta forma se puede saber si la estructura tiende a la regularidad o los árboles forman agregados.

Uno de los índices utilizado con más frecuencia para caracterizar la distribución espacial de los árboles es el índice de agregación de Clark y Evans, que expresa la relación entre la distancia media al vecino más próximo (\bar{d}_i) observada y la distancia esperada si la distribución fuera aleatoria, que se calcula a partir de la densidad del rodal (λ):

$$CE = \frac{\bar{d}_i \text{ observada}}{\bar{d}_i \text{ esperada}} = \frac{\bar{d}_i \text{ observada}}{1/2\sqrt{\lambda}}$$

Mediante el test de T_R se puede determinar si la distribución espacial sigue una distribución de Poisson o no.

$$T_R = \frac{\bar{d}_i \text{ observada} - \bar{d}_i \text{ esperada}}{\sigma_{\text{observada}}}$$

$$\sigma_{\text{observada}} = \frac{0.26136}{(N^2/S)^{1/2}}$$

Donde $\sigma_{\text{observada}}$ es la varianza observada, N el número de árboles de la parcela y S la superficie de la parcela. Si T_R es mayor que 1,96; 2,58 o 3,3 la densidad del rodal es significativamente diferente de una distribución Poisson con un nivel de significación de 5; 1 o 0,1% respectivamente.

De esta manera, existen varios métodos para determinar los índices de agrupación que no se hacen énfasis, debido a que el presente trabajo se realiza con el método de número de árboles encontrados en la parcela comparado con los métodos gráficos que cartografían la posición de los árboles georeferenciados por sus coordenadas.

CAPÍTULO II
MATERIALES Y MÉTODOS

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 LOCALIZACIÓN

La investigación se realizó al margen izquierdo del Río Salado, en una poligonal definida por las coordenadas geográficas: 22°20'58'' de latitud sur, 64°25'5'' de longitud oeste y 22°21'49'' latitud sur y 64°26'2'' longitud oeste. Presenta una altitud que varía desde 800 a 1000 m.s.n.m.; localizada en la comunidad Salado Norte del cantón de Tariquía perteneciente a la provincia Arce del Departamento de Tarija, a una distancia aproximada de 150 Km de la ciudad de Tarija sobre la carretera a Bermejo y a 25 km al norte del cruce Salado Conchas.

Cuadro N° 1. Coordenadas UTM del área de estudio

Punto	Coordenada X	Coordenada X
1	352200	7526610
2	352300	7526820
3	352410	7527125
4	352680	7527460
5	353564	7525950
6	353799	7527125
7	353848	7526266
8	353865	7526525

El área de instalación de parcelas abarca una superficie total de 161 hectáreas, de las cuales la mayor parte están formados por una cubierta boscosa donde se distingue un estrato arbóreo con alturas que oscilan entre 15 a 20 m, mismo que es considerado como bosque de producción y un estrato mediano que por estar localizado en área de colinas se considera como bosque de protección y en menor proporción se encuentra superficies dedicadas a la agricultura de subsistencia localizadas en las terrazas paralelas al curso del río principal.

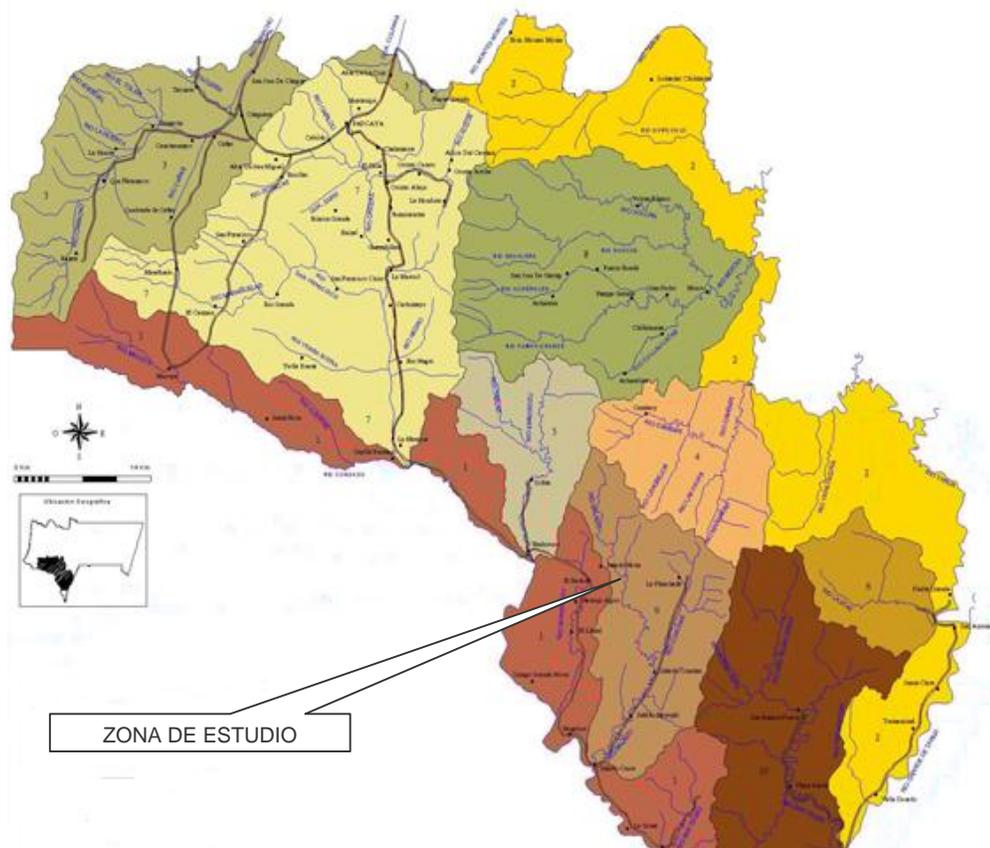


Figura N° 4. Mapa de ubicación de la zona de estudio

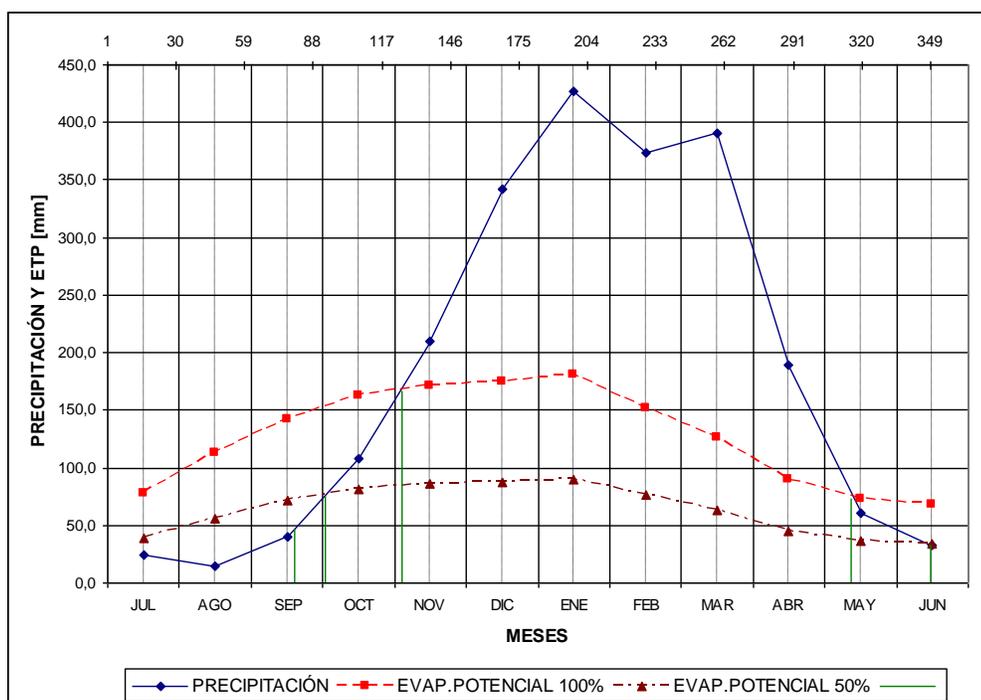
2.1.2 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA

La zona de estudio forma parte de la región fitogeográfica denominada Selva Tucumano Boliviana, y de acuerdo a ZONISIG (2000) se encuentra en la provincia fisiográfica del subandino, formado por una secuencia de serranías bajas, medias y altas, con disección variable que forman valles subparalelos de diferente amplitud.

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMIH, 2009), el clima es templado-cálido, semihúmedo con veranos, lluviosos, otoño con llovizna persistente. Los meses más secos abarcan los meses de mayo a septiembre, siendo octubre el mes en que empiezan las precipitaciones, el mes más lluvioso es enero, consecuentemente los meses más lluviosos diciembre a marzo. La temperatura media anual es de 19.5° C, temperatura máxima extrema 40° C y una mínima extrema de menos 5.5° C y la humedad relativa promedio es 72%. De acuerdo con el mapa

Ecología de Bolivia, el área de estudio se encuentra en una zona transicional del bosque húmedo templado, con una precipitación promedio de 2000 mm/año. La estación meteorológica más próxima a la zona es la de Emborozú con las siguientes características climáticas:

Gráfico N° 1. Diagrama climático de la Estación Emborozú, Provincia Arce del Departamento de Tarija.



Inicio de Estación de Lluvias	a =	01-oct
Inicio de Periodo Húmedo	b1 =	02-nov
Terminación de Periodo Húmedo	b2 =	11-may
Terminación de Estación de Lluvias	c =	14-jun
Terminación de Estación de Crecimiento	d =	18-sep
Duración de la Estación de Crecimiento		-13 días

En cuanto a los suelos predominantes en la zona de estudio, estos pertenecen al orden de los Entisoles e Inceptisoles, dependiente de su localización son suelos superficiales a profundos. (Ríos, 2008). El área donde se realizó la investigación, presenta pendientes moderadamente escarpadas de formas complejas irregulares, con suelos moderadamente profundos, no se observa rocosidad y pedregosidad en la superficie, el drenaje es superficial y rápido, no presenta evidencias visibles de erosión hídrica.

Los suelos presentan un pH neutro a débilmente alcalino con una capacidad de intercambio catiónico moderado y una textura franco arenoso y una fertilidad moderada a baja. (Cazón, 2011)

De acuerdo a reportes técnicos de PROMETA (2004), en la zona de estudio se presenta 4 tipos principales de vegetación: Bosque nublado de la selva tucumano-boliviana, bosque húmedo de la selva tucumano boliviano, bosque subhúmedo transicional y bosque xerofítico del chaco serrano. En el sector sur con mayor precipitación los bosques y matorrales forman parte de la selva tucumano-boliviana, que según Ellenberg (1981) corresponde a la ecoregión bosque semihumedo montañoso. Los bosques son generalmente densos, mayormente siempre verdes, medios altos, de estructura compleja con dos o tres estratos. El dosel superior presenta abundante lianas, epifitas y musgos. La composición botánica se caracteriza por la presencia de *Mimosaceas*, *Caesalpinaceae*, *Lauraceae*, *Mirtaceas* y *Meliaceas*.

Por su parte Ramos y Ponce (2011), en una investigación realizada en este bosque reportaron 48 especies arbóreas, distribuidas en 27 familias botánicas, de las cuales la familia *Fabaceae* (*Leguminosae*) es la que tiene mayor diversidad con relación a las otras familias botánicas, seguido por *Mirtaceae*, *Lauraceae*, *Borraginaceae* y *Sapindaceae* con 3 especies cada una. Sobre la base del levantamiento forestal, se indican que la vegetación arbórea corresponde a bosques húmedos de montaña perteneciente a la formación de selva tucumano-boliviana, conocida también en el lado argentino como formación Las Yungas. Las condiciones de alta humedad, topográfica y de temperatura propias de este ambiente ecológico, han posibilitado el desarrollo de un bosque con dos estratos arborescentes muy diferenciados, uno superior de árboles que alcanzan los 20 m de altura, compuesto *Anadenanthera colubrina* (*Vell.Conc.*) *Benth.*; *Cedrela sp.*, *Tabebuia heteropoda* (*A.DC.*) *Sandw.* *Tipuana tipu* (*Benth.*) *Kuntze* y *Astronium urundeuva* *Engler* que conforman un dosel interrumpido, con presencia de epifitas y bejucos. El otro estrato, está constituido de árboles medianos conformados por arrayanes (*Eugenia uniflora L.*),

Chal chales (*Allophylus edulis* (St. Hil.) Radlkofer) y laureles que conforman un dosel continuo.

Con respecto al número de especies, de acuerdo al Plan de Ordenamiento Predial en la EERC (Espinoza, 2007), se reporta 32 especies arbóreas agrupadas en 20 familias. Por su parte, Acosta (2004) en su informe técnico, sostiene que los bosques de la EERC, están constituidos por 37 especies arbóreas, en donde el dosel superior está representado por los géneros *Tabebuia*, *Cedrela*, *Miroxylon*, *Tipuana* y otros que conforman un bosque denso siempre verde semideciduo submontano.

2.2 MATERIALES Y EQUIPOS

Los materiales y equipos que serán utilizados en cada una de las actividades, especialmente referidos al trabajo de campo serán:

- Carta topográfica Hoja 6727 III, I.G.M. Escala 1 : 50000
- Calculadora científica
- Reglas, escuadras y transportador
- Computadora
- Material de escritorio
- GPS MAP Garmin 76CSx
- Brújula Suunto KB 14
- Clinómetro Suunto
- Libreta de campo
- Planillas de inventario
- Machetes
- Jalones
- Cuerdas de 20 m.
- Cintas métricas 5 m.

- Wincha de 50 m.
- Cinta diamétrica
- Cinta flaming

2.3 MÉTODOS

2.3.1 GEOREFERENCIA DE LOS ÁRBOLES

Para georeferenciar y representar gráficamente la distribución espacial, se levantó la información empleando la técnica de censo sistemático, abriéndose una línea base de Este a Oeste con una orientación franca, la misma que cruza el área de levantamiento. Posteriormente se abrieron picas cada 100 m con rumbo franco hacia el Norte y hacia el Sur. Durante la apertura de la línea base como de las picas se colocaron jalones cada 25 m. y se anotó la distancia horizontal acumulada en una cinta de color naranja. Asimismo, en los puntos de intersección entre la línea madre y las picas se colocaron postes de 2 m. de longitud para anotar el inicio o el fin de las picas y el número de pica. Finalmente, se efectuaron mediciones con el GPS para conocer las coordenadas de amarre en los puntos de intersección (Merlo *et al.* 1999).

En el levantamiento de los datos se consignaron por una parte los datos de las picas y por otro los datos de los árboles. En el primer caso, se registró información acerca de la pica, su orientación y el rumbo. En el caso de los árboles se registró el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura de fuste, altura total, calidad de fuste, las coordenadas X e Y en relación a los puntos de amarre, y el nombre común de la especie (García y Ledezma, 2008). Con esta información se generó una base de datos de los árboles que fueron motivo de la investigación.

2.3.2 PRUEBA DE DISTRIBUCIÓN POISSON

Como se mencionó en la revisión bibliográfica, un marco de referencia conveniente para estudiar el grado de agregación o uniformidad de una población está dado por la distribución de Poisson. Sin embargo, es importante comprender la distinción entre distribuciones estadísticas y distribuciones espaciales. Las primeras corresponden estrictamente al conjunto de frecuencias de ocurrencias de una serie de eventos,

mientras que las segundas se refieren al patrón de ubicación en el espacio de los individuos de una población. Las distribuciones estadísticas son útiles como marco de referencia para estudiar mediante comparación las distribuciones espaciales, dado que se puede dibujar en un mapa la ubicación exacta de cada individuo.

Para este caso, los datos se deben ajustar a una distribución de Poisson utilizando la siguiente fórmula:

$$P_x = e^{-\mu} \left(\frac{\mu^x}{X!} \right)$$

Donde, P_x representa la probabilidad de ocurrencia de x individuos en una cuadrícula, μ (mu) es la media poblacional del número de individuos en una cuadrícula, siendo “ e ” igual a 2,718282. Para entender el enfoque que se da al problema de distribución espacial, es necesario conocer antes algunas características de la distribución de Poisson:

- Está definida por un único parámetro (μ), la media poblacional.
- $\mu = \sigma^2$, la media es igual a la varianza poblacional.
- Es asimétrica, pero tiende a una distribución tipo normal a medida que aumenta la media.

Las dos primeras propiedades de la distribución Poisson han llevado al enfoque tradicional, el cual plantea que si la media es igual a la varianza, entonces cabe esperar que la distribución de los individuos sea aleatoria. Esta idea llevó a la formulación del cociente σ^2 / μ (varianza/ media) como un índice de agregación y al mismo tiempo, como un índice de desviación de Poisson. Esta idea parece conveniente en un principio, ya que tiene algunas propiedades deseables:

- Es igual a 1 cuando la disposición espacial es aleatoria, definiendo aleatoriedad como que la distribución espacial observada se ajusta perfectamente a una distribución Poisson

- Es igual a 0 cuando la varianza es nula, es decir, todas las cuadrículas contienen el mismo número de individuos o en otras palabras, la disposición espacial es uniforme
- Alcanza su máximo valor cuando todos los individuos se sitúan en sólo una cuadrícula, dejando las restantes vacías, es decir, la agregación es máxima.

A partir de esta idea, se desarrolla una prueba estadística para evaluar si la desviación del cociente de la unidad es significativa, basado en la observación de que el índice, multiplicado por los grados de libertad asociados a su estimación, se distribuye según una Chi cuadrada. El estadístico de prueba $\chi^2_{(n-1)} = \sigma^2 / \mu (n - 1)$, es comparado con los valores tabulados de la distribución en una prueba de dos colas para un valor de significancia α con $n - 1$ grados de libertad: si el valor del estadístico es menor que el valor tabulado para $P = \alpha/2$, se concluye que la disposición es uniforme, si es mayor que $P = 1 - \alpha/2$, se concluye que es agregado, y en caso contrario, que no es significativamente diferente de una disposición aleatoria para un nivel de α .

A pesar de la sencillez del método, el índice varianza / media presenta algunos defectos importantes. En primer lugar, el desarrollo de este índice partió en un principio de la suposición de que la igualdad entre la media y la varianza es evidencia suficiente para suponer que las ocurrencias en las cuadrículas se distribuyen según una distribución Poisson. Si bien es cierto que en esta distribución media y varianza son iguales, no existe ninguna razón para aceptar que la relación inversa es siempre cierta: pueden existir infinitas distribuciones teóricas en las cuales el índice sea igual a 1. Esto nos lleva a concluir necesariamente que el cociente no puede conceptualmente funcionar simultáneamente como un índice de agregación y como una medida de desviación de Poisson

En segundo lugar, no existe un concepto de agregación inherente al índice. Agregación es definida por la magnitud de la diferencia entre la varianza y la media, y esta magnitud es al mismo tiempo empleada para medir la agregación, lo cual lleva a un razonamiento escasamente sustentado. Esta carencia de concepto trae como

consecuencia la ausencia de una escala sobre la cual sea posible comparar varias poblaciones según su grado de agregación, aunque los valores máximos y mínimos del índice son indicativos de máxima y mínima agregación, respectivamente, no existe ninguna relación entre los valores intermedios que permitan establecer con propiedad que una población es tanto más o menos agregada que otra.

Existen índices alternativos cuya utilidad para el estudio de la agregación ha sido demostrada sobre la base de que contienen implícito o explícito un concepto de agregación, ya que han sido desarrollados a partir de estos conceptos y no a partir de suposiciones sobre una distribución teórica. El concepto de agregación inherente a los índices de Morisita y de Lloyd (Hurlbert, 1990) tiene un fundamento esencialmente ecológico: agregación se define como la probabilidad de encontrar un segundo individuo en una misma cuadrícula, con respecto a lo que cabría esperar sólo por azar, o como el grado de hacinamiento de individuos en una cuadrícula con relación a lo esperado en caso de que la disposición fuese aleatoria.

2.3.3 MÉTODOS DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

Tal como se reporta en el marco teórico, las plantas se distribuyen sobre la superficie del suelo siguiendo algún patrón o modelo particular que dependen de la especie, de su edad y de sus relaciones con otras especies y con el medio ambiente en general. Estrictamente, la distribución horizontal de la vegetación en un área se puede dibujar o representar en un mapa, lo que por razones obvias, se hace con mayor frecuencia para pequeñas áreas de vegetación o parcelas permanentes. (Contreras *et al*, 1999).

a) Método del Chi Cuadrado

Al muestrear el número de individuos de una especie en un conjunto de parcelas distribuidas en un área de bosque, es frecuente encontrar que ellos se distribuyen al azar sobre el área. Como se hizo hincapié anteriormente, esta distribución al azar no es del tipo normal, sino que sigue una serie matemática conocida como distribución de Poisson (Donoso, 1993) que es apropiada para describir el número de plantas por

parcela se aplica para determinar la frecuencia de ocurrencia mediante la siguiente ecuación:

$$f = e^{-m}, me^{-m}, m^2 e^{-m} / 2!, m^3 e^{-m} / 3!, m^4 e^{-m} / 4!, \dots$$

Donde:

f = Frecuencia relativa de parcelas que contienen sucesivamente 0; 1; 2; 3; etc., individuos.

m = Promedio ponderado de individuos por parcela.

e = Es la base de los logaritmos naturales

! = Indica factorial.

Para determinar si una distribución es o no al azar, el método usado consiste en relacionar el número observado de individuos de una especie en cada parcela con el número de individuos esperado en ellas de acuerdo con la serie de Poisson. Para determinar la significación de la diferencia entre la distribución de individuos encontrada en las parcelas con aquella esperada, calculada por la serie de Poisson, se usa generalmente la prueba de Chi cuadrado.

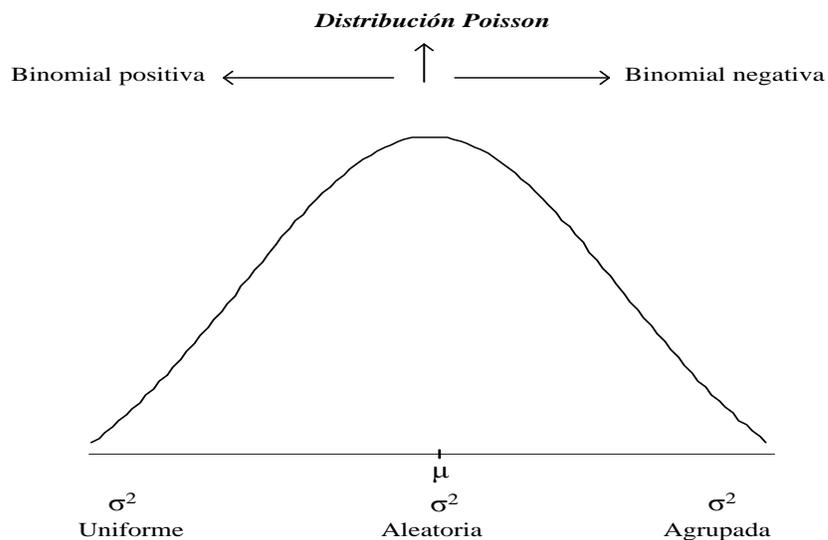


Gráfico N° 2. Modelo de distribución Poisson

Si el valor calculado de Chi cuadrado es significativamente menor que los valores tabulados a un 95 % y 99 % de confianza, indica que los valores observados siguen a la distribución Poisson y los individuos tienen una distribución al azar. Si la distribución de Chi cuadrado dice que es agrupada, en realidad está indicando que no es al azar, pero no indica el grado o tipo de agrupación que presenta.

Para enmendar este inconveniente, se utilizó la relación Cociente varianza / media, puesto que para la distribución Poisson la varianza es igual al promedio, la razón o cociente es igual a 1; de este modo, si la distribución espacial de los árboles es al azar y por lo tanto, sigue a la distribución de Poisson, el cociente varianza / media, será igual o se aproximará a 1. Si la distribución es fuertemente agrupada, el cociente será mayor que 1; y si el cociente es menor que 1, querrá decir que los individuos en el área no están distribuidos al azar, pero tampoco se encuentran muy agrupados, sino que espaciados, en forma más o menos regular o uniforme. (Lamprecht, 1990)

b) Método de Índice de Mc Guinness (IGA)

Para aplicar esta relación se usan las siguientes expresiones matemáticas (Mc GUINNES, 1934):

$$IGA_i = \frac{D_i}{d_i}$$

Siendo:

$$D_i = \frac{n_i}{u_T};$$

$$d_i = \ln(1 - f_i);$$

$$f_i = \frac{u_i}{u_T}$$

Donde:

IGA_i = "Índice de Mac Guinness" para la i -ésima especie;

D_i = densidad observada de la i -ésima especie;

d_i = densidad esperada de la i -ésima especie;

f_i = frecuencia absoluta de la i -ésima especie;

ln = logaritmo neperiano;

n_i = número de individuos de la i -ésima especie;

u_i = número de unidades muestreadas en que la i -ésima especie ocurre;

u_T = número total de unidades muestreadas.

Para clasificar el índice de agregación (IGA) o patrones de distribución de los individuos de las especies se usa la siguiente escala:

$IGA_i < 1$: distribución uniforme

$IGA_i = 1$: distribución aleatoria

$1 < IGA_i \leq 2$: tendencia al agrupamiento

$IGA_i > 2$: distribución agregada o agrupada.

c) Método de Índice de Fracker e Brischle (K_i)

Este índice es calculado con la siguiente expresión, de acuerdo con FRACKER & BRISCHLE (1944):

$$K_i = \frac{(D_i - d_i)}{d_i^2}$$

Donde:

K_i = "Índice de Fracker e Brischle" estimado para la i -ésima especie;

D_i = densidad observada de la i -ésima especie;

d_i = densidad esperada de la i -ésima especie.

Para clasificar el patrón de distribución espacial de los individuos de las especies, se basa en la siguiente escala:

$K_i \leq 0,15$: distribución aleatoria

$0,15 < K_i \leq 1,0$: tendencia al agrupamiento

$K_i > 1$: distribución agregada o agrupada

d) Método de Índice No Randomizado (P)

Al determinar este índice se obtiene el grado de agregación de la especie por medio de la relación entre a variancia del número de árboles por parcela, y la media del número de árboles:

$$P_i = \frac{S_i^2}{M_i}$$

$$M_i = \frac{\sum_{j=1}^J n_{ij}}{u_T}$$

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^J n_{ij}^2 - \frac{\left(\sum_{j=1}^J n_{ij}\right)^2}{u_T}}{u_T - 1}$$

Donde:

P_i = Índice no randomizado para la i-ésima especie;

S_i^2 = variancia del número de árboles de la i-ésima especie;

M_i = media del número de árboles de la i-ésima especie.

Para la clasificación (P_i) del patrón de distribución espacial de los individuos se utiliza la siguiente escala:

$P_i < 1$: distribución aleatoria o no agrupamiento;

$1 \leq P_i \leq 1,5$: tendencia al agrupamiento;

$P_i > 1,5$: distribución agregada o agrupada.

e) Método gráfico

De manera general, una distribución uniforme significa que las distancias entre individuos son aproximadamente las mismas dentro de la población, mientras que una distribución agregada implica que los individuos se agrupan en aglomerados o parches, dejando porciones del espacio relativamente desocupadas. Para fines de esta investigación se tomó en cuenta los siguientes patrones de distribución:

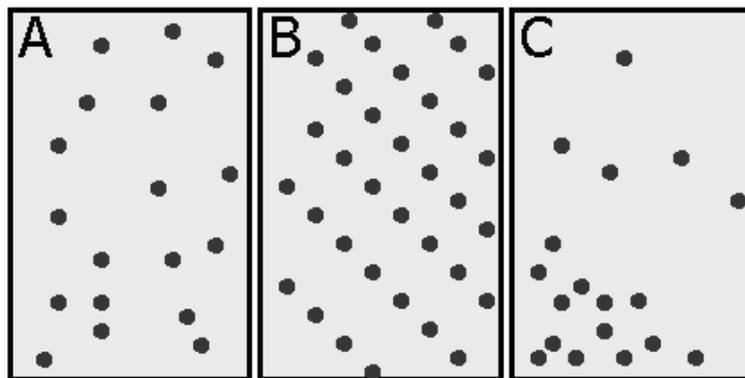


Figura N° 5. Patrones básicos de disposición espacial.

A. Aleatorio, B. Uniforme, C. Agregado.

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 VARIABLES DASOMÉTRICAS DEL BOSQUE

Cuadro N° 2. Valores dasométricos de las 10 especies estudiadas

Especie	Datos	Clase Diamétrica						Total general
		50_60	60_70	70_80	>=80	45_50	40_45	
Afata	Area Basal (m ²)	2,888	0,630	0,497		1,549	4,392	9,957
	Volumen (m ³)	16,423	2,039	3,233		8,471	20,746	50,912
Aguay	Area Basal (m ²)	5,086	1,230	1,189	0,642	4,636	5,646	18,428
	Volumen (m ³)	12,176	2,911	2,318	1,252	12,780	17,664	49,101
Barroso	Area Basal (m ²)	1,818	1,906	5,213	1,439	1,575	0,811	12,761
	Volumen (m ³)	8,182	8,481	25,168	5,487	7,170	2,797	57,285
Cascarilla	Area Basal (m ²)	0,874				0,337	3,508	4,719
	Volumen (m ³)	3,262				0,879	10,408	14,548
Cebil colorado	Area Basal (m ²)	18,415	10,427	7,304	9,519	9,848	15,260	70,772
	Volumen (m ³)	85,458	52,946	36,568	54,208	40,433	67,518	337,131
Cedrillo	Area Basal (m ²)	6,679	4,139	4,565	1,382	4,388	5,174	26,327
	Volumen (m ³)	26,586	19,918	21,264	8,985	19,407	20,891	117,052
Lanza amarilla	Area Basal (m ²)	3,996	1,632	0,806	2,587	1,747	2,047	12,817
	Volumen (m ³)	13,810	4,251	2,119	6,491	6,588	5,888	39,147
Lanza blanca	Area Basal (m ²)	10,988	6,122	8,013	15,326	4,382	6,758	51,589
	Volumen (m ³)	39,905	23,309	27,564	50,513	15,787	21,491	178,570
Lapacho amarillo	Area Basal (m ²)	11,897	5,924	5,468	3,606	5,720	9,440	42,056
	Volumen (m ³)	63,066	29,271	32,674	15,357	25,056	43,131	208,554
Quina colorada	Area Basal (m ²)	4,253	3,540	4,357	2,340	2,103	1,924	18,518
	Volumen (m ³)	19,943	17,310	23,479	14,367	9,582	7,745	92,426

En las parcelas donde se realizó el levantamiento de árboles comerciales o sea a partir de 40 cm de diámetro normal (d) de las 10 especies estudiadas, arrojaron 1112 individuos en el área de 100 ha, con una densidad de 11,1 árboles/ha, un área basal de 2,16 m²/ha y un volumen de 14,04 m³/ha. La distribución de los individuos en el bosque, por especie y en el conjunto en relación diámetro versus número de árboles representan la característica de la forma de J-invertida, donde las frecuencias más altas se presentan en las clases diamétricas más bajas (40, 45, 50, 55, etc.). En contraste, en las clases diamétricas superiores el número de individuos es bastante bajo, especialmente a partir de la clase 70-80 donde la curva se estabiliza con un número de individuos bastante bajo, tal como se muestra en el gráfico 3.

3.2 ANALISIS DE ABUNDANCIA, DOMINANCIA Y FRECUENCIA

Las asociaciones vegetales no crecen aisladas en la naturaleza; son parte de un ecosistema y viven interrelacionadas con otras formas de vida y otras poblaciones estructurales en el mismo área, las interacciones existentes entre especies de la población forman una asociación intraespecífica, cuyo grado se define por los parámetros de abundancia, dominancia y frecuencia.

La especie Cebil colorado es la que tiene mayor abundancia y queda reflejado en la dominancia pero no ocurre lo mismo con el Lapacho, ocupa el segundo lugar en abundancia y el tercer lugar en dominancia, lo que indica que el peso ecológico de las especies no está únicamente reflejado por la abundancia sino también por la frecuencia y la dominancia. Por otra parte, la especie Barroso, presenta menor porcentaje en número de individuos por unidad de superficie, pero sus dimensiones diamétricas supera a otras especies que presentan mayor abundancia en el bosque. Otro aspecto que muestra el cuadro 2, es que la especie Aguay siendo una de mayor abundancia presenta menor dominancia debido a que son bastantes individuos pero de diámetros menores.

Cuadro N° 3. Valores relativos de abundancia y dominancia expresado en área basal de las especies objeto de estudio

Especies	Frecuencia (%)	Abundancia (%)	Dominancia (%)
Cebil colorado	17,25	27,61	27,41
Lanza blanca	14,17	15,47	19,98
Lapacho amarillo	13,55	17,09	16,29
Cedrillo	13,96	10,61	10,19
Aguay	9,24	8,27	3,38
Quina colorada	7,80	4,77	7,17
Lanza Amarilla	6,78	4,77	4,96
Afata	7,60	4,77	3,86
Barroso	4,11	3,78	4,94
Cascarilla	5,54	2,88	1,83
TOTAL	100	100	100

En relación a las especies forestales que se encuentran en la Comunidad de Salado Norte, se observa que la distribución del Cebil colorado es la especie más importante y presenta un buen ajuste con la ecuación del modelo exponencial. Esto significa, que la especie presenta un buen número de individuos en las clases diamétricas precedentes, alcanzando su máximo valor en la clase diamétrica de 10 a 20 cm. Asimismo, se puede observar que la distribución de las frecuencias para todas las especies, se estabiliza a partir de la clase 85 cm de dap ya que a partir de este valor la frecuencia absoluta es demasiado baja. El ajuste de la distribución al modelo exponencial presenta un coeficiente de determinación alto (0.9199), tal como se observa en el gráfico 3.

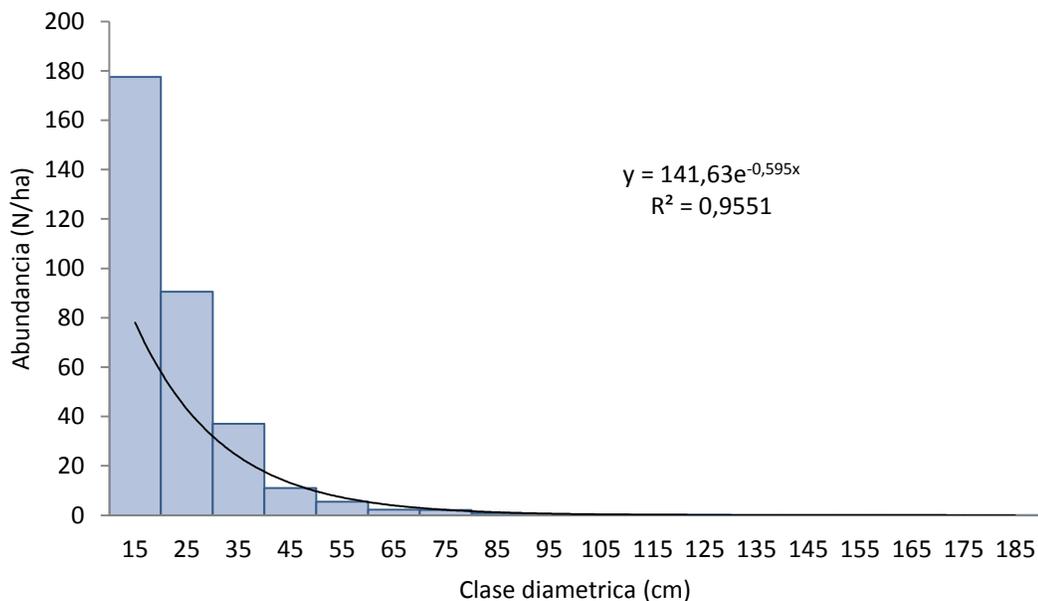


Gráfico N° 3. Abundancia de árboles por clases diamétricas

Con respecto a la especie Cascarilla que es otra especie característica del área de estudio, presenta su máxima frecuencia en la clase diamétrica de 10 a 20 cm y tiene un punto de estabilización de la frecuencia en 40 cm, esto quiere decir, que tiene menor abundancia y es poco frecuente.

Con respecto a la frecuencia, Braun Blanquet (1979) relaciona la abundancia y la frecuencia y el grado de espaciamiento de la siguiente manera:

Frecuencia	Abundancia	Espaciamiento	Grado
1 – 20 %	Raro	Muy espaciada	Muy poco frecuente
21 – 40 %	Ocasional	Espaciada	Poco frecuente
41 – 60 %	Frecuente	Uniforme	Frecuente
61 – 80 %	Abundante	Agregada	Bastante frecuente
81 – 100 %	Muy abundante	Muy agregada	Muy frecuente

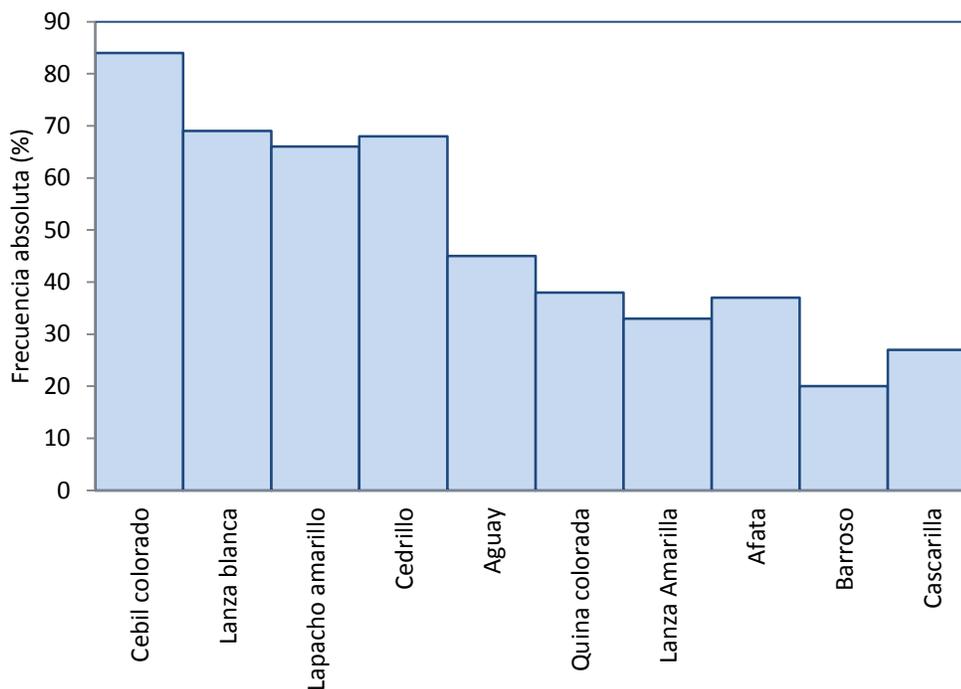


Gráfico N° 4. Frecuencia absoluta de especies forestales

De acuerdo a Braun Blanquet la especie Cebil colorado por tener una frecuencia mayor a 80%, se clasifica como muy frecuente, agregada y muy abundante. En el gráfico 4, se puede observar también una categoría intermedia constituida por las especies lanza blanca, lapacho amarillo y cedrillo, que presentan frecuencias de 60 a 80%, son clasificadas como bastante frecuentes abundantes con tendencia a agregarse y finalmente hay otra categoría de especies consideradas como poco frecuentes y espaciadas.

3.3 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ESPECIES ARBÓREAS

Los valores utilizados para estimar la distribución espacial de los árboles se realizó a través de los diferentes índices de agrupación usando la varianza y la media aritmética. Para esto, se planteó la hipótesis de que la media y la varianza tienden a seguir una distribución aleatoria, para corroborar esta hipótesis se aplicaron pruebas estadísticas con los métodos de Mc Guinness, Fracker Brischle, No Randomizado y

Chi Cuadrado (χ^2). Finalmente, estos valores fueron comparados con el método gráfico de distribución de las especies que fue conseguido a través del censo forestal en una superficie de 100 hectáreas usando este método como testigo.

Cuadro N° 4. Número de parcelas por frecuencia de árboles

Especie	Número de árboles															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Número de parcelas															
Afata	63	25	8	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aguay	55	21	11	9	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Barroso	80	8	7	3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Cascarilla	73	24	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cebil colorado	16	19	17	15	10	7	5	5	0	1	2	1	0	0	1	1
Cedrillo	32	38	18	7	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Lanza Amarilla	67	22	5	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lanza blanca	31	23	22	7	7	7	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Lapacho amarillo	34	24	14	9	6	6	3	0	0	2	1	1	0	0	0	0
Quina colorada	62	21	8	5	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.3.1 AGREGACIÓN MC GUINNES

Para determinar el índice de agregación (G_a), primero se determinó el número de parcelas ocupadas por las especies (N.C.), sobre esta base se calculó la frecuencia relativa (Fr), y con el dato del número de árboles encontrados en las 100 parcelas (N.A.) se calculó la densidad observada (D), en cambio la densidad esperada se calcula con la relación $d_i = \ln(1 - Fr)$, para luego aplicar la fórmula de Mc Guinness.

Los resultados presentados en el cuadro 4, muestran que la mayoría de las relaciones D/d , son superiores a 1, por lo tanto, todas las especies se encuentran con tendencia al agrupamiento, con excepción a la Cascarilla y el Cedrillo que se aproximan a 1, demostrando de esta manera, una distribución aleatoria, este comportamiento podría explicarse por la naturaleza de sus semillas aladas que son dispersadas por el viento.

Cuadro N° 5. Grado de agregación según Mc Guinness

Especie	N.C.	N.A.	Fr %	d	D	Ga	Distribución
Afata	37	53	37	0,462	0,530	1,147	Tendencia al agrupamiento
Aguay	45	92	45	0,598	0,920	1,539	Tendencia al agrupamiento
Barroso	20	42	20	0,223	0,420	1,882	Tendencia al agrupamiento
Cascarilla	27	32	27	0,315	0,320	1,017	Aleatoria
Cebil colorado	84	307	84	1,833	3,070	1,675	Tendencia al agrupamiento
Cedrillo	68	118	68	1,139	1,180	1,036	Aleatoria
Lanza Amarilla	33	53	33	0,400	0,530	1,323	Tendencia al agrupamiento
Lanza blanca	69	172	69	1,171	1,720	1,469	Tendencia al agrupamiento
Lapacho amarillo	66	190	66	1,079	1,900	1,761	Tendencia al agrupamiento
Quina colorada	38	53	38	0,478	0,530	1,109	Tendencia al agrupamiento

3.3.2 RELACIÓN FRACKER BRISCHLE

Para determinar el índice de agrupación de Fraker y Brischle (K), el procedimiento es igual que en el caso anterior, con la diferencia de que el índice de agrupación se aplica la relación $K_i = (D_i - d_i) / d_i^2$; y con estos valores se corrobora que la mayoría de las especies tiene tendencia al agrupamiento, sin embargo, las especies Cascarilla, Cedrillo y la Quina colorada, presentan distribución aleatoria.

De la evaluación detallada de estos dos métodos usados se observa que las especies tienen tendencia al agrupamiento y que en caso de la Quina colorada, la tendencia aleatoria es más notoria en la relación de Fracker y Brischle, puesto que el valor de

“K”, al aproximarse a “0.15” indica su condición de aleatoria. De acuerdo a estos resultados las especies Cascarilla y Cedrillo, crecen en el terreno de manera aleatoria en un nicho ecológico específico.

Cuadro N° 6. Relación Fracker y Brischle

Especie	N.C.	N.A.	F (%)	d	D	K	Distribución
Afata	37	53	37	0,462	0,530	0,318	Tendencia al agrupamiento
Aguay	45	92	45	0,598	0,920	0,901	Tendencia al agrupamiento
Barroso	20	42	20	0,223	0,420	3,953	Agregada o agrupada
Cascarilla	27	32	27	0,315	0,320	0,053	Aleatoria
Cebil colorado	84	307	84	1,833	3,070	0,368	Tendencia al agrupamiento
Cedrillo	68	118	68	1,139	1,180	0,031	Aleatoria
Lanza Amarilla	33	53	33	0,400	0,530	0,808	Tendencia al agrupamiento
Lanza blanca	69	172	69	1,171	1,720	0,400	Tendencia al agrupamiento
Lapacho amarillo	66	190	66	1,079	1,900	0,706	Tendencia al agrupamiento
Quina colorada	38	53	38	0,478	0,530	0,227	Aleatoria

3.3.3 ÍNDICE NO RANDOMIZADO

Para el método no randomizado, se emplea los estadígrafos de la media aritmética y la varianza y según la relación $P = \bar{X}/S^2$; en la que se observan algunas variaciones con respecto a los anteriores métodos, por ejemplo, la única especie que aparece como aleatoria es la cascarilla, y las demás especies muestran una distribución espacial agrupada y tendencia al agrupamiento, aspecto que se aproxima a las condiciones ecológicas de las especies estudiadas, es decir, considerando como representativa las 100 hectáreas censadas, coinciden de algún modo con el método gráfico.

Cuadro N° 7. Valores de índice no randomizado

Especie	\bar{X}	S ²	P	Distribución
Afata	0,53	0,6557	1,237	Tendencia al agrupamiento
Aguay	0,92	2,1147	2,299	Agregada o agrupada
Barroso	0,42	1,1147	2,654	Agregada o agrupada
Cascarilla	0,32	0,3814	1,192	Aleatoria
Cebil colorado	3,07	8,7122	2,838	Agregada o agrupada
Cedrillo	1,18	1,4824	1,256	Tendencia al agrupamiento
Lanza Amarilla	0,53	0,9183	1,733	Agregada o agrupada
Lanza blanca	1,72	3,1733	1,845	Agregada o agrupada
Lapacho amarillo	1,9	5,4242	2,855	Agregada o agrupada
Quina colorada	0,53	0,6557	1,237	Tendencia al agrupamiento

Al analizar estas formas de distribución horizontal se observa distribución agregada o agrupada y se deduce que las especies poseen mecanismos ecológicos que favorecen a crecer juntas o agrupadas. Luego cabe preguntarse ¿qué relación puede haber entre la distribución de una y otra especie? Para calcular el grado de asociación entre dos especies, el método más popular sigue siendo el uso de Chi cuadrado (χ^2) en una tabla de contingencia de 2x2.

3.3.4 PRUEBA DE CHI CUADRADO Y POISSON

Para analizar si los individuos de la población bajo estudio se distribuyen de acuerdo a un determinado patrón hipotético, se estima un valor conocido como la bondad del ajuste de la distribución observada a la distribución teórica. La bondad de un ajuste está referida a cuán próximas se encuentran las distribuciones a ser comparadas, entendiendo como proximidad las diferencias numéricas existentes en cada uno de los eventos posibles. Cuanto mayor sea la suma de estas diferencias, menor será la bondad del ajuste.

Para obtener las probabilidades de un número de individuos por unidad de muestreo, se debe ajustar a una distribución de Poisson, bajo las siguientes condiciones: cada unidad de muestreo tiene la misma probabilidad de tener un individuo; la ocurrencia de un individuo en la unidad de muestreo no influye en su ocupación por otro, cada unidad de muestreo esta igualmente disponible para cualquier individuo y el número de individuos por unidad de muestreo es relativamente bajo para la máxima posibilidad, se requiere realizar una estimación promedio del número de individuos por unidad de muestreo.

Los pasos en este procedimiento fueron:

- a) Hipótesis: El número de individuos por unidad de muestreo pertenece a una distribución Poisson. Si esta hipótesis se acepta, se concluye que la población se dispersa de forma aleatoria. Si la hipótesis se rechaza, el modelo no es aleatorio.
- b) Frecuencia de distribución, se resumen los datos de la muestra que consisten en el número de individuos por unidad de muestreo como una distribución de frecuencia.
- c) La probabilidad de Poisson es la posibilidad de encontrar individuos en una unidad de muestreo, esto es $P(x)$, donde $x = 0, 1, 2, \dots, r$ individuos. La suma de las probabilidades será uno.

0 plantas	$f = e^{-m}$
1 planta	$f = me^{-m}$
2 plantas	$f = m^2 e^{-m} / 2!$
3 plantas	$f = m^3 e^{-m} / 3!$
4 plantas	$f = m^4 e^{-m} / 4!$
5 plantas	$f = m^5 e^{-m} / 5!$

6 plantas

$$f = m^6 e^{-m} / 6!$$

- d) Las frecuencias esperadas de Poisson se obtiene multiplicando por el número total N de las unidades de muestreo.
- e) Finalmente la prueba de Chi cuadrada es usada para determinar las frecuencias observadas con las frecuencias esperadas, aplicando la siguiente fórmula:

$$\chi^2 = \sum \frac{(Frec. Obs. - Frec. Esp.)^2}{frec. Esp.}$$

Esta prueba estadística es comparada con la tabla de probabilidades de Chi cuadrado (χ^2) con los grados de libertad de $(q - 2)$. Si la prueba estadística de χ^2 es mayor que χ^2 tabular (por ejemplo al 0.5%) se concluye que es improbable que la distribución frecuencia sea una serie de Poisson y se rechaza la hipótesis nula.

Teniendo en cuenta los valores del cuadro 3, se encontraron hasta 15 árboles en una parcela de una hectárea como es el caso del cebil, por tanto, los grados de libertad es $16 - 2 = 14$ para obtener los valores de χ^2 tabular.

Para tomar decisiones se considera que si el valor de χ^2 se encuentra dentro del rango establecido por los valores de la tabla de χ^2 (0.975 - 0.025) la distribución es aleatoria. Si el valor del resultado de χ^2 es mayor, la distribución será agrupada y si es menor la distribución será uniforme.

Estos resultados muestran que mayoritariamente las especies crecen de manera agrupada y ninguna se distribuye uniformemente, aunque pocas especies demuestran distribución aleatoria. Este aspecto, se explica porque los requerimientos medioambientales son similares por tratarse de una superficie relativamente pequeño, es decir, las especies tienen requerimientos del sitio muy parecidos, porque los individuos crecen uno cerca del otro, en asociación positiva.

Cuadro N° 8. Valores de Chi cuadrado (χ^2)

Especie	Chi calculado	Rango de Chi		Distribución
		0,975	0,025	
Afata	6,2	0,051	7,378	Aleatoria
Aguay	20,3	0,216	9,348	Agrupada
Barroso	33	0,216	9,348	Agrupada
Cascarilla	30,8	0,216	9,348	Agrupada
Cebil colorado	80,6	5,629	26,119	Agrupada
Cedrillo	2,5	1,237	14,119	Aleatoria
Lanza Amarilla	12,9	0,484	11,143	Agrupada
Lanza blanca	31,5	1,69	16,013	Agrupada
Lapacho amarillo	42,8	3,247	20,483	Agrupada
Quina colorada	6,2	0,051	7,378	Aleatoria

Con la prueba del χ^2 se pueden confeccionar también tablas de contingencia, para determinar el grado de asociación vegetal, a fin de explicar la conformación de asociaciones y consociaciones si hay dominancia de más de dos especies en el ecosistema forestal.

		Especie B		
		Presente	Ausente	
Especie A	Presente	Tipo a	Tipo b	a + b
	Ausente	Tipo c	Tipo d	c + d
		a + c	b + d	n

El tipo “a” es aquel en que ambas especies A y B están presentes en un número determinado de parcelas; el tipo “b” representa el número de parcelas en que la especie A está presente y la especie B ausente; el tipo “c” es aquel en que la especie A está ausente y la B presente y el tipo “d” es aquel número de parcelas en que ambas especies A y B están ausentes. Si hay una asociación positiva entre ambas especies se espera que la mayoría de las parcelas muestreadas caigan en los tipos “a” y “b” y si es negativa, en los tipos “b” y “c”. Si ambas especies se distribuyen independientemente, no habiendo asociación entre ellas, se espera que las parcelas muestreadas se distribuyan más o menos proporcionalmente en los cuatro tipos. La prueba de Chi cuadrado (χ^2) servirá también en este caso para indicar la probabilidad de que dos especies tengan algún tipo de asociación entre ellas o se distribuyan independientemente. A manera de ejemplo, se toma dos especies con diferentes grados de agregación, para determinar el grado de asociación entre estas especies, con $\alpha = 0.05$

		Quina colorada (B)		
		Presente	Ausente	Total
Cebil colorado (A)	Presente	33	51	84
	Ausente	5	11	16
	Total	38	62	100

H_0 : $p_1 = p_2$ (existe una asociación positiva entre las dos especies)

H_1 : Ambas especies se distribuyen independientemente.

Los valores $O_{ij} = 33; 51; 5$ y 11 corresponden a los valores observados, los valores esperados se calcula usando la siguiente fórmula:

$$E_{ij} = \frac{(\text{total de } i - \text{ésimo renglón} \times \text{total de } j - \text{ésima columna})}{n}$$

Por ejemplo para la frecuencia teórica de “a” (ambas especies A y B están presentes en un número determinado de parcelas) $84 \cdot 38 / 100 = 31,9$. De esta manera se confecciona el cuadro de frecuencias observadas y frecuencias teóricas o esperadas para prueba de Chi cuadrado (χ^2).

Cuadro N° 9. Valor de Chi cuadrado (χ^2) para la asociación de Cebil y Quina

Clase	F_o	F_e	$(F_o - F_e)$	$\chi^2 = \sum \frac{(Frec. Obs. - Frec. Esp.)^2}{frec. Esp.}$
a	33	31,9	1,1	0,04
b	51	52,1	-1,1	0,02
c	5	6,1	-1,1	0,20
d	11	9,9	1,1	0,12
Total				0,38

Para determinar el valor crítico del estadístico de prueba se procede a determinar los grados de libertad usando la fórmula: $gl = (r - 1)(c - 1)$, $g.l. = (2-1)(2-1) = 1$. El valor crítico del estadístico Chi-cuadrado para $\alpha = 0.05$ y $g.l. = 1$ se denota $\chi^2_{0.05}(1)$ en la tabla Chi Cuadrado (χ^2) y éste vale 3,841 Luego el Chi calculado es $\chi^2 = 0,38$

Como este dato estadístico está localizado en la región de aceptación de la hipótesis nula (H_0) y se concluye que existe asociación entre las especies, a pesar de tener diferentes grados de dispersión. Este aspecto desde el punto de vista ecológico es aceptable debido que los ecosistemas forestales son producto de una adaptación de formas de vida que viven en armonía con factores bióticos y abióticos interrelacionados entre sí, donde cada individuo ha encontrado su nicho que le ubica en un gremio ecológico en su hábitat.

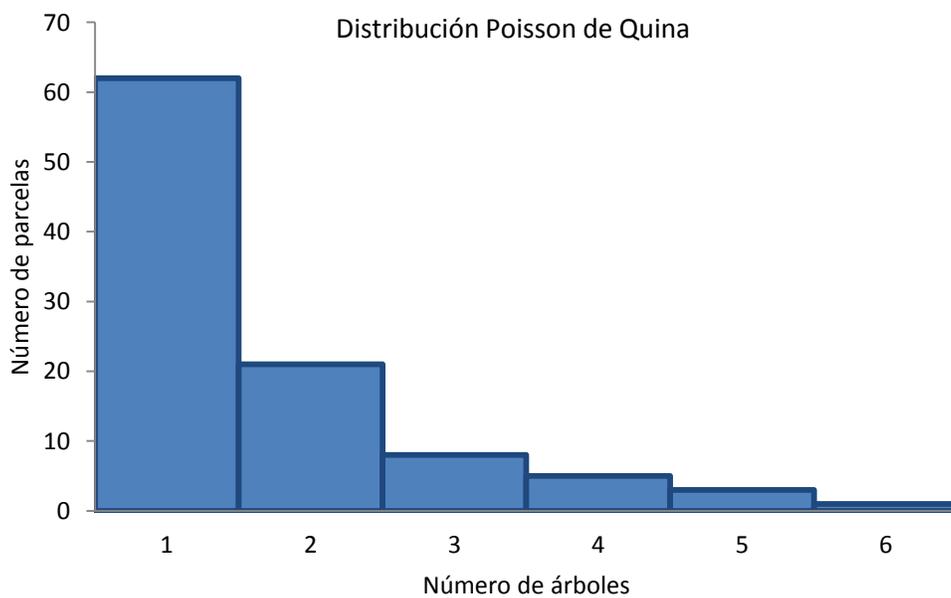
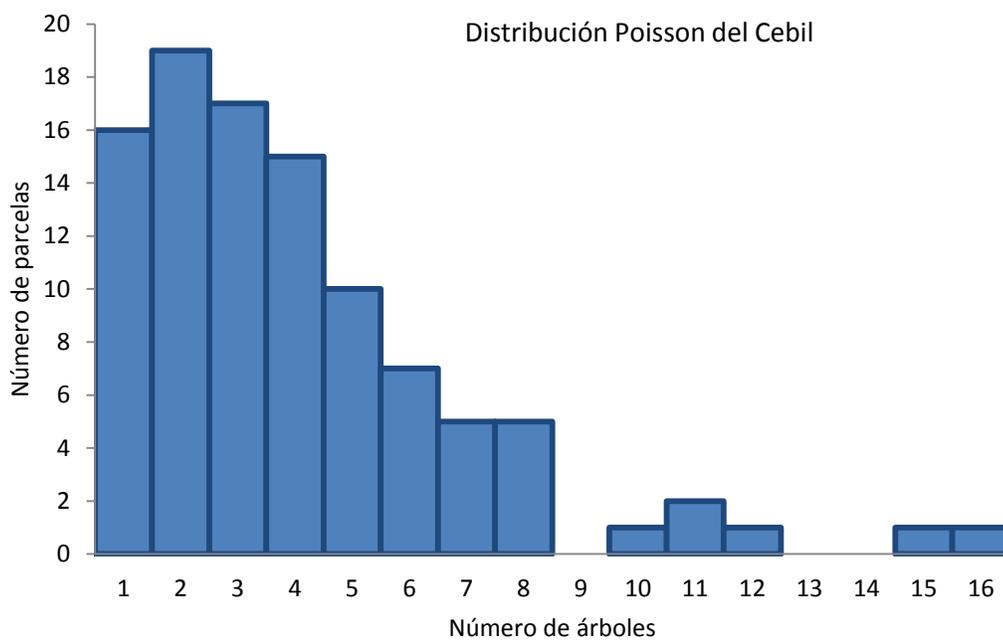


Gráfico N° 5. Distribución del número de árboles por número de parcelas ajustadas a Chi Cuadrado (χ^2) de las especies Cebil colorado y Quina colorada.

3.3.5 MÉTODO GRÁFICO DE DISPERSIÓN

Sobre la base de datos del censo forestal se ubicó espacialmente la posición de cada árbol en el bosque, detectándose a nivel general zonas de concentración que muestran la tendencia al agrupamiento de algunas especies, y hay otras especies que presentan individuos distribuidos aleatoriamente. Con el fin de ayudar al análisis, se presenta un cuadro resumen de los índices de agrupamiento con los distintos métodos para las especies estudiadas.

Cuadro N° 10. Resumen de los índices de agregación para las especies analizadas

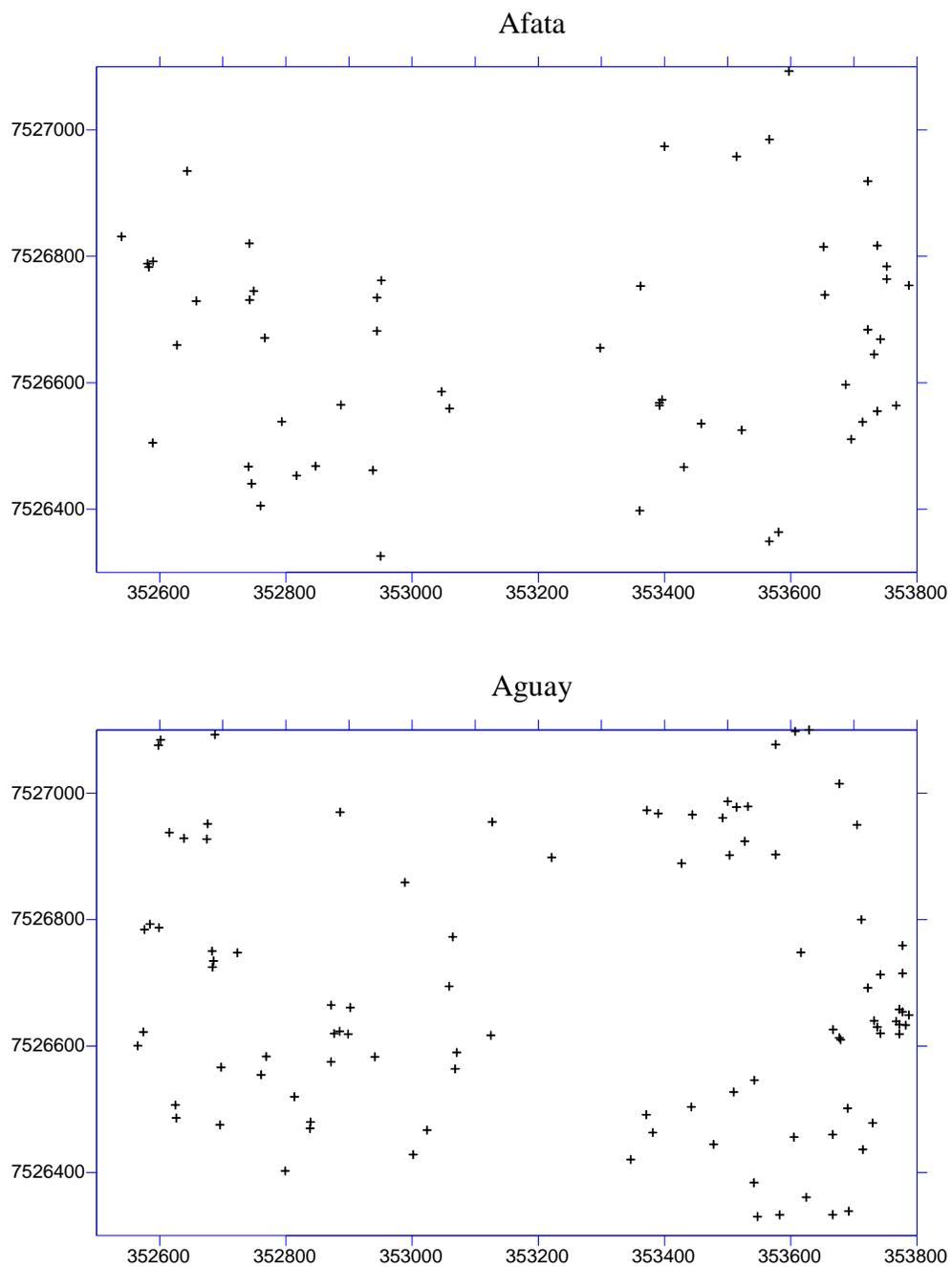
Especie	Método				
	Mc Guinness	Fracker	No randomizada	Chi Cuadrado	Grafico
Afata	*	**	**	*	**
Aguay	**	**	***	*	**
Barroso	**	***	***	***	***
Cascarilla	*	*	*	**	*
Cebil colorado	**	**	***	***	**
Cedrillo	*	*	**	*	*
Lanza Amarilla	**	**	***	*	*
Lanza blanca	**	**	***	***	***
Lapacho amarillo	**	**	***	***	**
Quina colorada	*	*	**	*	*

*** Agrupados

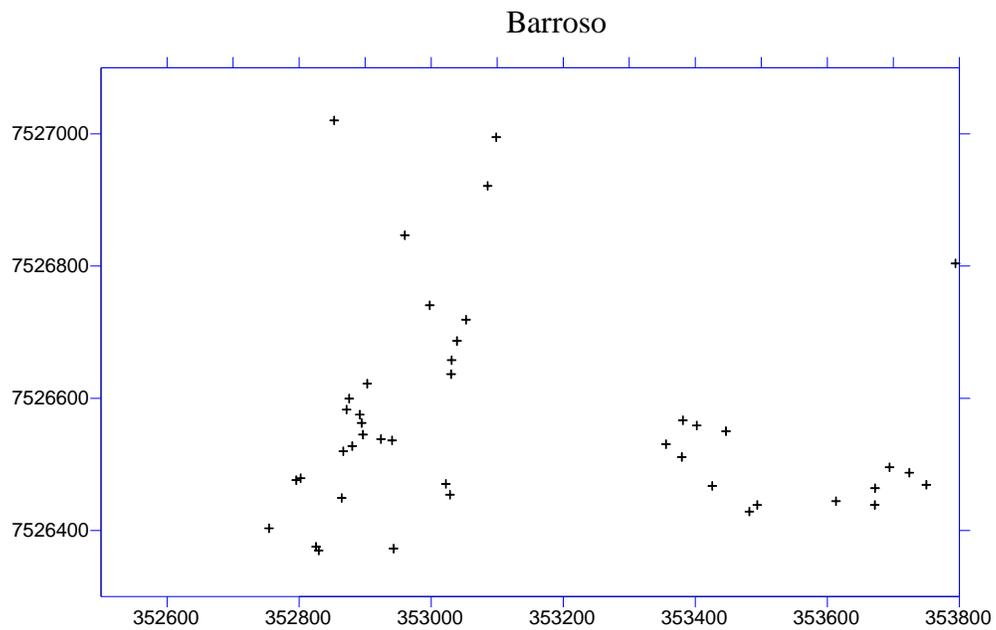
** Tendencia al agrupamiento

* Distribución aleatoria

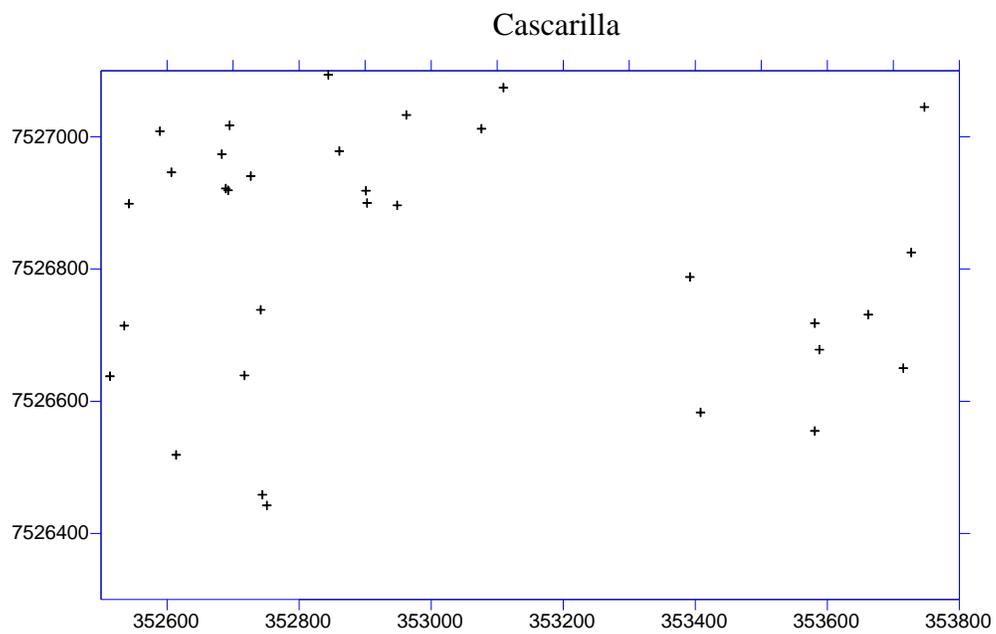
Para el caso de la especie afata, la representación gráfica muestra dos grupos definidos de tendencia al agrupamiento, pero observando con visión de conjunto es aleatoria, aspecto que es reflejado de manera clara con los índices de agregación.



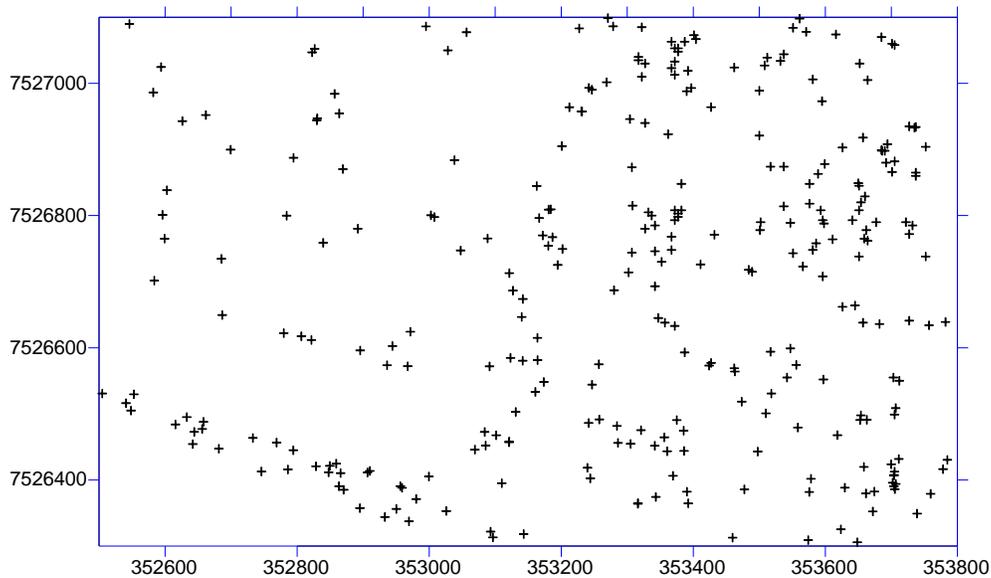
La especie Aguay, muestra también su tendencia al agrupamiento, aunque en la parte central del área de estudio, tiene comportamiento aleatorio, cuya característica es detectada por el método del Chi Cuadrado (χ^2). Su distribución espacial se atribuye al tipo de frutos que son comestibles por la fauna silvestre que dispersan los disémulos.



La especie barroso, muestra claramente su condición de agrupado, que es también corroborado por los índices de dispersión, en cambio la especie cascarilla tiene distribución aleatoria en el área con separación considerable entre individuos de la misma especie, sin embargo, hay dos manchas que denotan agrupamiento en rodales pequeños.

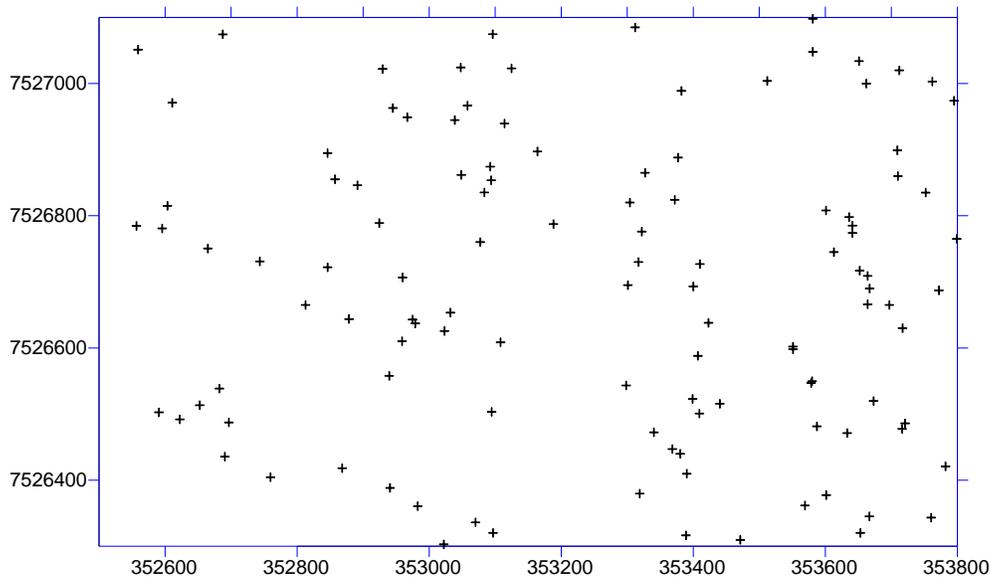


Cebil colorado



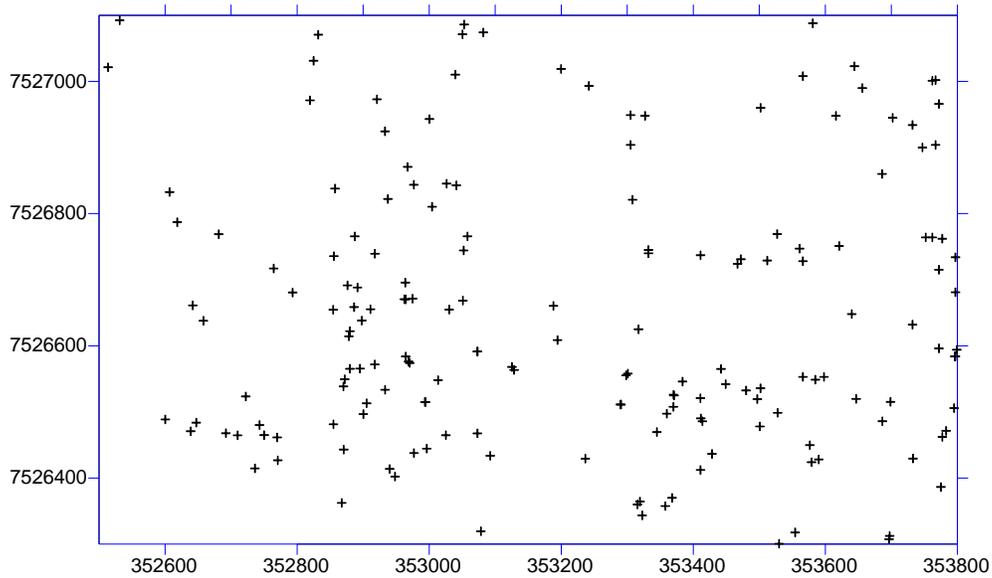
El cebil a pesar de estar presente en toda el área, muestra su tendencia a agrupamiento concentrados especialmente en las partes bajas de cañadones angostos de ladera inferior de serranías con pendientes pronunciados.

Cedrillo

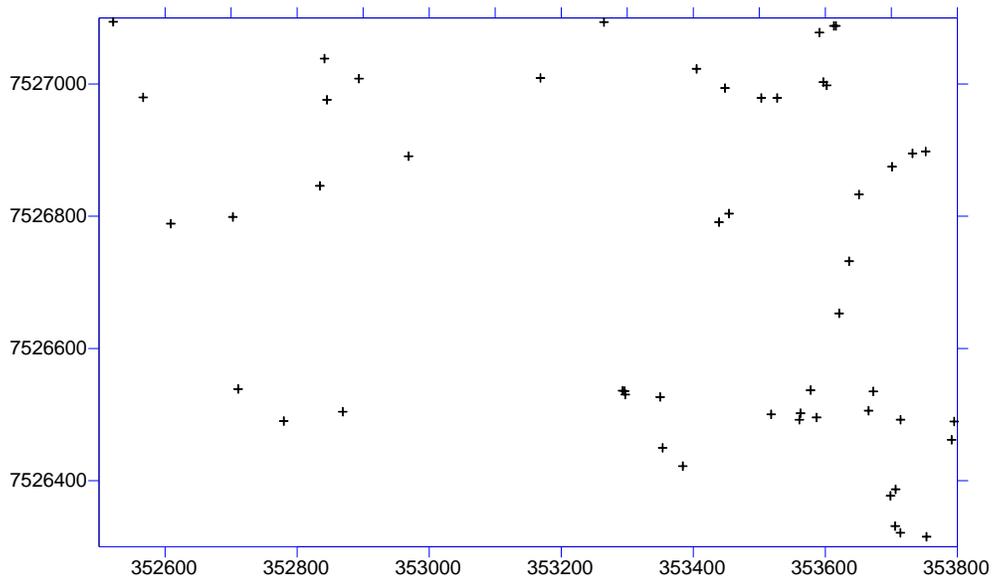


El cedrillo tiene distribución aleatoria en las 100 hectáreas levantadas, aunque es exigente en la posición fisiográfica que prefiere depresiones y claros del bosque por su condición de especie heliófita.

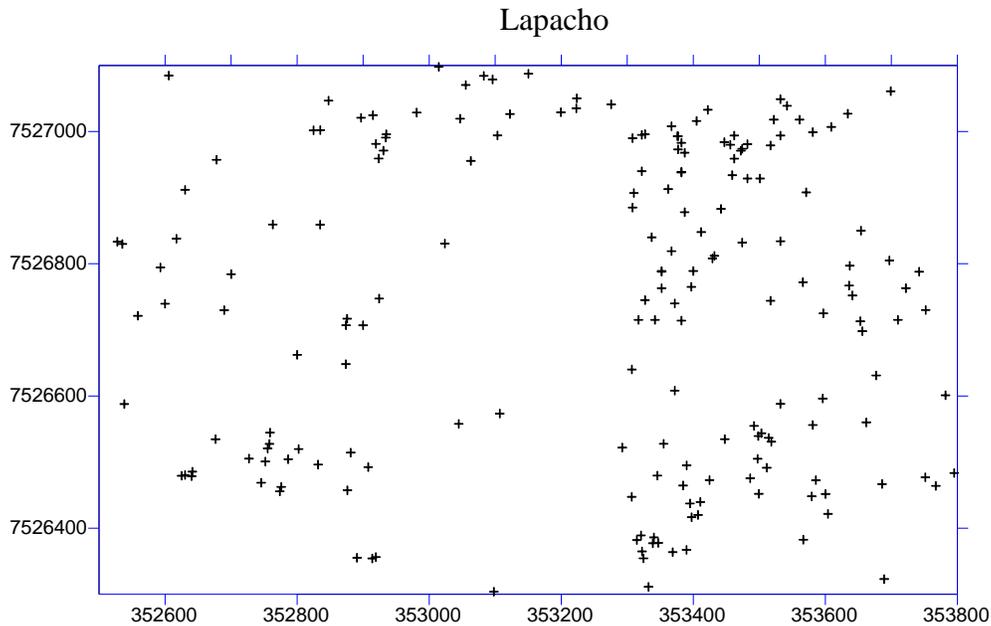
Lanza blanca



Lanza amarilla

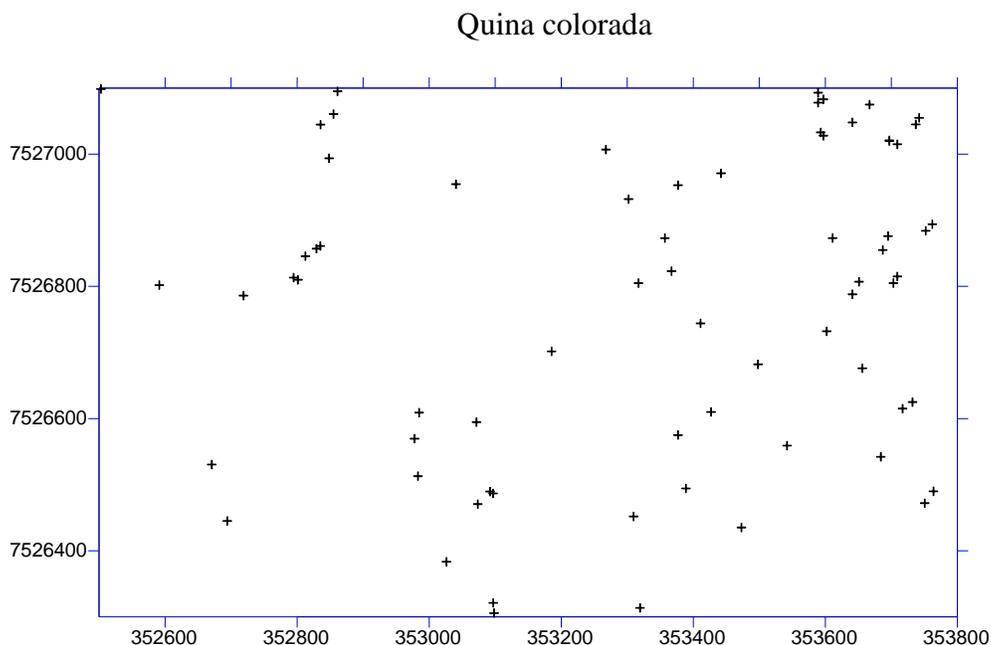


La especie Lanza blanca tiene tendencia al agrupamiento, mientras que la Lanza amarilla más parece distribución aleatoria con abundancia escasa y es poco frecuente.



La especie Lapacho, tiene distribución agrupada con una mancha considerable en la parte noreste de la zona de estudio, mientras en la zona oeste tiene tendencia al agrupamiento, es una especie heliófila que domina el dosel superior del bosque conjuntamente con los cebiles cuyas semillas son dispersadas por el viento.

En el caso de la especie quina colorada, tiene un comportamiento aleatorio, aunque en la parte noreste se presenta una pequeña mancha con tendencia a agruparse. Estos datos reflejan la situación actual, de algún modo sirven para inferir la estructura horizontal en el bosque, sin embargo, es digno resaltar que la quina es considerada especie de alto valor comercial en la canasta de especies valiosas que es sometido a una extracción intensiva en forma furtiva en la comunidad de Salado Norte y esto es reflejado en la abundancia y dominancia de cada una de las especies en el bosque.



3.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo a la legislación boliviana, se establece que debe realizarse necesariamente censos forestales en las áreas de aprovechamiento y sobre la base de esta información se elabora el plan de manejo forestal, en cuyo instrumento la distribución espacial de los árboles es el elemento importante para planificar el aprovechamiento forestal, posiblemente esta sea la causa de no haber incursionado a las estimaciones de la estructura horizontal a través de los índices de agregación que pudieran ser la primera aproximación para planificar los inventarios, las faenas de aprovechamiento y la elaboración de instrumentos de manejo forestal.

En esta realidad, existen escasos trabajos de investigación en la temática de aplicación de índices de dispersión para especies forestales, en los que se destaca el trabajo de Arenas (2004) de haber aplicado la prueba de Poisson para determinar el grado de dispersión de especies forestales comerciales del Chaco Serrano, habiendo encontrado que el cebil colorado y el cedro tienen a agruparse. Por otro lado, Rueda (2002) reporta resultados del análisis de 12 especies forestales en donde destaca la

tendencia marcada a la agrupación de las especies en bosque mesofítico de Santa Cruz.

Sin embargo, en otras latitudes hay bastantes aportes en el uso de índices de agregación de árboles forestales, en este sentido, Malleux (2006) publica en la revista forestal del Perú (vol 5), el análisis de dispersión de árboles forestales del bosque húmedo tropical, en la que destaca que el factor de agrupamiento responde a las características edáficas y a la particularidad de las semillas de las especies para diseminarse. Asimismo, Mercado *et al*, aplicaron índices de dispersión para determinar la distribución espacial de especies forestales en Ucayali (Perú) habiendo encontrado la tendencia al agrupamiento de la mayoría de las especies analizadas, aspecto coincide con los resultados obtenidos en nuestra investigación, lo que quiere decir, que los bosques naturales están constituidos por árboles que conforman asociaciones climáticas y edáficas con tendencia a agruparse.

Comparando el método gráfico con los demás corroboran los resultados obtenidos a través de los métodos analíticos y demuestran la relación ecológica entre las asociaciones entre las distintas especies, cosa que no se podría lograr tan objetivamente de manera sencilla a simple vista en el bosque. No obstante, hay que aclarar que hay ciertas discrepancias entre los métodos en lo que se refiere al grado de agrupamiento, es decir, la afata y el aguay tienen tendencia a agruparse, pero la prueba de Chi cuadrado (χ^2) dice que tiene distribución aleatoria, posiblemente por tratarse de una prueba estadística más analítica detecta esta situación con respecto al área total, en cambio, el método gráfico muestra la tendencia al agrupamiento, por lo demás, los resultados corroboran la distribución espacial de los árboles estudiados. En cuanto a los métodos, la aplicación es bastante sencilla con excepción de la prueba del Chi Cuadrado (χ^2) que requiere tener una buena base en estadística, el método gráfico es sencillo pero costoso, porque requiere de resultados de censos forestales para georeferenciar la posición real de los árboles en el campo.

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

Las conclusiones al finalizar el presente trabajo son los siguientes:

- La especie Cebil Colorado es la que tiene mayor abundancia y queda reflejado en la dominancia, pero no ocurre lo mismo con el Lapacho que ocupa el segundo lugar en abundancia y tercer lugar en dominancia, esto indica que el peso ecológico de las especies no está únicamente reflejado por la abundancia sino también por la frecuencia y el área basal (dominancia). Por otra parte, la especie Barroso, presenta menor abundancia por unidad de superficie, pero su área basal supera a otras especies que presentan mayor abundancia en el bosque. En cambio la especie Aguay siendo de mayor abundancia presenta menor dominancia por ser individuos de diámetros menores.
- La determinación de los índices de dispersión a través de los métodos indirectos son relativamente sencillos y factibles de ser usados y estos demuestran que las especies estudiadas tienen tendencia a agruparse, aunque en caso de algunas especies como la Cascarilla en los métodos de Mc Guinness, Fracer y Brischle, No randomizado y gráfico muestran la condición de distribución aleatoria, mientras que por el método del Chi Cuadrado (χ^2) es clasificada como agrupada por ser este método de carácter probabilístico.
- El método analítico del Chi Cuadrado (χ^2), para determinar patrones de distribución es complicado, laborioso y requiere de conocimientos de estadística, pero es un método que otorga información confiable sustentado en pruebas estadísticas, de modo que esta prueba demuestra las tendencias de agrupamiento de las especies estudiadas, mismo que es corroborado por el método gráfico que representa en forma real y objetiva la distribución de los árboles en el terreno.

- En base al método del Chi Cuadrado (χ^2), los valores calculados y el mapeo gráfico indican que la Especie Afata, Aguay, Cebil y Lapacho tienen tendencia al agrupamiento; en cambio las especies Barroso y Lanza Blanca crecen agrupados, finalmente las especies Cascarilla, Cedrillo, Lanza Amarilla y Quina Colorada tienen distribución aleatoria.
- La distribución de Poisson y la razón Varianza/Media son útiles para establecer patrones de disposición espacial, teniendo en cuenta que el primero analiza al conjunto de frecuencias de ocurrencias en una serie de eventos y la segunda clasifica la distribución espacial, esto es válido cuando no se cuenta con datos de censo para representar gráficamente sobre un mapa la ubicación a través de sus coordenadas de los árboles.
- Al evaluar el grado de asociación entre especies con distintos índices de agregación, la prueba del Chi Cuadrado (χ^2) y de tablas de contingencia se pudo determinar que existe asociación entre las especies que comparten este hábitat, a pesar de reflejar diferentes grados de dispersión, aspecto aceptable desde el punto de vista ecológico, debido que los ecosistemas forestales son producto de una adaptación de formas de vida que viven en armonía con factores bióticos y abióticos interrelacionados entre sí.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda efectuar investigaciones tendientes a determinar los factores fisiológicos, ambientales y ecológicos que provocan agregación y dispersión de las especies forestales de alto valor económico y ecológico, para relacionarlos con estudios de biodiversidad y comparación entre hábitat en distintas condiciones ambientales a fin de contribuir a la conservación de los ecosistemas forestales del departamento.
- Para intervenir en bosques de la Selva Tucumana Boliviana deben considerar en los planes de manejo forestal, los resultados de agregación encontrados en

el presente estudio para encarar actividades de intervención en el bosque como ser: muestreo, inventario y censo forestal.

- Es importante continuar con estudios de distribución espacial desde el punto de vista de la dinámica de las especies forestales y de las formas de vida asociadas a estas especies, puesto que incrementarían insumos valiosos para la interpretación de la ecología de los sistemas forestales.
- Las investigaciones de descripción y análisis estructural de las masas forestales incorporar estudios de distribución espacial de los individuos componentes del bosque para encarar de mejor manera las intervenciones silviculturales.