



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA ESTADÍSTICA INFORMÁTICA

“ANÁLISIS ESTADÍSTICO ESPACIAL CON PATRONES DE PUNTOS PARA CARACTERIZAR LA BIOMASA FORESTAL AÉREA EN CEJA ANDINA DE LA ZONA SUR OCCIDENTAL DEL PARQUE NACIONAL SANGAY.”

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para obtener el grado académico de:

INGENIERO EN ESTADÍSTICA INFORMÁTICA

AUTOR: JUAN CARLOS NARVAEZ PILCO

DIRECTORA: Ing. AMALIA ISABEL ESCUDERO VILLA

Riobamba – Ecuador

2020

© 2020, Juan Carlos Narvaez Pilco

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Juan Carlos Narvaez Pilco, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 19 de Noviembre del 2020



Juan Carlos Narvaez Pilco

CI: 060495075-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ESTADÍSTICA INFORMÁTICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación, certifica que: El trabajo de investigación: “**ANÁLISIS ESTADÍSTICO ESPACIAL CON PATRONES DE PUNTOS PARA CARACTERIZAR LA BIOMASA FORESTAL AÉREA EN CEJA ANDINA DE LA ZONA SUR OCCIDENTAL DEL PARQUE NACIONAL SANGAY.**”, de responsabilidad del señor Juan Carlos Narvaez Pilco, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

	Firma	Fecha
Ing. Carlos Rolando Rosero Erazo PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2020/11/19
Ing. Amalia Isabel Escudero Villa DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACION	_____	2020/11/19
Dra. Magdy Mileni Echeverría Guadalupe PhD MIEMBRO DE TRIBUNAL	_____	2020/11/19

DEDICATORIA

A Dios, quien con su infinito amor me ha llenado de sabiduría para cumplir una meta más en mi vida.

A mis padres Marina Genoveva Pilco y Jorge Pedro Narvaez, quienes permanecieron junto a mi apoyándome en todo momento, y porque son el pilar fundamental en el logro alcanzado.

A mis hermanos, por su apoyo incondicional dándome palabras de aliento, así como también económicamente, por ser parte de mi vida en los malos y buenos momentos.

A mis demás familiares y amigos, que de una u otra manera me apoyan para alcanzar mi objetivo tan anhelado, con mis seres que me cuidan desde el cielo.

Juan

AGRADECIMIENTO

Mi profundo agradecimiento a:

Dios y la Virgen por brindarme el privilegio de vivir y de conocer a personas muy maravillosa en mi vida estudiantil y familiar, a mis padres que me supieron guiar por un buen camino, a ser responsable y humilde, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por óbreseme la oportunidad de la formarme académicamente para servir a la sociedad. De manera equivalente a los docentes que están encargados de nuestra formación, con sabiduría quienes impartieron sus conocimientos.

De manera especial a la Ing. Isabel Escudero y Dra. Magdy Echeverria quienes fueron guías en este trabajo, como también a los docente Ing. Alexandra Marcatoma, Ing. Héctor Mullo, Mat. Alberto Vilañez, Dr. Jorge Congacha, Ing. Milton López, Ing. Carlos Rosero, Ing. Lourdes Paredes, Ing. Pablo Flores, Ing. Carola Flores y al Dr. Luis Vera, Mat. Marcelo Cortéz quienes compartieron junto a mí y mis compañeros su ejemplo, amistad y sabiduría con los conocimientos impartidos.

Agradezco a mis compañeros y amigos que compartieron junto a mí los salones de clases ya que con ellos vivimos momentos inolvidables en cada uno de los periodos académicos.

Al Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC) por el apoyo e incentivarnos a la investigación como también a los investigadores Ing. Diego Damian, Ing. Carlos Bonilla, Ing. Alexander Guambo, Ing. Frankin Kargua, Ing. Silvia, Ing. Andrea Echeverría y al resto de los miembros del grupo de investigación por el apoyo ofrecido y la información forestal utilizada en este estudio.

Juan

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE ANEXOS.....	xii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	8
1.1. Definiciones Básicas.....	8
1.1.1. <i>Problemática Ambiental</i>	8
1.1.2. <i>Los Bosques</i>	9
1.1.3. <i>Los Bosques frente al cambio climático</i>	10
1.1.4. <i>Los Bosques en el Ecuador</i>	10
1.1.5. <i>Biomasa</i>	10
1.1.6. <i>Biomasa en ecosistema forestal</i>	11
1.1.7. <i>Volumen del árbol</i>	11
1.1.8. <i>Área basal forestal</i>	12
1.1.9. <i>Incremento medio anual (IMA)</i>	12
1.1.10. <i>Carbono</i>	12
1.1.11. <i>Carbono orgánico</i>	13
1.1.12. <i>Fijación del carbono</i>	13
1.1.13. <i>Depósitos de carbono</i>	14
1.1.14. <i>Biomasa aérea</i>	14
1.1.15. <i>Fuste</i>	14
1.2. Técnicas estadísticas.....	14
1.2.1. <i>Patrones de puntos espaciales</i>	14
1.2.2. <i>La descripción de un proceso de puntos</i>	16
1.2.3. <i>Patrones de puntos marcados</i>	16
1.2.4. <i>Estadística espacial</i>	16
1.2.5. <i>Áreas de la estadística espacial</i>	17

1.2.6. <i>Geoestadística</i>	17
1.2.7. <i>Patrones espaciales de puntos</i>	17
1.2.8. <i>Estadística para patrones de puntos</i>	17
1.2.9. <i>Puntos uniformemente aleatorios</i>	18
1.2.10. <i>Proceso de punto binomial</i>	18
1.2.11. <i>Completa aleatoriedad espacial</i>	19
1.2.12. <i>Método de conteo por cuadrantes para Aleatoriedad espacial completa (CSR)</i>	19
1.2.13. <i>Proceso del cluster Matérn</i>	20
1.2.14. <i>Función de Patterson – Fry</i>	20
1.2.15. <i>El análisis refinado de la distancia al vecino más próximo</i>	21
1.2.16. <i>La función K de Ripley</i>	21
1.2.17. <i>Función g –Correlación por pares</i>	22

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO	24
2.1. Tipo y diseño de la investigación	24
2.2. Descripción del área de estudio	24
2.3. Población de estudio	25
2.4. Recolección de la información	25
2.5. Operacionalización de variables	25

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	26
3.1. Análisis descriptivo General	27
3.1.1. <i>Análisis de frecuencias</i>	30
3.1.2. <i>Datos atípicos</i>	32
3.2. Análisis de datos espaciales	34
3.2.1. <i>Análisis descriptivo espacial</i>	34
3.2.2. <i>Estimación por cuadrantes</i>	36
3.2.3. <i>Método de conteo por cuadrantes para Aleatoriedad espacial completa (CSR)</i>	38
3.2.4. <i>Mapa de densidad o superficie de probabilidad</i>	39
3.2.5. <i>Mapa de superficie de concentración</i>	41
3.2.6. <i>Función de Patterson – Fry</i>	41
3.2.7. <i>Función K de Ripley</i>	44

3.2.8. <i>Función Correlaciones de pares</i>	44
3.2.9. <i>Análisis de sobres de simulación (Pointwise Envelopes)</i>	47
3.3. Análisis concentración de biomas forestal aérea	50
3.3.1. <i>Entre conglomerados</i>	50
3.3.2. <i>Entre parcelas</i>	50
3.4. Patrón de puntos de comportamiento de la biomasa forestal aérea	51
CONCLUSIONES	52
RECOMENDACIONES	54
GLOSARIO	
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Operacionalización de variables	25
Tabla 3-1:	Resumen de estadísticos descriptivos de la variable biomasa forestal aérea o carbono aéreo de manera general, por conglomerados y parcelas.	29
Tabla 3-2:	Análisis de aleatoriedad espacial completa, basado en conteo por cuadrantes.	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Componentes de la biomasa forestal	11
Figura 1-2: Ciclo del Carbono (C)	13
Figura 1-3: Patrones aleatorios a la izquierda, agregación en el medio y uniforme a la derecha	15
Figura 1-4: Patrones de puntos completamente aleatorios: 10 realizaciones simuladas del proceso del punto de Poisson.....	19
Figura 1-5: Geometría de la unción de K-Ripley	22
Figura 1-6: Geometría de la función g de correlación por pares.	23
Figura 2-1: Ubicación Ceja Andina de la Zona Sur Occidental del Parque Nacional Sangay	24

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3-1:	Mapa de la zona de estudio.	26
Gráfico 3-2:	Distribución de frecuencia de la biomasa forestal aérea en los casos de bosque secundario, primario y plantaciones forestales, con sus respectivas parcelas.	31
Gráfico 3-3:	Identificación de datos atípicos por conglomerados y parcelas.	33
Gráfico 3-4:	Localización de 407 árboles, distribuidos entre los conglomerados y las parcelas, estos que contienen la biomasa aérea en la reserva ecológica del parque Nacional Sangay.	35
Gráfico 3-5:	Conteo por cuadrantes “quadratcount”, de los tres conglomerados y sus respectivas parcelas.	37
Gráfico 3-6:	Estimación superficie de probabilidad o el mapa de calor de la biomasa forestal aérea.	40
Gráfico 3-7:	Superficie de la concentración de biomasa forestal aérea de los conglomerados y sus parcelas.	42
Gráfico 3-8:	Análisis de Patterson – Fry de los puntos de biomasa forestal aérea del bosque secundario, primario, plantaciones con sus respectivas parcelas.	43
Gráfico 3-9:	Estimación de la función K homogénea (b) y no homogénea (a, c), usando dos correctores de borde: iso, trans el bosque secundario, primario, plantaciones y sus parcelas.	45
Gráfico 3-10:	Estimación de la función pair-correlation g homogéneo b) y no homogéneo (a, c), con correctores de borde son: Ripley, Trans, correspondiente a la biomasa forestal aérea de los tres caso y sus parcelas.	46
Gráfico 3-11:	Pointwise envelopes, caso homogéneo b), no homogéneo a), c), para la base de datos de biomasa forestal aérea del bosque secundario, primario, plantaciones y sus distintas parcelas usando K.	48
Gráfico 3-12:	Pointwise envelopes, caso homogéneo b), no homogéneo a), c), para la base de datos de biomasa forestal aérea del bosque secundario, primario, plantaciones y sus distintas parcelas usando g.	49
Gráfico 3-13:	Concentración de biomasa forestal aérea de los conglomerados bosque secundario, primario y plantaciones.	50
Gráfico 3-14:	Concentración de biomasa forestal aérea entre las 3 parcelas de cada conglomerado.	50

ÍNDICE ANEXOS

- ANEXO A:** LIBRERÍAS DE R-STUDIO UTILIZADAS
- ANEXO B:** IMPORTACIÓN DE DATOS A R-STUDIO.
- ANEXO C:** ANÁLISIS DE GENERAL DESCRIPTIVO
- ANEXO D:** ANÁLISIS DE HISTOGRAMAS
- ANEXO E:** CÓDIGO CREACIÓN DEL MAPA
- ANEXO F:** CÓDIGO CREACIÓN DEL CONTEO POR CUADRANTES
- ANEXO G:** CÓDIGO DE LA CHI-CUADRADA DE AEC
- ANEXO H:** CÓDIGO DE ANÁLISIS DE CONCENTRACIÓN O SUPERFICIE DE
PROBABILIDAD
- ANEXO I:** CÓDIGO DEL ANÁLISIS DE LOS PATRONES PUNTUALES

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Gt	Gigatonelada
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
IPCC	El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático
GEI	Gases de Efecto Invernadero
C	Carbono
CO₂	Dióxido de carbono
CH₄	Metano
N₂O	Dióxido nitroso
CIFCs	cloroflourcarbonados
O₃	Ozono
m³	Metro cúbico
IMA	Incremento medio anual
AEC	Aleatoriedad Espacial Completa
CSR	Complete spatial randomness
H₀	Hipótesis Nula
H₁	Hipótesis Alternativa
K(r)	Función K De Ripley
g(r)	Función Pair-Correlation
Ad hoc	Es un latinismo que significa "a propósito, para esto"
Mg/ha	Mega gramos por hectárea
BS	Bosque secundario
BP	Bosque primario
PF	Plantaciones Forestales

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue analizar modelos de patrones de puntos espacial, para caracterizar la biomasa forestal aérea de la ceja andina de la zona sur occidental del parque nacional Sangay, utilizando datos del Grupo de Investigación Desarrollo Ambiente y Cambio Climático (GIDAC –ESPOCH), en conglomerados denominados bosque secundario BS, bosque primario BP y plantaciones forestales PF. El estudio de variables forestales toma relevación en el ámbito científico, político y ambiental por sus implicaciones en la modificación de la dinámica de los ecosistemas; la variable biomasa forestal aérea, conto con 407 datos. Se identificó valores atípicos en la base de datos, misma que fueron separados del estudio, pero se realizó el relleno respectivo con la mediana. Con el análisis descriptivo espacial del BS, BP y PF, apoyado se del cálculo por cuadrantes se analizaron los conglomerados con la finalidad de rechazar o no rechazar de la hipótesis de concentración homogénea (AEC), para el número de cuadrantes 26, 25 y 13, se obtuvo un p menor que nuestro nivel de significancia de 0,05, mientras que las pácelas que son del BS y PF, con número de cuadrantes de 16, 15, se rechaza la hipótesis nula, y las parcelas del bosque primario en el cuadrante de 16 en las 3 parcelas, el p es: 0,7728 0,1294 0,9566 respetivamente, por lo que se rechazó la hipótesis nula. El método de Patterson - Fry que muestra ^{alta} aglomeración de puntos en el centro del gráfico, sigue un patrón o proceso agregado. Las gráficas de curvas de $K(r)$ y pair –correlation $g(r)$ homogéneas y no homogéneas dieron como resultado un proceso agregado. La mayor concentración de biomasa aérea corresponde a BS con 76,77 Mg/ha y a la parcela 1 con 28,40 Mg/ha.

Palabras clave: <ESTADÍSTICA ESPACIAL>, <PROCESOS PUNTUALES>, <DISTRIBUCIÓN ESPACIAL>, <BIOMASA FORESTAL AÉREA>, <CORRELACIÓN POR PARES>



29/01/2021

0591-DBRAI-UPT-2021

ABSTRACT

The objective of the present work was to analyze models of spatial point patterns, to characterize the aerial forest biomass of the Andean brow bone of the south western zone of the Sangay National Park, using data from the Research Group for Environment and Climate Change (GIDAC -ESPOCH), in conglomerates called secondary forest BS, primary forest BP and forest plantations PF. The study of forest variables is relevant in the scientific, political and environmental field due to its implications in modifying the dynamics of ecosystems; the aerial forest biomass variable had 407 data. Outliers were identified in the database, which were separated from the study but the respective filling with the median was performed. With the spatial descriptive analysis of the BS, BP and PF, supported by the calculation by quadrants, the conglomerates were analyzed in order to reject or not reject the hypothesis of homogeneous concentration (AEC), for the number of quadrants 26, 25 and 13, a p lower than our significance level of 0.05 was obtained, while the parcels that are from the BS and PF, with a number of quadrants of 16, 15, the null hypothesis is rejected, and the plots of the primary forest in the quadrant of 16 in the 3 plots, the p is: 0.7728 0.1294 0.9566 respectively, so the null hypothesis was rejected. The Patterson-Fry method, which shows high clumping of dots in the center of the graph, follows an aggregate pattern or process. Homogeneous and non-homogeneous K (r) and pair-correlation g (r) curve graphs resulted in an aggregate process. The highest concentration of aerial biomass corresponds to BS with 76.77 Mg / ha and to parcel 1 with 28.40 Mg / ha.

Keywords: <SPACE STATISTICS>, <POINT PROCESSES>, <SPACE DISTRIBUTION>, <AERIAL FOREST BIOMASS>, <PAIR CORRELATION >

INTRODUCCIÓN

El elevado porcentaje de biomasa que se produce en el mundo está constituido en los ecosistemas forestales, estimándose que los bosques almacenan unas 296 Gt de carbono aéreo, tanto por encima como por debajo del suelo, en un aproximado del 50% de la biomasa es formada por el carbono que está almacenado en los bosques. La gran mayoría de carbono se encuentra en los bosques de América del Sur, África occidental y central, que esta encierra alrededor de 120 toneladas de carbono por hectárea solo en la biomasa viva y a nivel mundial es cercano a las 74 toneladas por hectárea (FAO, 2015, pp. 38-39).

Fenómenos estocásticos comúnmente encontrados en la naturaleza motivan el estudio de una serie de técnicas que permiten examinar la distribución de conjuntos de eventos ocurridos sobre una región del plano y un periodo de tiempo, el cual constituye un nuevo contexto indispensable para formalizar y resolver los interrogantes en el ejercicio de la investigación. El continuo aumento en la concentración de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) es un fenómeno estocástico ampliamente en discusión, tanto en el entorno científico, político, económico y ambiental por sus implicaciones en la alteración de la dinámica del ecosistema en el planeta, por ello el constante control de emisiones y flujos de carbono constituyeron temas de gran importancia de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) (IPCC, 2003).

En la actualidad los métodos y técnicas estadísticas evolucionan y con ello nuevos modelos estadísticos – matemáticos que conjuntamente con la tecnología unen la estadística con la geografía, dando lugar al espacio y el tiempo como ejes fundamentales de la modelización y análisis estadístico de datos espaciales. Este trabajo de investigación tuvo como fin identificar patrones de comportamiento espacial de la biomasa (carbono) forestal área en ceja andina de la zona sur occidental del parque nacional Sangay, mismo que se logró mediante un análisis descriptivo estadístico general, espacial, así como también un análisis de los modelos Patterson - Fry, función K de Ripley $K(r)$, función Pair-Correlation $g(r)$ y Pointwise Envelopes de la teoría de procesos puntuales espaciales. Los resultados obtenidos fueron de gran relevancia para: el Grupo de Investigación Desarrollo Ambiente y Cambio Climático (GIDAC), profesionales estadísticos inmiscuidos en esta área de investigación, los galenos especializados en análisis de las reservas forestales y para las personas de las comunidades aledañas a la zona de estudio.

Antecedentes

Según estudio realizado a nivel mundial sobre la captura del carbono en los bosques estos se encuentran entre los principales sumideros en el mundo, se almacenan unos 289 gigatoneladas (Gt) en árboles, vegetación, la madera muerta y el suelo. En general las reservas de carbono en la biomasa forestal disminuyeron en aproximadamente 0,5 Gt, principalmente debido a una reducción en el área forestal total (FAO, 2010).

En la tesis “Evaluación del carbono en la biomasa de 3 especies forestales (*Miconia Aspergillaris*, *Vallea Stipularis*, *Oreocallis Gradiflora*) en el bosque Aguarongo” realizado por Marcos Gutiérrez en el 2016 a identifico que los bosques juegan un rol fundamental no solo como factor de desarrollo de un país y de los modelos de sostenibilidad, sino que adquiere un protagonismo a nivel mundial por su probable reconocimiento como el sumidero de los ciclos del carbono, se estima que el 80% del carbono corresponde a los bosques y este es importante en el balance del carbono (Gutiérrez Flores, 2016)

Razo, Ramon, Gordillo, Alberto y Rodríguez, Rodrigo universidad autónoma del Estado de Hidalgo, México estable que en general la tasa de fijación de carbono por medio de procesos de fotosíntesis es más alta en es los bosques maduros, considerando que en los ecosistemas terrestres queda retenido en la biomasa aérea. De esta manera, los ecosistemas de bosques se destacan por su gran capacidad de fijar sus estructuras, de manera estable particularmente en la parte leñosa. Así, se ha estimado que los árboles asimilan y almacenan aproximadamente 84% de biomasa de la cual 46% es carbono (Razo, Gordillo y Rodríguez, 2013).

En 2016 Quispe, Braulio nominó a su tesis “Modelos estadísticos en procesos puntuales espaciales poisson para evaluar la distribución espacial de los hechos delictivos en Lima”, Demuestra que los procesos estocástico de patrones puntuales espaciales aleatorios. Especialmente se encuentran orientados a analizar algunas covariables espaciales que se relacionan los hechos de delitos, de dejo que la distribución en el país mencionado, no es homogénea ya que existe agrupación de puntos, las cuales se dedujo que existen zonas con un mayor número de delitos y su intensidad guardan relación con la ubicación de los límites distritales (Quispe, 2016).

Peter Diggle en el año 2013 del libro denominado *Statistical analysis of spatial point patterns* hace referencia a los modelos de procesos puntuales que surgieron en los años 1950 y 1960, principalmente en relación con el trabajo de campo de los ecólogos, que necesitaban investigar

la densidad y el patrón espacial de las comunidades de plantas en el campo. En la actualidad su uso ha incrementado por los avances tecnológicos, ya que hace sencilla la tarea de analizar un patrón de punto espacial (Diggle, 2013).

En el artículo “Spatial pattern analysis in ecology based on Ripley’s K -function: Introduction and methods of edge correction” publicado por Haase Peter en el 1995, realizaron análisis de patrones espaciales basados en la K de Ripley de segundo orden en un espacio bidimensional, el procedimiento del estadístico del vecino más cercano con él objetivo principal de estimar la densidad de masa y biomasa de las sub muestras de las poblaciones de árboles y con el rápido aumento de las técnicas estadísticas en la biología, se han desarrollado métodos de análisis más elaborados, tales como la prueba de Clark y Evans, la varianza de todas las distancias de punto a punto, ha suministrado una potente herramienta analítica para el estudio de patrones de distribución en la ecología forestal (Haase y Peter, 1995).

Los autores Palmer Todd, Pringle Robert, Doak Daniel, Brody Alison y Jocque Rudy (2010) en la tesis “Spatial Pattern Enhances Ecosystem Functioning in an African Savanna” identificaron que los patrones espaciales regulares pueden surgir en la naturaleza de las interacciones locales entre organismos, esto ha impulsado la búsqueda de patrones puntuales en la ecológica forestal como la K de Ripley, el vecino más cercano entre otros, estos puede tener efectos positivos en emergentes funciones de los ecosistemas tal que la acumulación de biomasa de todo el sistema pone en consideración la necesidad de conservar los organismos, con las mejoras en las imágenes de satélite, tales patrones se incorporan cada vez más en la literatura ecológica (Palmer et al., 2010).

Los autores Rozas y Camarero (2005) en el artículo denominado “Técnicas de análisis espacial de patrones de puntos aplicadas en ecología forestal” describen que la estadística espacial Posee las siguientes tres propiedades muy importantes que son: homogeneidad o estacionariedad, isotropismo y el efecto de borde. La no quiere decir que los datos deben estar distribuidos normalmente, el patrón heterogéneo este presta en distintas áreas diferentes densidades y el que presenta las mismas intensidades en todas sus direcciones es la descripción de la propiedad dos, mientras que un patrón anisotrópico es aquel que varía según la dirección que tome. (Rozas y Camarero, 2005).

En el Ecuador existen varios estudios orientados al carbono como: en el artículo “Cuantificación del Contenido de Carbono en una Plantación de Pino Insigne (*Pinus radiata*) y en Estrato de Páramo de Ozogoche Bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador” publicado por Franklin E. Cargua, Marco V. Rodríguez, Celso G. Recalde y Luis M. Vinueza (2014), en el cual determinaron que el

contenido de carbono orgánico en biomasa aérea, sotobosque, detritus no vivo, raicillas y suelo, en una plantación de Pinus y en páramo, ubicado en la zona sur occidental del parque nacional Sangay, observando un incremento del 30%, en la plantación de Pinus radiata, pero con una menor tasa de regeneración de especies herbáceas y arbustivas con relación al páramo (Cargua et al., 2014).

Jadán Oswaldo, Torres Bolier y Günter Sven (2012), en el artículo “Influencia del uso de la tierra sobre almacenamiento de carbono en sistemas productivos y bosque primario en Napo, Reserva de Biosfera Sumaco, Ecuador” en la cual determinaron el promedio de almacenamiento de Carbono (C) en la biomasa aérea y en el suelo, en siete sistemas de uso del suelo: Bosque primario, sistemas agroforestales tradicionales (chakras) con base al cultivo de cacao (sombra) propagados por semilla y por injertos, monocultivo de cacao propagado por semilla y por injertos y, chakras sin cacao con y sin sombra. Como resultado, de los sistemas agrícolas estudiados el sistema chakra con cacao propagado por semilla es el ecosistema productivo que almacena la mayor cantidad de C con un promedio de 141,4 Mg C ha⁻¹, cantidad relativamente alta si se lo compara con el bosque primario que almacena un promedio de 334 Mg C ha⁻¹ en la misma zona. El componente con mayor aporte al almacenamiento de carbono en el bosque es la biomasa viva con el 79,1% y, en los sistemas agrícolas el suelo con rangos de 48,9 a 90,2% (Jadán, Torres y Günter, 2012).

En el Grupo de Investigación Desarrollo Ambiente y Cambio Climático (GIDAC) de la ESPOCH, han realizado estudios del carbono como: “Forest biodiversity in Andean brow and its relation to the carbon content in the above-ground biomass” publicado por Marco Rodríguez, Diego Damián, Patricio Santillán, Celso Recalde y Franklin Cargua (2017) en el cual desarrollaron esta investigación para determinar los índices de biodiversidad y su relación con el contenido de carbono (C) en la biomasa, en el bosque de ceja andina ubicado en la zona de amortiguamiento del parque nacional Sangay-Ecuador, concluyeron que la mayor concentración de C presente en la biomasa aérea lo registra la localidad de Guangra Bajo (182,24 ton.ha⁻¹), estos valores están relacionados con la alta biodiversidad de especies Shannon (0,90) y Simpson (0,87), los valores más bajos de C en la biomasa aérea se presentan en el sector Yunguilla (30,56 ton.ha⁻¹) al igual que los índices de biodiversidad: Shannon (0,89) y Simpson (0,71) (Vinicio et al., 2017). Sin embargo no se aplicó técnica de análisis de datos de procesos puntuales para caracterizar la captura de carbono en los bosque de la ceja andina de la zona sur occidental del parque nacional Sangay, dando lugar a esta investigación.

Planteamiento del problema

La exposición de gases de efecto invernadero ha incrementado la temperatura promedio del medio ambiente en aproximadamente en 1°C en el último siglo, esto ha generado: un aumento de 17 cm de agua en el nivel del mar, calentamiento en los océanos, pérdida de la biodiversidad marina y reducción de la captura de dióxido de carbono (Herrán, 2012). El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático en su cuarto informe de evaluación en 2007, estimó que el 17,4% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por el sector forestal proviene de fuentes antropógenas y que en su mayor parte son ocasionadas por la deforestación y la degradación del bosque, coincidiendo con la observación de Stern Review especialista economía del cambio climático, cuya conclusión fue poner freno a la deforestación (Martin, 2008). Sin embargo la remoción de madera en una zona forestada no produce necesariamente disturbios duraderos en la atmósfera, pero es necesario identificar la especie forestal que captura mayor porcentaje de dióxido de carbono, puesto que el número de árboles cosechados y la porción de biomasa removida en una determinada superficie depende de; tipo de bosque, la composición de las especies, el plan de ordenación, las condiciones de mercado y otros.

En España se ha encontrado varios estudios relacionados al área forestal en la que se aplica modelos de procesos puntuales espaciotemporales, sin embargo en la provincia de Chimborazo existe una escasa literatura sobre estudios con dichas modelo con el fin de caracterizar el comportamiento de la biomasa área forestal en el bosque, por tal motivo el GIDAC incentiva estudios en dicha área enfocado específicamente al estudio del carbono, dando lugar a este trabajo de investigación.

Formulación del problema

¿Los modelos de la teoría de procesos puntuales espaciales permitirán caracterizar el comportamiento de la biomasa área forestal en la ceja andina de la zona sur occidental del parque nacional Sangay?

Justificación

La presente investigación realizada dentro del proyecto: “Evaluación y secuestro del carbono orgánico del suelo en los ecosistemas paramo de la cuenca del río Chambo”, enfatiza los modelos, características y propiedades de la teoría de procesos puntuales en el área forestal, considerando como base los estudios realizados: en la universidad de Zaragoza España que revisan algunos métodos modernos de análisis univariante y bivariante de los patrones de puntos utilizados habitualmente en ecología, en donde se aplicaron el análisis refinado de la distancia al vecino más próximo, la función K de Ripley y la técnica SADIE para analizar patrones de puntos simulados y reales (Rozas y Camarero, 2005); la Universidad de Barcelona a realizado la estructura del ecotono, que se describió mediante: (a) los análisis del patrón de puntos (K de Ripley) y del patrón de superficies (correlogramas espaciales de la altura) (Gutierrez y Camarero, 1999), entre otros.

Los resultados obtenidos serán de gran importancia para el Grupo de Investigación Desarrollo Ambiente y Cambio Climático (GIDAC) debido a su área estudio, profesionales estadísticos debido a las técnicas estadística utilizadas, y para todos quienes estén inmiscuidos es ésta área de investigación e inclusive para los galenos especializados en análisis de las reservas forestales y personas de las comunidades aledañas a la zona de estudio

El presente estudio hará uso de software libre R- Studio debido a sus funcionalidades y autonomía en el análisis de datos, entre estos los patrones de puntos espaciales, además de proporcionar seguridad, democratización de la información y ahorro de recursos, aportando así a la innovación y optimización del gasto para fortalecer el análisis estadístico de datos dentro del Grupo de Investigación Desarrollo Ambiente y Cambio Climático (GIDAC)

El presente trabajo es de gran importancia en la identificación y utilización de herramientas con el fin de determinar un patrón de puntos espaciales que muestran el comportamiento que siguen dichos puntos, por tal razón el propósito de la investigación es dar a conocer este método que no es tan utilizado hoy en día para estudios forestales y además contribuirá a estudios posteriores.

Objetivos

Objetivos Generales

Realizar un análisis estadístico espacial con modelos de patrones de puntos para caracterizar la biomasa forestal aérea de la ceja andina de la zona sur occidental del parque nacional Sangay.

Objetivos Específicos

- Identificar las variables necesarias para el estudio.
- Realizar un análisis descriptivo e inferencial con los datos espaciales.
- Identificar el método de patrones de puntos de mejor ajuste a los datos de la biomasa forestal aérea de la ceja andina de la zona sur occidental del parque nacional Sangay.
- Describir las características del comportamiento de la biomasa forestal aérea.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Definiciones Básicas

1.1.1. Problemática Ambiental

Se ha dicho que a una escala mundial se conocen diversos procesos de cambios globales que son muy importantes hoy en la actualidad, de los cuales se recalcan: cambios en la composición de la atmosfera, así como también en el uso de suelo y pérdidas de biodiversidad. El problema ambiental por el que está pasando el planeta hoy en día es cada vez más inentendible, esto se debe al desequilibrio entre el aumento de la población y la capacidad de los recursos para sustentar el aumento en la demanda de los servicios ecosistémicos.

El cambio climático como la alteración de la atmosfera es uno de los problemas de contaminación del medio ambiente y la necesidad de neutralizar sus efectos mediante un control adecuado es muy evidente, se ha visto, que no existe una atmosfera completamente limpia o sin ninguna alteración, las quemadas forestales han emitido muchos gases y partículas contaminantes, pero en las últimas décadas y la consecuencia del avance tecnológico la contaminación atmosférica ha llegado a constituir una seria preocupación.

El cambio climático es provocado principalmente por los gases de efecto invernadero (GEI) los cuales se componen principalmente por vapor de agua y dióxido de carbono. Las exposiciones de dióxido, originada por la combustión de hidrocarburos fósiles, tuvieron un incremento de tipo exponencial desde el comienzo del periodo industrial, debemos sumarle también las causas por deforestación (IPCC, 2014, pp. 77-78).

El factor más importante sobre el cambio climático lo constituye el calentamiento global el cual es producido por el efecto invernadero. Los principales gases de efecto invernadero son: dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el dióxido nitroso (N₂O), los clorofluorcarbonados (CFCs) y el ozono (O₃), (IPCC, 2007, pp. 46-47).

El dióxido de carbono (CO₂), es uno de los principales GEI antropogénicos emitidos a la atmosfera que afecta el equilibrio de la radiación del planeta. A partir de la revolución industrial este gas ocupa un 25% del volumen atmosférico (IPCC, 2007, p. 54).

Los bosques naturales son de mucha importancia para la comprensión de las dinámicas ecológicas del planeta; en este sentido se considera que la biomasa forestal es uno de los principales reservorios de carbono (C) y juega un papel muy importante en la regulación del ciclo mundial del mismo y en la mitigación del cambio climático.

Rodríguez – Veiga, Wheeler, Louis, Tansey, y Balzter, según los estudios realizados por estos autores en año 2017, estos arrojaron que la mayor cantidad de carbono que se almacena en los árboles se acumula en su biomasa aérea a través del proceso de la fotosíntesis y es de vital importancia el monitoreo de la biomasa aérea de los bosques para así comprender el ciclo del carbono y reducir las emisiones de (CO₂), según (Brown, 1997) la biomasa de los bosques proporciona estimaciones de las reservas de carbono en la vegetación forestal ya que aproximadamente el 50% de la misma es carbono; con ello (Alvarez, 2008) asegura que la biomasa forestal proporciona estimaciones de la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) que se puede liberar a la atmosfera por algún disturbio que se presente en el bosque.

Según los autores (Houghton et al., 2001), Houghton, Lawrence, Hackler, Brown en 2001 citado por (Galindo et al., 2011), nos comentan que la biomasa forestal puede ser cuantificada en el campo con bajas incertidumbres, ya sea por el método de cosecha directa del árbol, o por instalación de parcelas de muestreo, donde la biomasa del árbol. Sin embargo los autores (Phua y Saito, 2003) señalan que el muestreo en el campo de la biomasa puede ser costoso, demandante y puede presentar dificultades según las condiciones del terreno, se indica también la combinación de inventarios forestales con datos de sensores remotos, que proporcionan una mayor confianza en las estimaciones de la biomasa forestal (Perea Ardila, 2018).

1.1.2. Los Bosques

Según la “Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015”, La organización de las Nacionales Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO, 2016), estima que los bosques del planeta cubren un área aproximada de 3999 millones de hectáreas lo que corresponde al 30% de la superficie terrestre; según (Gibbs et al., 2007) nos dicen que los ecosistemas terrestres que ese encuentran y almacenan la mayor cantidad de carbono (C) son los bosques, asegurando que el 85% del carbono global se encuentra contenido en estos ecosistemas.

1.1.3. Los Bosques frente al cambio climático

Los bosques son ecosistemas terrestres más extensos, por eso es importante fomentar investigaciones de las diversas especies forestales, ya que con estas se puede representar la cantidad de carbono que puede ser fijada en una determinada superficie de bosque, estos pueden ser usados como estrategia de mitigación para el cambio climático debido a su proceso metabólico, estos se comportan a su vez como sumideros de carbono al absorber CO₂ y almacenar carbono como biomasa (Gutiérrez Flores, 2016, pp. 11-12) .

En este caso los bosques son los que desempeñan un rol muy importante al momento de secuestrar el carbono liberado por actividades, ya sean esta de la propia naturaleza o antrópicas, ya con el mantenimiento de los bosques o plantaciones forestales se han convertido en un servicio ambiental en los países que se encuentran en vías de desarrollo. Con esto se está dando oportunidades para hacer frente al cambio climático usando los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), considerado en el Protocolo de Kioto (Gutiérrez Flores, 2016, p. 11).

1.1.4. Los Bosques en el Ecuador

El Ecuador posee una muy alta cobertura forestal, que es de alrededor del 50% de la superficie del país está cubierta por bosques según el autor Sierra (1999), esto a su vez almacenan en su biomasa un aproximado de 1,63 GtC, sin embargo los bosques están bajo la presión de la deforestación y la explotación de recursos (MAE, 2010). Ecuador es uno de los países con mayores tasas de deforestación en América Latina según datos del Ministerio del Medio Ambiente del Ecuador en su publicación “Plan Nacional de Restauración Forestal 2014 – 2017”.

1.1.5. Biomasa

Existen distintos tipos de biomasa, estas suelen clasificarse en Biomasa primaria y biomasa secundaria. La primaria es aquella que es obtenida directamente del ecosistema natural, la secundaria también conocida como residual, es la que se obtiene como residuos o subproducto de una actividad humana (Nogués, 2010, pp. 20-21).

De manera general y sin llegar a término o un ámbito científico-técnico la biomasa se define como las sustancias orgánicas que tiene su origen en los compuestos de carbono formados en la fotosíntesis. Estas sustancias pueden haber sufrido, previamente a su utilización, diferentes procesos, naturales o artificiales, de escasa o elevada complejidad estos productos obtenidos se consideran también biomasa (Nogués, 2010, p. 27).

1.1.6. Biomasa en ecosistema forestal

Es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, susceptible de ser aprovechada energéticamente, en el que se distingue la biomasa aérea, biomasa subterránea etc, los bosques acumulan esta biomasa en forma de ramas, hojas, raíces y materia orgánica. Cuando se infiere el contenido de carbono en el ecosistema, este parte de la estimación de la biomasa contenida, esta principalmente dada por la relación que existe entre esta y la cantidad de carbono contenido, cuyo valor corresponde aproximadamente al 50% relación que se asume en la dicha práctica de estimación (Pearson, Walker y Brown, 2013).

En el contexto forestal, la biomasa puede definirse según FAO 2006 como “toda materia orgánica aérea o subterránea viva o muerta” de igual, manera la FAO 2007 menciona que la biomasa aérea corresponde a todos los elementos vivos del árbol sobre el subsuelo que influyen en el tronco, ramas, corteza, follaje, etc. La biomasa es considerada como un indicador para evaluar los cambios en la estructura forestal, se observan los componentes de la biomasa en un ecosistema forestal en la Figura 2-1.

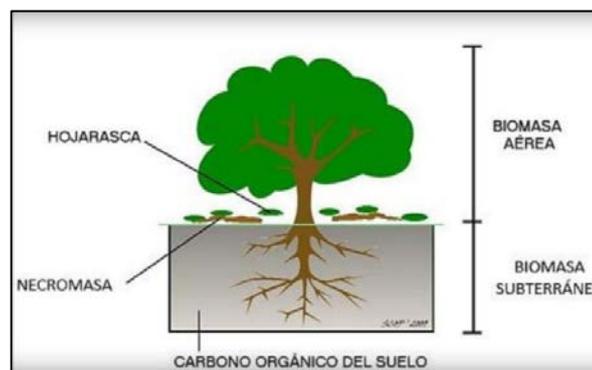


Figura 1-1: Componentes de la biomasa forestal
Fuente: Tesis de Maestría del Ing. Mauricio Perea, 2018

1.1.7. Volumen del árbol

La información sobre el volumen de los arboles es importante para señalar el papel que desempeñan los recursos forestales en el almacenamiento del carbono (Melo y Lizarazo, 2017, p. 56), este se define como la cantidad de madera estimada en m³/ha a partir del tocón hasta el ápice del

árbol, este puede clasificarse en volumen total o comercial, sin incluir las ramas (González y Cuadra Cruz, 2004, p. 9).

1.1.8. Área basal forestal

El área basal es un parámetro que nos permite hallar características del bosque que es importantes para este, estas constituye una medida de densidad del bosque que refleja la cantidad de árboles y su tamaño, la área basal puede variar con la elevación sobre el nivel del mar (Wadsworth et al., 2000, p. 73).

1.1.9. Incremento medio anual (IMA)

Expresa la media del crecimiento total a cierta edad del árbol, indica por lo tanto la media anual de crecimiento para cualquier edad. El Incremento Medio Anual (IMA) es obtenido por la división del mayor valor actual de la variable considerada, entre la edad a partir del tiempo cero (Meza Murillo, 2016, p. 30).

1.1.10. Carbono

El carbono constituye todas las moléculas orgánicas que forman a los seres vivos. Se encuentra en la atmosfera en forma de dióxido de carbono, en el suelo y disuelto en el agua se asegura que el 85% del carbono mundial se encuentra contenido en estos ecosistemas, el ciclo del carbono puede detallarse en la Figura 2-2.

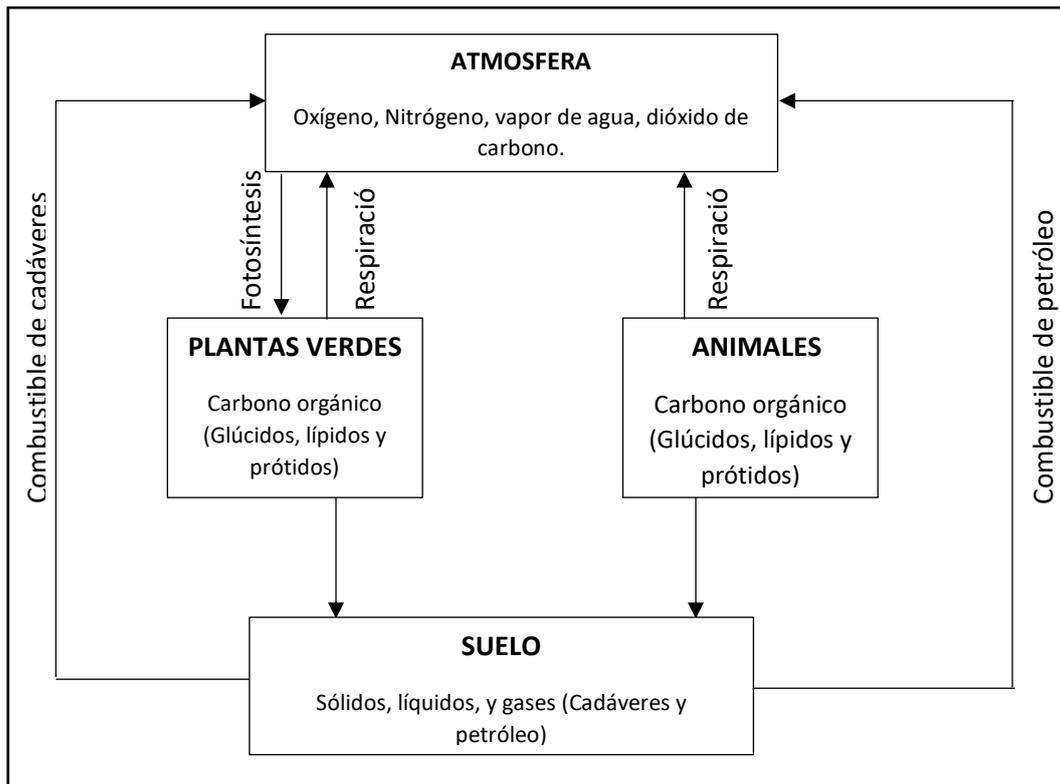


Figura 1-2: Ciclo del Carbono (C)
Fuente: (Alvarez, 2008)

1.1.11. Carbono orgánico

El Carbono orgánico del suelo (COS) es un componente importante del ciclo del Carbono (C), ocupa un 69,8% del C orgánico de la biosfera, el suelo puede actuar como fuente de reservorio de C dependiendo de su uso y manejo (Martínez H., Fuentes E. y Acevedo H., 2008, pp. 69). Los suelos contienen más carbón (C) que la suma existente en la vegetación y en la atmósfera. El C en los suelos puede encontrarse en forma orgánica e inorgánica. Los suelos que acumulan la mayor cantidad de COS corresponden al orden Histosol y Andosol. El pajonal de los páramos tiene aproximadamente 40 toneladas por hectárea de carbono elemental, pero el suelo de los páramos puede almacenar 1700 toneladas por hectárea de este mismo elemento (Blasco y Ortero, 2008).

1.1.12. Fijación del carbono

Las plantaciones forestales, por la gran cantidad de biomasa que producen por unidad de área, han sido sugeridas como alternativas para la fijación de carbono por ser ecosistemas cuyo manejo se orienta a maximizar el volumen en madera por unidad de área, lo que da

como resultado una fijación de carbono elevada. El carbono fijado en la biomasa permanece acumulada en las plantaciones por largos periodos, en plantaciones a gran escala depende del uso que se le pueda dar a los productos provenientes de las mismas (Ruiz Rolandoz y Gonzalez Dalila, 2016, pp. 30-31).

1.1.13. Depósitos de carbono

Es todo componente del sistema climático que almacena un gas de efecto invernadero o un precursor de un GEI, por ejemplo el carbono en la biosfera terrestre está distribuido entre la atmósfera, la biomasa y el suelo; el 80 % del carbono en las plantas se encuentra en los árboles, y los ecosistemas forestales contienen el 40 % del carbono terrestre (Jandl, 2002, p. 57).

1.1.14. Biomasa aérea

La biomasa entonces representa la cantidad total de carbono orgánico almacenado en las porciones aéreas y subterráneas del ecosistema, la biomasa aérea es el peso seco del material vegetal de los árboles, incluyendo fustes, corteza, ramas, hojas, semillas y flores, desde la superficie del suelo hasta la copa del árbol.

1.1.15. Fuste

Es la biomasa que va desde la superficie del suelo donde empieza el tronco o fuste hasta la primera ramificación del árbol donde comienza la copa.

1.2. Técnicas estadísticas

Uno de los problemas en la área forestal es identificar el patrón de comportamiento existe en las coordenadas tomadas con el GPS, de manera aleatoria por ello la teoría de procesos espaciales de puntos.

1.2.1. Patrones de puntos espaciales

Los patrones de puntuales espaciales se aplican en ciencias como agricultura, astronomía, biología, climatología, ecología, epidemiología, geografía, geología, etc. La estadística proporciona una serie de herramientas para analizar un conjunto de puntos determinado y los procesos puntuales

espaciales proporcionan una gran variedad de diseños para modelar comportamientos particulares. Además de la descripción de datos en el espacio, la estadística ofrece modelos o procesos que pueden generar datos puntuales según leyes estocásticas. Estos modelos son, generalmente, el resultado de considerar situaciones reales (Fuentes, 2009).

La forma más eficiente en la que se expresa la estructura espacial en la población o de cualquier fenómeno ecológico de la forma discreta es en una representación cartográfica de todos los de una misma región geográfica. En varias ocasiones, depende de la escala de estudio, estos elementos se describen mediante sus coordenadas espaciales (x, y), creándose así un conjunto de datos que reciben el nombre de patrón espacial de puntos (Diggle, 2013). Las técnicas más usuales en el estudio de patrón espacial de la población, comunidad, entre otras, es una ejecución concreta de un proceso espacial de puntos subyacente, que se debe puntualizar, y sus propiedades es una descripción muy buena del patrón concreto. Un proceso de puntos se designa un proceso meramente estocástico que forman patrones de puntos aleatorios que comparten similar estructura espacial por ejemplo patrones de Poisson, regulares y agrupados (Cruz Rot, 2006).

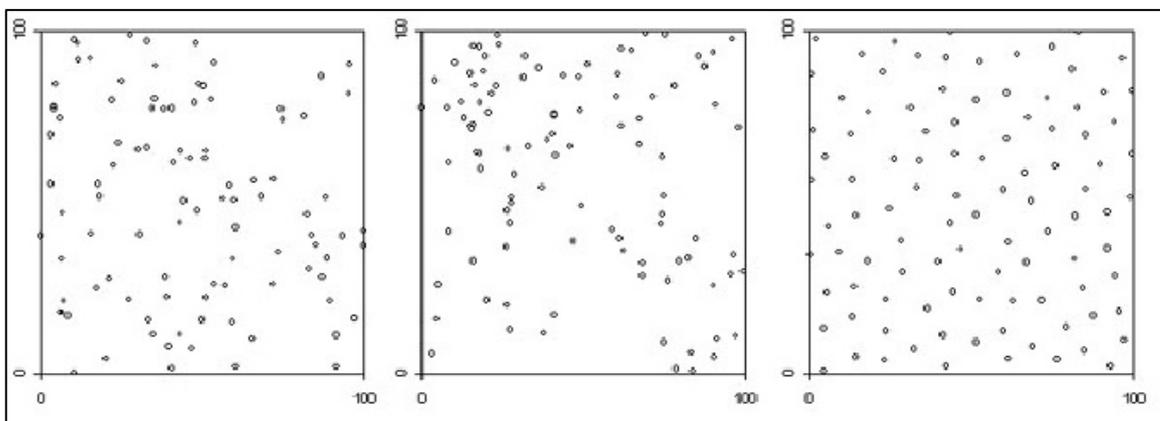


Figura 1-3: Patrones aleatorios a la izquierda, agregación en el medio y uniforme a la derecha
Fuente: (Cruz Rot, 2006)

Existen varias técnicas de análisis de patrones de puntos que se suelen emplear para deducir la presencia de interacciones en poblaciones y comunidades a partir de un proceso de espacial de los individuos. Este se basa en la ascensión del estudio del patrón espacial, de sus cambios o variaciones en el espacio y el tiempo podría dar una explicación de los mecanismos subyacentes a la fabricación de la estructura y funcionamiento de la dinámica de la población (Seabloom et al., 2005; Wiegand et al., 2003).

El patrón que es creado de procesos vivos es afectada cuando es observada la escala de un proceso, en la gran mayoría de los contextos naturales se descubre heterogeneidad a una escala grande como para la aproximación de patrones agrupados. Con una escala menor, el ambiente puede tener variaciones y ser menos acentuada, este patrón está determinado por su intensidad y el medio de

la relación entre los individuos (Diggle, 2003). La clasificación de los patrones que aparece en muchos libros de ecología es regular, aleatoria y agregada, esto es útil en las primeras etapas de exploración del análisis como consecuencia se debería dar pasó a una representación más detallada basada en estadísticos funcionales.

Un punto de partida conveniente en el análisis de procesos puntuales espaciales es probar la hipótesis de Aleatoriedad Espacial Completa (AEC) o complete spatial randomness (CSR). Cuando se rechaza la AEC, las alternativas son: Patrón regular. o patrón agregado.

1.2.2. La descripción de un proceso de puntos

A sumiendo que es un procesos de estacionariedad e isotrópico, sus características primordiales del proceso de puntos pueden ser reducidas por la propiedad de primer orden que posee o por λ que es la intensidad o concentración de los puntos esperados por la unidad de aérea en cualquier zona y la propiedad de segundo orden que tiene esto describe una relación entre los pares de puntos; los patrones uniformes en este caso la probabilidad de que se encuentre un punto en el entorno de otro es menor que de la que tiene un patrón aleatorio y en los patrones agrupados la probabilidad de encontrar un punto en el entorno de otro es mayor. El estimador más común de segundo orden es la función K de Ripley que este estima a todas las escalas.

1.2.3. Patrones de puntos marcados

Los puntos en un patrón de puntos pueden llevar todo tipo de atributos. Un estudio forestal puede registrar la ubicación, especie, biomasa, carbono entre otros atributos, En principio, la marca adjunta a cada punto podría ser cualquier tipo de información. A menudo es una observación multivariable, por ejemplo, en los datos de un estudio forestal, cada árbol podría estar marcado por su especie, su diámetro y un análisis químico entre otros, cada una de estas variables se denomina variable de marca o también conocido como un patrón de puntos marcados con marcas multivariadas (Baddeley, Rubak y Turner, 2015).

1.2.4. Estadística espacial

Las Estadística Espacial es la reunión de un conjunto de metodologías apropiadas para el análisis de datos que corresponden a la medición de variables aleatorias en diverso sitios de una región, de manera más formal, se puede decir que la estadística espacial trata con el análisis de

realizaciones de procesos estocásticos $\{Z(s): s \in D\}$, en el que $s \in R^d$ representa una ubicación en el espacio euclidiano d-dimensional, $Z(s)$ es una variable aleatoria en la ubicación s , y s varía sobre un conjunto de índices $D \subset R^d$.

1.2.5. Áreas de la estadística espacial

La estadística espacial se divide en dos grandes áreas. La pertinencia de cada una de ellas está asociada a las características del conjunto D de índices del proceso estocástico de interés. A continuación se menciona dichas áreas y se describen las propiedades de D en cada una de estas.

1.2.6. Geoestadística

Las ubicaciones s provienen de un conjunto D continuo y son seleccionadas a juicio del investigador (D fijo). Es importante resaltar que en geoestadística el propósito esencial es la interpolación y si no hay continuidad espacial pueden hacerse predicciones incoherentes del sitio.

1.2.7. Patrones espaciales de puntos

Las ubicaciones s pertenecen a un conjunto D que puede ser discreto o continuo y su selección no depende del investigador ya que D es aleatorio (Rosero, 2015).

1.2.8. Estadística para patrones de puntos

Un enfoque de tiempo dedicado a los datos de patrón de punto espacial es calcular una estadística de resumen destinada a capturar una característica importante del patrón. Una estadística de resumen puede ser útil si es adecuada para la aplicación y se define de forma sencilla, de modo que sus valores se puedan interpretar fácilmente. Sin embargo, al reducir un patrón de punto espacial a un solo número, descartamos una gran cantidad de información, este resumen estadístico puede ser útil si es apropiado para la aplicación, y se define de una manera sencilla, de modo que sus valores puedan interpretarse fácilmente. Sin embargo, al reducir un patrón de puntos espaciales a un solo número, descartamos una gran cantidad de información. Esto puede debilitar la evidencia, hasta el punto de que es imposible excluir otras explicaciones, ya que como estadísticos, una de nuestras mayores preocupaciones es que los métodos estadísticos deben aplicarse correctamente y que los resultados deben interpretarse correctamente, los métodos estadísticos para los datos del patrón de punto espacial implican las comparaciones entre las descripciones resumidas empíricas de los datos y las descripciones resumidas teóricamente

correspondiente a un modelo de patrones de puntos en la metodología estadística para los patrones de puntos espaciales en la última década. Las herramientas clásicas, populares desde la década de 1980, como la función K de Ripley, se han ampliado y complementado con nuevas técnicas. El enfoque “*ad hoc*” clásico para analizar patrones de puntos ha sido reemplazado por una metodología sistemática que está mucho más cerca de la ciencia estadística general, por tal motivo se debe conocer los diferentes tipos de distribución de patrones de puntos (Baddeley, Rubak y Turner, 2015, p. 3), y estos se describen a continuación:

1.2.9. Puntos uniformemente aleatorios

Un proceso de punto muy simple es aquel que consiste en un solo punto aleatorio. Supongamos que necesitamos elegir un punto al azar: dado que una ubicación espacial u está determinada por sus coordenadas cartesianas (u_1, u_2) , solo es necesario asignar valores aleatorios U_1, U_2 a las coordenadas. Esto nos da un punto aleatorio $U = (U_1, U_2)$. Para conocer las propiedades estadísticas de este punto, es suficiente saber la distribución de probabilidad de las coordenadas aleatorias U_1 y U_2 . Esto podría ser dado por una densidad de probabilidad conjunta $f(u_1, u_2)$. Entonces, la probabilidad de que el punto aleatorio $U = (U_1, U_2)$ caiga en una región de prueba B es

$$\mathbb{P}\{U \in B\} = \int_B f(u_1, u_2) du_1 du_2$$

Una pregunta importante en las estadísticas espaciales es si los puntos están "distribuidos uniformemente" en la región de la encuesta. Digamos que un punto aleatorio U se distribuye uniformemente en una región espacial W , si sus coordenadas cartesianas (U_1, U_2) tienen una densidad de probabilidad conjunta que es constante dentro de W y cero fuera de W .

$$f(u_1, u_2) = \begin{cases} 1 / |W| & \text{si } (u_1, u_2) \text{ cae en } W \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

1.2.10. Proceso de punto binomial

En un proceso de punto es uno en el que el número de puntos n está fijo, y solo las ubicaciones de los puntos son aleatorios. Este punto de proceso es un conjunto aleatorio X que contiene exactamente n puntos aleatorios X_1, \dots, X_n . Para hacer que los puntos se extiendan uniformemente sobre una región W , asumamos que X_1, \dots, X_n son ubicaciones aleatorias independientes, y que cada X_i se distribuye uniformemente sobre la región W .

1.2.11. Completa aleatoriedad espacial

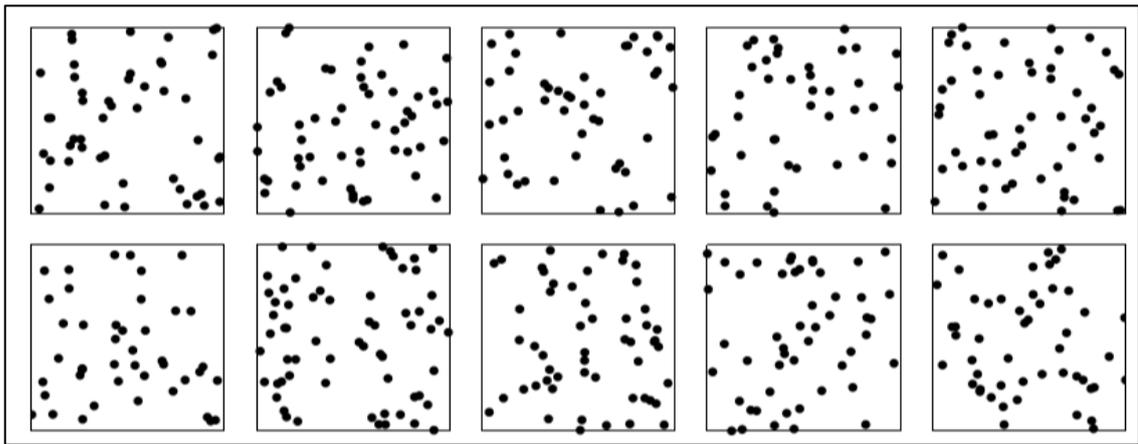


Figura 1-4: Patrones de puntos completamente aleatorios: 10 realizaciones simuladas del proceso del punto de Poisson.

Fuente: (Baddeley, Rubak y Turner, 2015, p. 4)

Se ilustra en la Figura 2-4 un proceso de puntos que merece ser llamado "completamente al azar", cada panel es una realización del proceso de punto de Poisson homogéneo, también denominado aleatoriedad espacial completa (CSR). El proceso se caracteriza por dos propiedades claves:

Homogeneidad: los puntos no tienen preferencia por ninguna ubicación espacial;

Independencia: la información sobre el resultado en una región del espacio no tiene ninguna influencia sobre el resultado en otras regiones.

1.2.12. Método de conteo por cuadrantes para Aleatoriedad espacial completa (CSR)

El siguiente procedimiento se va a dividir a W que es nuestra ventana de observación en distintas sub áreas cuando se tiene M cuadrantes en D conteos $\{c_1, \dots, c_M\}$ de nominados cuadrantes, con esto se realizó el conteo de los puntos en cada sub área $n_j = n(X \cap c_j)$ para $j = 1, \dots, M$. Con el objetivo de contrastar la hipótesis de completa spatial randomness (CSR).

Con el objetivo de contrastar la hipótesis de aleatoriedad espacial completa

$$H_0 = \text{la concentración es homogénea (CSR)}$$

$$H_1 = \text{La concentración no es homogénea}$$

Se aplica la prueba X^2 (*Chi – cuadrado*), dado el número total de puntos $n = \sum_j n_j$, el área total de la ventana de observación $a = \sum_j a_j$, la concentración estimada $\bar{\lambda} = n/a$ y el número esperado de conteos en el cuadrante c_j es $e_j = \bar{\lambda}_{aj} = na_j/a$ el estadístico está dado por:

$$X_{calculado}^2 = \sum_j \frac{(\text{obseados} - \text{esperados})^2}{\text{esperado}} = \sum_j \frac{(n_j - e_j)^2}{e_j} = \sum_j \frac{(n_j - \bar{\lambda}_{aj})^2}{(\bar{\lambda}_{aj})^2}$$

El contraste se realiza a través del valor crítico donde se rechaza la hipótesis nula si

$$X_{calculado}^2 > X_{critico,gl}^2$$

Donde gl representa los grados de libertad dados por el número de cuadrantes de igual área resultado de la partición menos uno ($n-1$) (Ramírez y Pineda, 2019, p. 6).

1.2.13. Proceso del cluster Matérn

Considere una construcción donde primero un proceso de puntos primarios proviene de un proceso de Poisson homogéneo con intensidad k , y en segundo lugar cada padre tiene un número de hijos de Poisson (μ), de forma independiente y uniformemente distribuido en un radio r centrado alrededor del padre. El proceso que consiste en toda la descendencia se llama el proceso del cluster Matérn (Baddeley, Rubak y Turner, 2015, pp. 449-451).

1.2.14. Función de Patterson – Fry

El método de autocorrelación espacial fue desarrollado por Norman Fry a finales de la década de los 70. También conocido como análisis de Fry, fue creado como una vía para medir la deformación en rocas a partir de patrones de objetos que inicialmente mostraban una distribución aleatoria. Así para n puntos hay una relación espacial de $n(n-1)$ (Guillermo y Susana, 2015, pp. 8-9), los autores Fry (1979) y Hanna y Fry (1979) introdujeron un método gráfico manual para investigar las características de un patrón espacial puntual de depósitos minerales. Una hoja transparente, marcada con un origen o un punto central, se coloca sobre el patrón de puntos. La hoja transparente se desplaza de modo que el origen se encuentre sobre uno de los puntos de datos y las posiciones de todos los demás puntos de datos se copien en la hoja transparente. Este procedimiento se repite para cada punto de datos por turno. La gráfica resultante (la gráfica Fry) es un patrón de $n(n-1)$ puntos, donde n es el número original de puntos de datos. Este procedimiento fue propuesto previamente por Patterson (1934, 1935) para estudiar distancias interatómicas en cristales, y también se conoce como diagrama de Patterson (Hanna y Fry, 1979).

1.2.15. El análisis refinado de la distancia al vecino más próximo

El análisis refinado de la distancia al vecino más próximo es una extensión a una función de distribución acumulativa de la prueba de Clark y Evans 1954, que informa sobre el patrón espacial observado como una función de la distancia d . Si n árboles están aleatoriamente distribuidos en un plano de área A , la función de distribución acumulativa esperada para las distancias al vecino más próximo d vendrá dada por la distribución de Poisson (Rozas y Camarero, 2006):

$$G(d) = 1 - e^{-\lambda\pi d^2}$$

Siendo $\lambda = n/A$

Como también la función mide la distribución de distancia desde un evento arbitrario hasta su evento más cercano, es decir, utiliza las distancias del vecino más cercano (Ramírez y Pineda, 2019, p. 8). La estimación de esta función está dada por la siguiente expresión:

$$G_{inhom}(r) = 1 - E \left[\prod_{x_i \in X \cap b(u,r)} \left(1 - \frac{\lambda_{min}}{\lambda(x_i)} \right) \mid X \right]$$

1.2.16. La función K de Ripley

Si un grupo de puntos se distribuye aleatoriamente, mediante un proceso de Poisson con densidad λ , el número esperado de puntos en un círculo de radio d es $\lambda\pi d^2$. La desviación respecto a la aleatoriedad puede cuantificarse mediante la función K de Ripley la cual refleja el tipo, intensidad y rango del patrón espacial mediante el análisis de las distancias existentes entre todos los puntos. Para parcelas rectangulares:

$$K(d) = n^{-2}A \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}^{-1} I_{ij}(d)$$

para $i \neq j$, donde n es el número de puntos en la muestra, A es el área de la parcela en m^2 , w_{ij} es el factor de corrección del efecto de borde (Rozas y Camarero, 2006).

$$I_{ij}(d) = \begin{cases} 1 & \text{si } d_{ij} \leq d \\ 0 & \text{si } d_{ij} > d \end{cases}$$

Siendo d_{ij} las distancias existentes entre los puntos i y j

El autor Ripley (1976) propuso la función K-Ripley que permite definir si es un patrón de puntos de la forma aleatoria, agrupada y regular, este autor nos menciona que es un proceso de puntos aleatorio espacial completo si la función es igual a πr^2 .

En la siguiente (Figura 2-5) se representa en una circunferencia de radio r la función que indague las agrupaciones posibles de un proceso de puntos (Ramírez y Pineda, 2019, pp. 6-7)

$$K_{inhom}(r) = \pi r^2$$

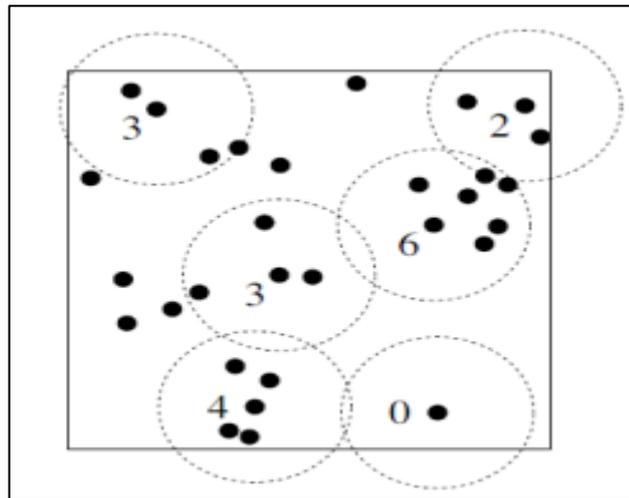


Figura 1-5: Geometría de la función de K-Ripley
 Fuente: (Ramírez y Pineda, 2019, pp. 6-7)

1.2.17. Función g –Correlación por pares

La función de correlación por pares contiene contribuciones solo de distancias entre puntos iguales a r . Se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$g(r) = \frac{K'(r)}{2\pi r}$$

Donde $K'(r)$ se calcula a través de la derivada de la función K

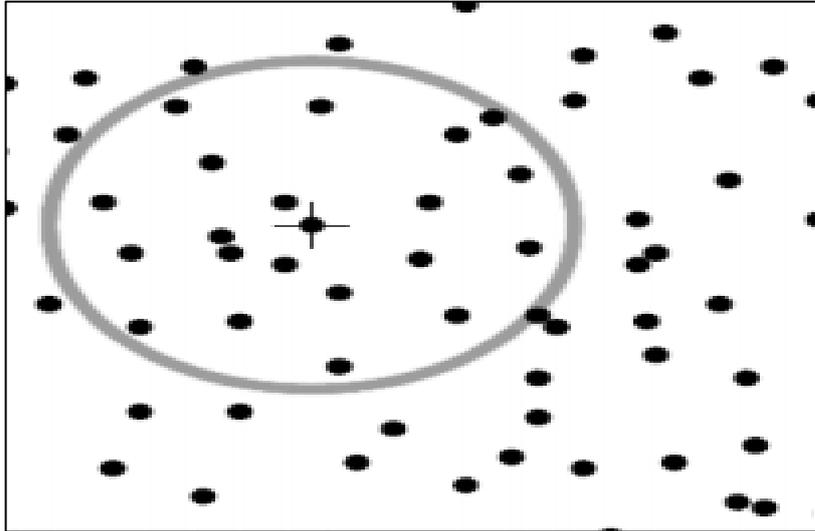


Figura 1-6: Geometría de la función g de correlación por pares.
Fuente: (Ramírez y Pineda, 2019, pp. 7-8)

Esta función consiste en dibujar un círculo de radio r centrandolo en un punto del proceso y contar el número de otros que caen en el círculo (Figura 2-5) (Ramírez y Pineda, 2019, pp. 7-8)

Cuando se obtiene la exacta familia de los modelos es de vital importancia denominar si el conjunto de los datos pertenece a uno de estos modelos, para esto se debe dar una inferencia paramétrica o no paramétrica.

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Tipo y diseño de la investigación

Según el método de investigación se considera mixta ya que la información se concentra en variables estadísticas de tipo numéricas y categóricas; según el objetivo teórica, ya que se va a proceder a solucionar un problema específico en el medio ambiente; con respecto al nivel de profundización en el objeto de estudio es descriptiva, ya que se procedió a identificar el patrón de puntos más adecuado y con eso tener el patrón más óptimo; las variables con las que se trabajó no fueron manipuladas por lo que es una investigación no experimental; dado el tipo de inferencia es deductiva ya que se partió desde estudios generales hasta los específicos en donde utilizaron modelos de procesos puntuales, fue considerada transversal porque las variables recopiladas se encuentran recogidas en un punto específico del tiempo sobre los árboles que contiene la Biomasa Forestal Aérea de la Ceja Andina de la Zona Sur Occidental del Parque Nacional Sangay.

2.2. Descripción del área de estudio

La presente investigación se ubica en el Aérea de la Ceja Andina de la Zona Sur Occidental del Parque Nacional Sangay (PNS), que es la tercera área protegida más extensa del continente y abarca amplios paisajes prácticamente inalterados. Sus altos niveles de endemismo y diversidad ecológica fueron la razón para que la UNESCO declarara, en 1983, al PNS como: Patrimonio Natural de la Humanidad el cual se encuentra en las siguientes coordenada geográficas longitud $78^{\circ}37'30.63''\text{O}$; latitud $2^{\circ}28'23.07''\text{S}$ en la provincia de Chimborazo.



Figura 2-1: Ubicación Ceja Andina de la Zona Sur Occidental del Parque Nacional Sangay
Fuente: Google Earth Pro, 2020

2.3. Población de estudio

El área de la Ceja Andina de la Zona Sur Occidental del Parque Nacional Sangay es de aproximadamente es de 60 x 60 metros en el cada conglomerado tomado, la cual está dividido en 3 parcelas de 20 x 20 metros cada una. En este estudio se tomó las parcelas del bosque secundario, bosque primario y plantaciones, debido a la estructura de la recolección de los datos, de los cuales se tomó la biomasa forestal aérea y sus respectivas coordenadas en UTM. La muestra fue conformada por 407 árboles.

2.4. Recolección de la información

La georreferenciación se realizó mediante un GPS, estos son receptores que recogen las señales de los satélites y calculan de ellos mismos la posición a partir de los datos recibidos de los satélites, calcula la posición por triangulación y la biomasa forestal aérea tomadas de los árboles se mide mediante las variables desométricas como diámetro a la altura del pecho (DAP), altura, área basal, volumen y densidad, utilizando factores de expansión para fustes más compa (2.8) y raíz (0.27).

2.5. Operacionalización de variables

Tabla 2-1: Operacionalización de variables

Nombre de la variable	Descripción	Tipo de Variable	Escala de medición	Categoría o Intervalo
Biomasa forestal aérea	Es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, susceptible de ser aprovechada energéticamente, en el que se distingue la biomasa aérea, biomasa subterránea etc.	Cuantitativa Continua	Razón	[1,753253996 - 0,005745707]
Coordenadas de latitud	Valor medido sobre la superficie terrestre que sirve para determinar la posición de cualquier punto, la longitud es el ángulo formado, desde el centro de la tierra sobre el plano de meridiano.	Cuantitativa Discreta	Intervalo	[766197- 761661]
Coordenadas de longitud	Es el ángulo formado desde el centro de la tierra sobre el plano del ecuador, entre el meridiano que contiene el punto y el meridiano tomado como origen.	Cuantitativa Discreta	Intervalo	[9755247- 9726401]

Realizado por: Narvaez Juan, 2019

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Con la información que fue proporcionada por el GIDAG para la presente investigación estuvo considerado por tres conglomerados, los cuales fueron: bosque primario, el bosque secundario, y plantaciones, las cuales en cada una de ellos están conformados por 3 parcelas. La matriz de información consta de 407 árboles, con 3 tipos de variables cuantitativas: biomasa forestal aérea, coordenadas de latitud y longitud, datos tomados de la reserva ecológica de la Ceja Andina de la Zona sur occidental del parque nacional Sangay que se encuentra ubicada en la parroquia Achupallas del Cantón Alausí (Gráfica 3-1).

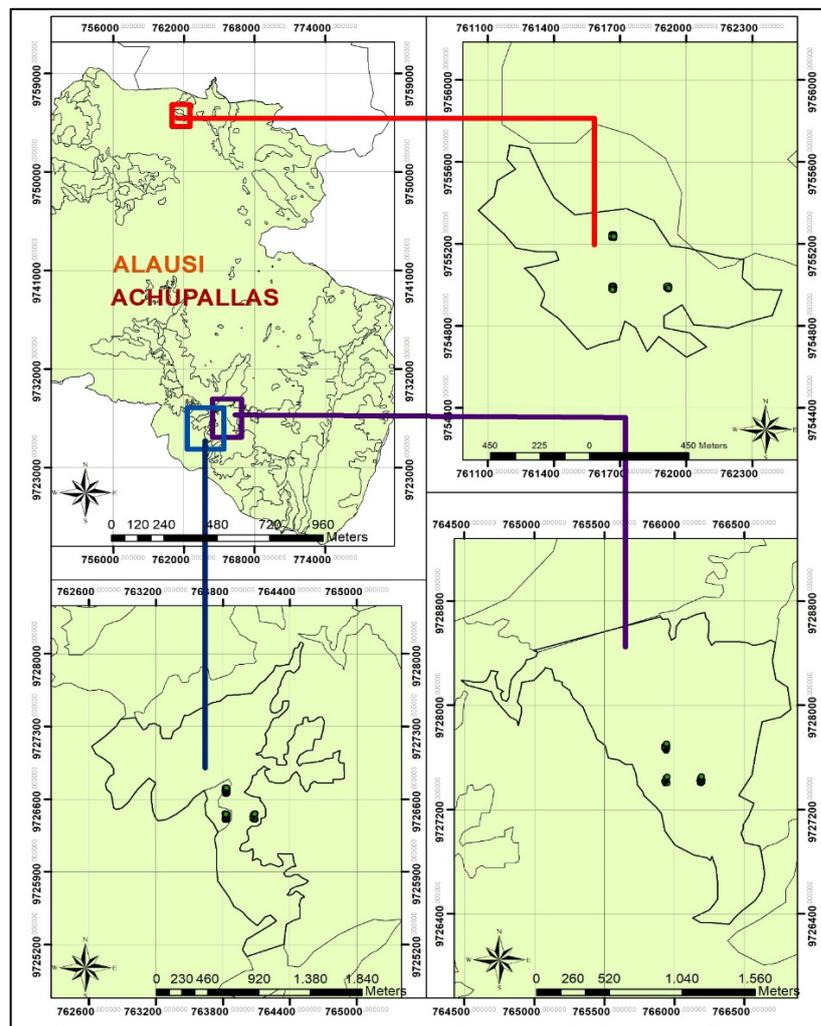


Gráfico 3-1: Mapa de la zona de estudio.

Realizado por: Narvaez Juan, 2020

3.1. Análisis descriptivo General

La Tabla 3-1 almacenó información de 407 árboles, con valores de biomasa forestal aérea en la ceja andina de la zona sur del parque nacional Sangay, el árbol con menor cantidad de carbono aéreo tuvo 0,01 Mg/ha y el de cantidad mayor es de 1,75 Mg/ha, el promedio del carbono aéreo es de 0,28 Mg/ha, el 50% de los arboles poseían una biomasa aérea menor o igual a los 0,14 Mg/ha, con una variación de 0,11 Mg/ha. La biomasa aérea mostro una distribución leptocúrtica ya que la mayoría del carbono aéreo se encuentran concentrados alrededor de la media (0,28 Mg/ha) y desplegaron asimetría a la derecha.

El bosque secundario contiene 137 árboles, con un valor mínimo de 0,01 Mg/ha y el máximo de 1,75 Mg/ha, con un promedio de 0,56 Mg/ha, el 50% de estos poseían una cantidad menor o igual a los 0,49 Mg/ha, con variación de 0,15 Mg/ha. El carbono aéreo mostro una distribución leptocúrtica ya que la mayoría de la biomasa aérea se encuentra concentrado alrededor de la media (0,56 Mg/ha), desplegando asimetría a la derecha.

El bosque primario contiene 31 árboles, con un valor mínimo de 0,01 Mg/ha y el máximo de 0,67 Mg/ha, con un promedio de 0,36 Mg/ha, el 50% de los arboles poseían una cantidad menor o igual a los 0,24 Mg/ha, con variación de 0,18 Mg/ha. La biomasa aérea mostro una distribución leptocúrtica ya que la mayoría de esta se encuentra concentrado alrededor de la media (0,36 Mg/ha), desplegando asimetría a la derecha.

Las plantaciones tienen 239 árboles, con un valor mínimo de 0,02 Mg/ha y el máximo de 0,49 Mg/ha, con un promedio de 0,10 Mg/ha, el 50% de los arboles poseían una cantidad menor o igual a los 0,08 Mg/ha, con variación de 0,01 Mg/ha. La biomasa aérea mostro una distribución leptocúrtica ya que la mayoría de esta se encuentra concentrado alrededor de la media (0,10 Mg/ha), desplegando asimetría a la derecha.

En la parcela 1, 2, 3 del bosque secundario contiene 42, 46, 49 árboles, con un valor mínimo de 0,05 0,01 0,09 Mg/ha y el máximo es 1,72 1,75 1,21 Mg/ha, el promedio de biomasa forestal aérea es de 0,68 0,50 0,52 Mg/ha, el 50% de estos poseían una cantidad menor o igual a los 0,56 0,35 0,50 Mg/ha, con variación de 0,17 0,20 0,07 Mg/ha. El carbono aéreo mostro una distribución para la parcela 1 que es platicúrtica y las otras dos parcelas son leptocúrticas, desplegando asimetría a la derecha respectivamente.

En la parcela 1, 2, 3 del bosque primario contiene 10, 9, 12 árboles, con un valor mínimo de 0.01 Mg/ha y el máximo es 1,67 0,87 0,85 Mg/ha, el promedio de estos es de 0,55 0,24 0,28 Mg/ha, el 50% de los arboles poseían una cantidad menor o igual a los 0,33 0,13 0,24 Mg/ha, con variación de 0,36 0,08 0,07 Mg/ha. El carbono aéreo mostro una distribución para la parcela 1 que es platicúrtica y las otras dos es leptocúrticas, desplegando asimetría a la derecha respectivamente.

En la parcelas 1, 2, 3 de plantaciones contiene 84, 73, 82 árboles, con un valor mínimo de 0,02 0,03 0,02 Mg/ha y el máximo es de 0,49 0,32 0,49 Mg/ha, el promedio de estos es de 0,11 0,09 0,12 Mg/ha, el 50% de los arboles poseían una cantidad menor o igual a 0,08 Mg/ha para todos ellos, con variación de 0,01 0,002 0,01 Mg/ha. La biomas aéreo mostro una distribución leptocúrticas, desplegando asimetría a la derecha respectivamente.

Tabla 3-1: Resumen de estadísticos descriptivos de la variable biomasa forestal aérea o carbono aéreo de manera general, por conglomerados y parcelas.

Biomasa aérea (Mg/ha)	Conglomerados				Bosque secundario			Bosque primario			Plantaciones		
	General	Bosque Secundario	Bosque primario	Plantaciones	p1	p2	p3	p1	p2	p3	p1	p2	p3
Media	0,28	0,56	0,36	0,10	0,68	0,50	0,52	0,55	0,24	0,28	0,11	0,09	0,12
Error típico	0,02	0,03	0,08	0,01	0,06	0,07	0,04	0,19	0,10	0,08	0,01	0,01	0,01
Mediana	0,14	0,49	0,24	0,08	0,56	0,35	0,50	0,33	0,13	0,24	0,08	0,08	0,08
Desviación estándar	0,33	0,39	0,42	0,08	0,42	0,45	0,27	0,60	0,29	0,27	0,08	0,05	0,09
Varianza	0,11	0,15	0,18	0,01	0,17	0,20	0,07	0,36	0,08	0,07	0,01	0,002	0,01
Curtosis	4,46	0,78	2,88	6,99	-0,07	1,07	0,40	-0,32	2,07	0,11	4,58	6,35	6,38
Coefficiente de asimetría	2,09	1,03	1,74	2,17	0,72	1,29	0,71	1,08	1,52	0,77	1,75	1,91	2,16
Rango	1,75	1,74	1,66	0,48	1,67	1,74	1,12	1,66	0,86	0,85	0,48	0,30	0,48
Mínimo	0,01	0,01	0,01	0,02	0,05	0,01	0,09	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02
Máximo	1,75	1,75	1,67	0,49	1,72	1,75	1,21	1,67	0,87	0,85	0,49	0,32	0,49
Suma	112,88	76,77	11,12	24,99	28,40	22,9	25,5	5,54	2,19	3,39	9,26	6,26	9,48
Cuenta	407,00	137,00	31,00	239,00	42,00	46,0	49,0	10,00	9,00	12,00	84,00	73,00	82,00

Realizado por: Narvaez Juan, 2020

3.1.1. Análisis de frecuencias

En el programa R-Studio existe la función **hist**, donde tuvimos como resultado los histogramas de frecuencias de cada uno de los casos de bosque secundario, primario y plantaciones forestales con sus respectivas parcelas. En el caso 1 del bosque secundario (Grafica 3-2 **a**) se mostró que tiene un sesgo hacia la derecha positiva, donde también sus parcelas tienen el mismo sesgo se dedujo que sigue una asimetría positiva, como también se evidencio que para el caso 2 del bosque primario (Grafica 3-2 **b**), su sesgo es hacia la derecha, igualmente para sus parcelas que poseen una asimetría positiva, así como el caso 3 de las plantaciones forestales (Grafica 3-2 **c**) y sus parcelas que sus sesgo es a la derecha, se pudo afirmar que es asimétrica positiva en todos los casos propuestos.

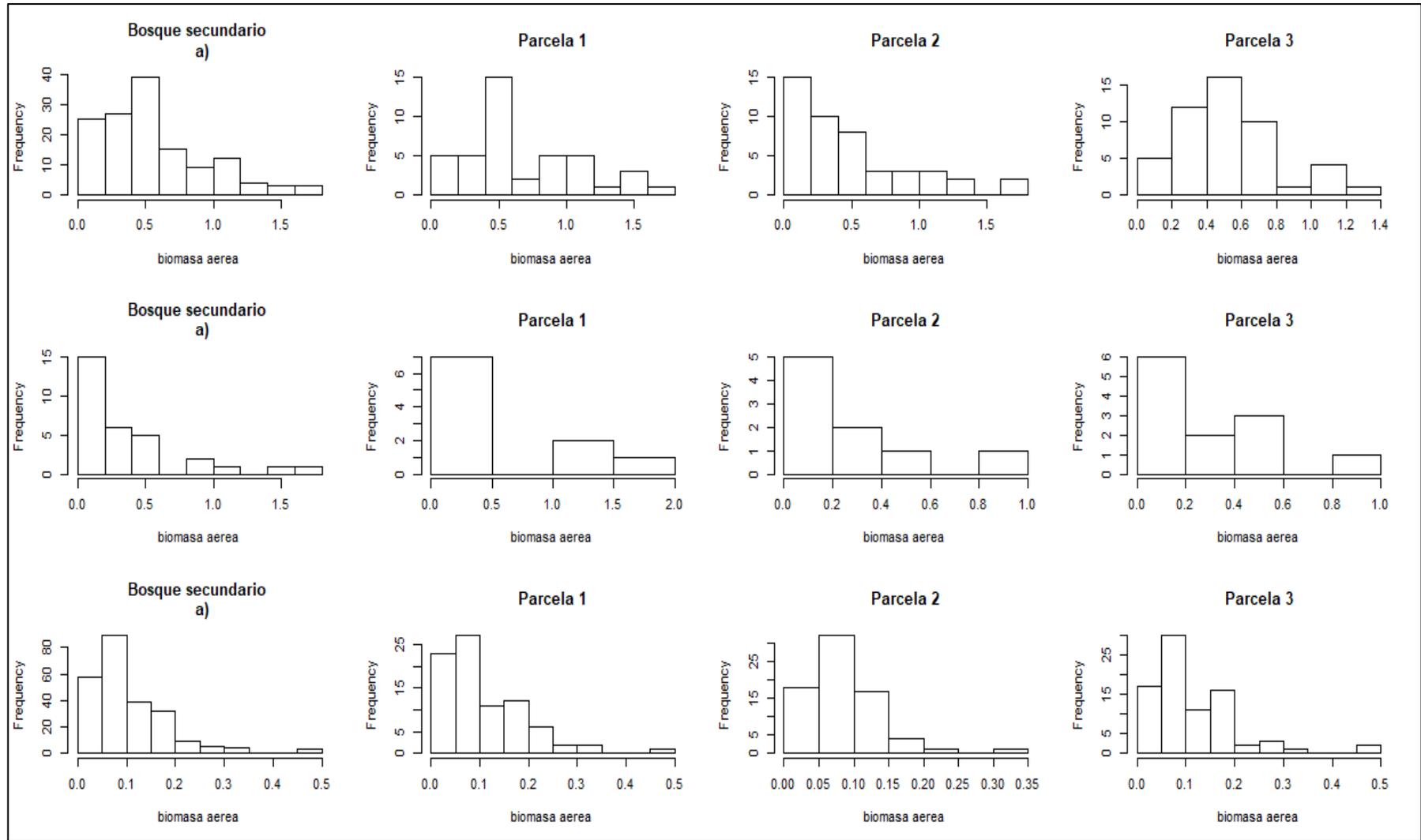


Gráfico 3-2: Distribución de frecuencia de la biomasa forestal aérea en los casos de bosque secundario, primario y plantaciones forestales, con sus respectivas parcelas.

Realizado por: Narvaez Juan, 2020.

3.1.2. Datos atípicos

El gráfico de cajas realizado con función boxplot constituye la mejor opción al momento de identificar datos atípicos, el mismo que presenta la mediana, el primer y tercer cuartil, además que también del rango intercuartílico (Ocaña, 2017).

En este caso mediante un análisis del diagrama de cajas de la base de datos se evidencio que existen muy pocos datos atípicos (Grafica 3-3), en cada una de los conglomerados y parcelas, por ende se retiraron de la base de datos y se realizó el relleno respectivo con la mediana de los datos, con la base ya rellena se procedió al análisis respectivo de los datos.

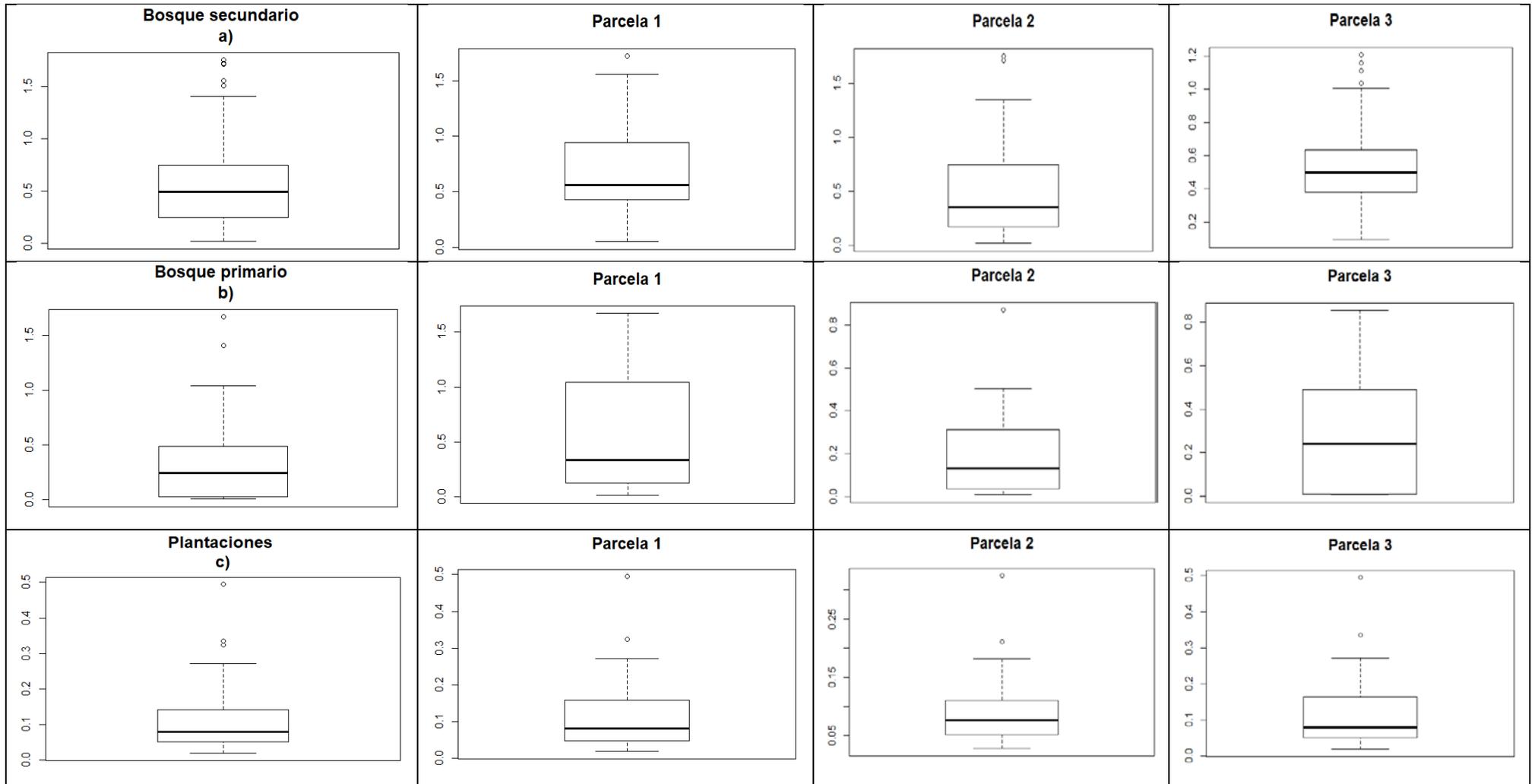


Gráfico 3-3: Identificación de datos atípicos por conglomerados y parcelas
Realizado por: Narvaez Juan, 2020.

3.2. Análisis de datos espaciales

3.2.1. Análisis descriptivo espacial

Se realizó un análisis descriptivo de los conglomerados bosques secundario, primario y plantaciones, con sus respectivas tres parcelas (Grafico 3-4) donde se evidencia que se encuentran distribuidos estos puntos, como se puede observar en la parte superior, centro e inferior que los puntos de concentración de biomasa forestal aérea se muestra que se encuentran dispersos en grupos tanto para los tres conglomerados y sus distintas parcelas ubicadas en la reserva ecológica del Parque Nacional Sangay, con esta información se pudo suponer que existe un proceso o patrón de puntos de agregado (clúster).

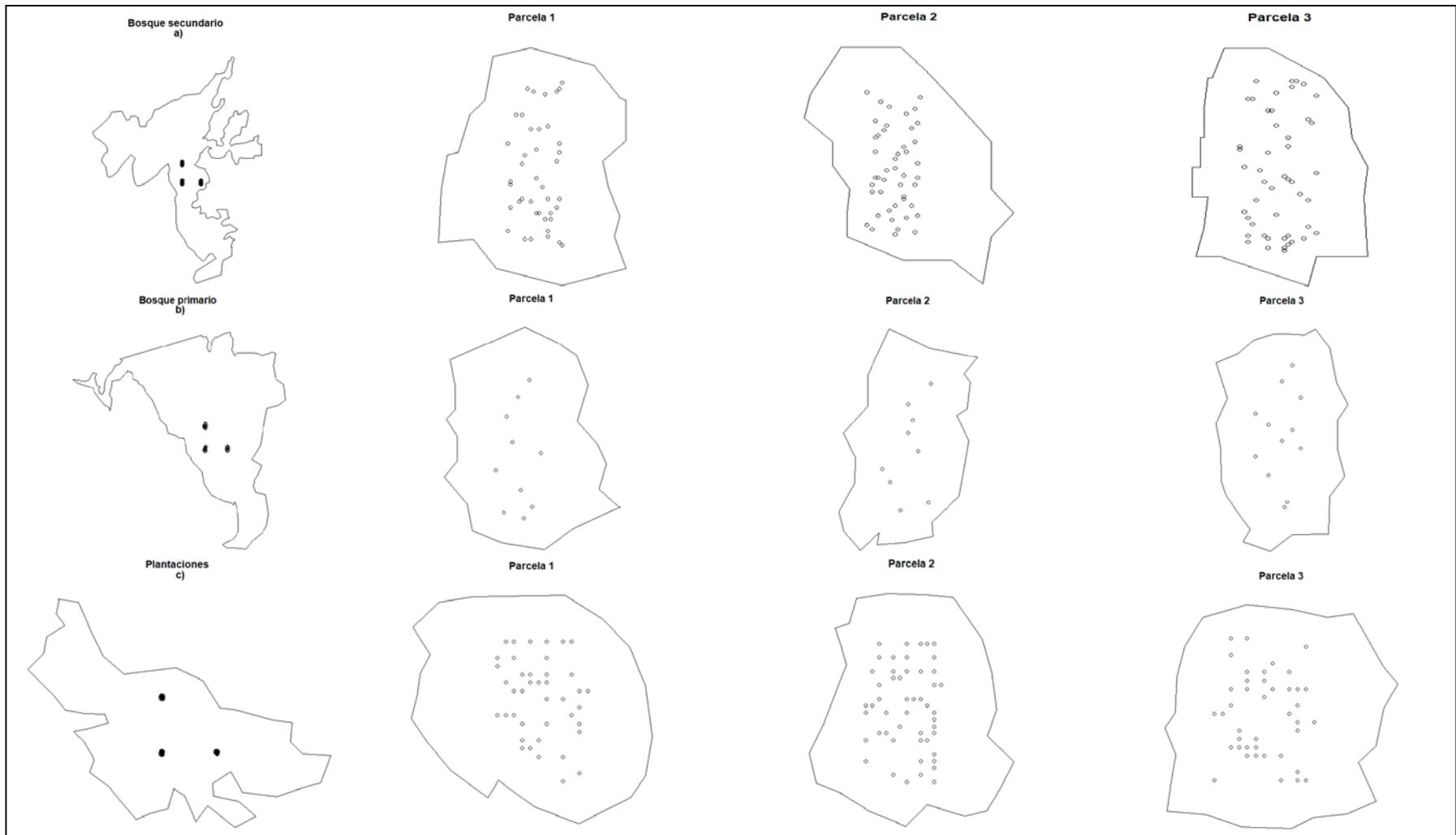


Gráfico 3-4: Localización de 407 árboles, distribuidos entre los conglomerados y las parcelas, estos que contienen la biomasa aérea en la reserva ecológica del parque Nacional Sangay.

Realizado por: Narvaez Juan, 2020.

3.2.2. Estimación por cuadrantes

Se divide el área en c_1, \dots, c_M cuadrantes con área v_i , tal que se encuentra el número de eventos n_i en cada cuadrante y se estima $\hat{\lambda}_{(c_i)} = \frac{n_i}{v_i}$, esto se realiza con la función **quadratcount()** (Ramírez y Pineda, 2019, p. 6).

Con la siguiente función **quadratcount()**, se realizó el conteo por cuadrantes de los datos espaciales de la biomasa forestal aérea, en el primer caso del bosques secundario (Grafica 3-5 (a)) que se dividió en 26 cuadrantes, sus parcelas están separadas en 16, 15 cuadrantes, donde cada uno de ellos presenta o no contenido de biomasa forestal aérea, con este análisis se puede decir que para este caso es un proceso de AEC, porque no existen muchos cuadrantes que tengan el mismo número de puntos sino que varía, pero claramente se puede confundir con los procesos de Inhibición, agregado ya que son muy parecidos los patrones de números que se identifican en estos procesos puntuales del conteo por cuadrantes, como también se puede decir que sigue el mismo proceso de puntos el tercer caso que es de las plantaciones (Grafica 3-5 (c)) con un número de cuadrantes de 13 y todas sus parcelas con 16 presenta el mismo patrón de AEC.

El segundo caso del bosque primario (Grafica 3-5 (b)), subdivididas en 25 cuadrantes y sus 3 parcelas con 16, con concentración de biomasa aérea o no, pueden observarse que todas las parcelas existen cuadrantes que tienen el mismo número de puntos en cada uno de ellos, se pudo deducir que es un proceso de puntos agregado ya que es muy fácil confundirse con los otros procesos.

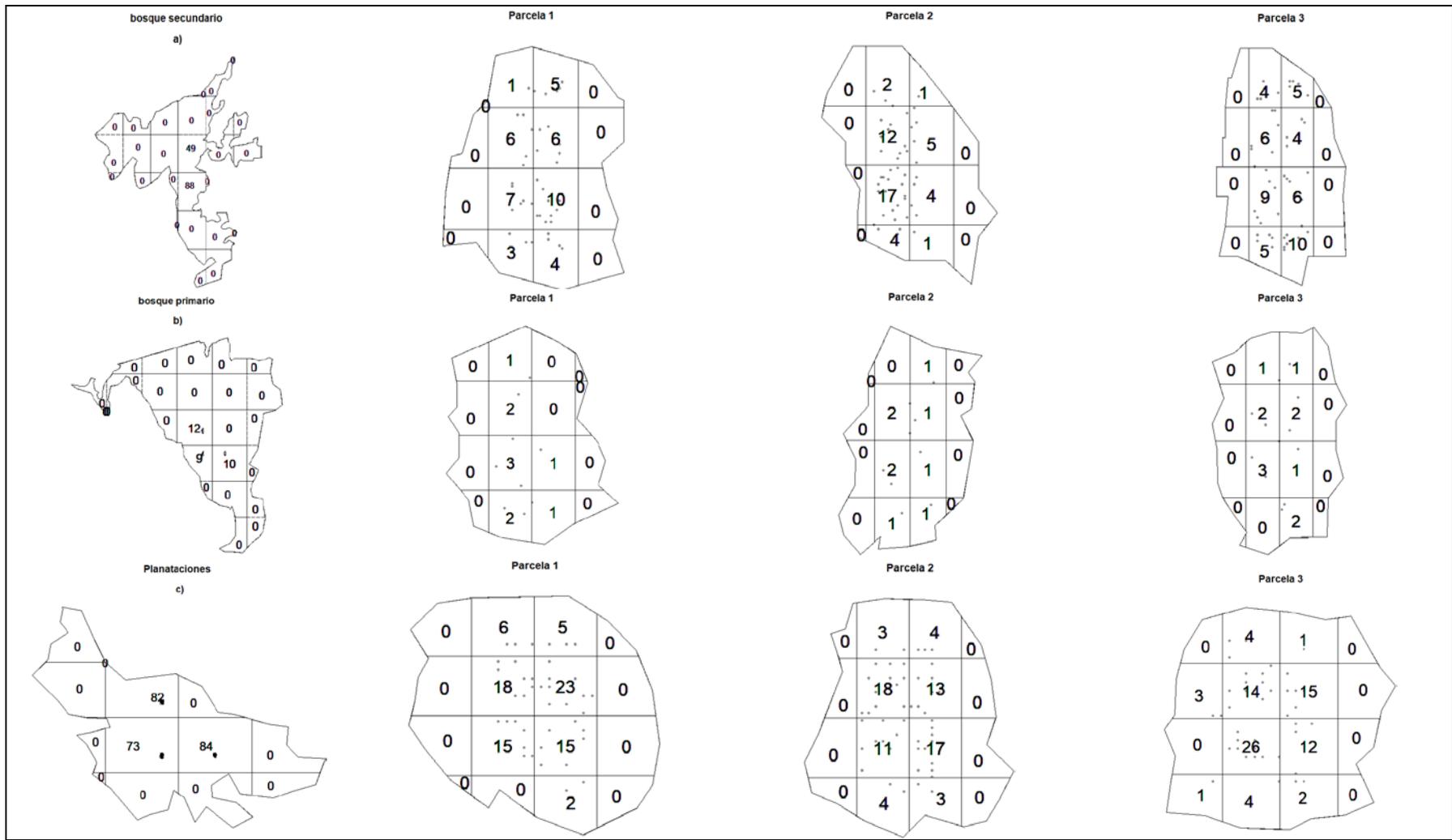


Gráfico 3-5: Conteo por cuadrantes “quadratcount”, de los tres conglomerados y sus respectivas parcelas.
Realizado por: Narvaez Juan, 2020.

3.2.3. Método de conteo por cuadrantes para Aleatoriedad espacial completa (CSR)

Dada la intensidad y el conteo de cuadrantes pareciera tratarse de un patrón no homogéneo para poder confirmar lo antes mencionado se aplicó una prueba de aleatoriedad espacial completa (AEC), con la finalidad de contrastar la hipótesis se ha fijado un nivel de significancia del $\alpha = 0.05$ esto se realiza con la función **quadrat.test()**.

H_0 : la concentracion es homogenea (CSR)

H_1 : La concentracion no es homogenea

En este caso el valor de chi – cuadrado, p-valor se los determinan mediante la función **quadrat.test** (Tabla 3-2), obteniendo los siguientes resultados donde el bosque secundario, bosque primario, plantaciones forestales tiene un p-valor menor que alfa de 0.05, es decir, se rechaza la hipótesis nula esto quiere decir, existe suficiente evidencia estadística para afirmar que el patrón puntual de concentración de biomasa forestal aérea es una realización de un proceso de Poisson no homogénea, mientras que cuando se analizó la parcela 1, 2, 3 del bosque primario se observó que el p-valor es mayor que el nivel de confianza de 0.95, por ende no rechazamos la hipótesis nula, esto concluye que hay suficiente evidencia estadística que se pueda afirmar que el proceso de puntos de la biomasa forestal aérea es una realización de Poisson homogéneo.

Tabla 3-2: Análisis de aleatoriedad espacial completa, basado en conteo por cuadrantes.

Nombres	Nro cuadrantes	χ^2	Gf	p-value
bosque secundario	26	858,89	25	2,200E-16
p1	16	37,53	15	0,002
p2	15	62,58	14	8,249E-05
p3	16	44,36	15	1,933E-04
bosque primario	25	133,95	24	2,200E-16
p1	16	12,85	15	0,773
p2	16	7,70	15	0,129
p3	16	14,05	15	0,957
Plantaciones	13	343,42	12	2,200E-16
p1	16	115,74	15	2,200E-16
p2	16	76,62	15	5,775E-07
p3	16	116,67	15	2,200E-16

Realizado por: Narvaez Juan, 2020.

3.2.4. Mapa de densidad o superficie de probabilidad

En el contexto no formal, la función de intensidad es conocida como mapa de calor o mapa de zonas calientes, la interpretación se realiza en una escala de colores, las zonas más intensas representan el área donde están agrupados y conglomeran un alto número de eventos. La manera más sencilla de comprender un mapa de calor es, realizar un conteo por cuadrantes que se muestra colores en lugar de números, con un degradado de color que se asigna al valor más bajo del mapa es el de color azul oscuro, al valor más alto se asigna el amarillo y los valores medios en violeta entre estos extremos.

En este caso la función **density()**, ayuda a representar el mapa de superficie de muestra la probabilidad estimada de un punto en un lugar en particular , con un diferencial de aérea. Se observó que hay lugares con alta y baja probabilidad de ocurrir el mismo evento, se observara en el mapa de probabilidad que la zona con mayor concentración de biomasa forestal aérea para el bosque secundario es la de color amarillo intenso, este se encuentran en la parte alta con una altitud de 3260 msnm del sitio de estudio, en la zona violeta se observa poca concentración de carbono en los árboles, se encuentra en la parte baja con una altitud de 3235 msnm, en cada una de las parcelas la zona con mayor concentración de biomasa es la zona amarilla la altitudes: 3241, 3256, 3259 msnm respectivamente, y con zona baja de color violeta se encuentra menor concentración de biomasa forestal aérea con altitudes de 3223, 3231, 3235 msnm, en las zonas de color azul no se encuentra concentración de carbono aéreo véase en la (Grafica 3-6 (a)).

En la en caso dos de bosque primario (Grafica 3-6 (b)), el color amarillo presenta una mayor concentración de biomasa forestal aérea, esta zona se encuentra a una altitud de 2798 msnm, y la parte más baja de poca concentración de carbono aéreo es la de violeta con una altitud de 2663 msnm, con el mismo análisis tenemos a sus parcelas, con altitudes de las zonas altas de 2739, 2674, 2796 msnm y su altitud del sitio de análisis es de 2710, 2630, 2750 msnm respectivamente.

En el tercer caso de plantaciones (Grafica 3-6 (c)), del mismo modo el color amarizo presenta la mayor concentración de biomasa forestal aérea, este se encuentra a una altitud de 3885 msnm, y la de color violeta presenta una concentración menor de biomasa aérea está ubicada en la zona baja 3793 msnm, con el mismo análisis se realizó para cada una de sus parcelas las altitudes de la zona alta son 3796, 3880, 3876 msnm y sus altitudes de la zona bajas son de 3781, 3822, 3852.

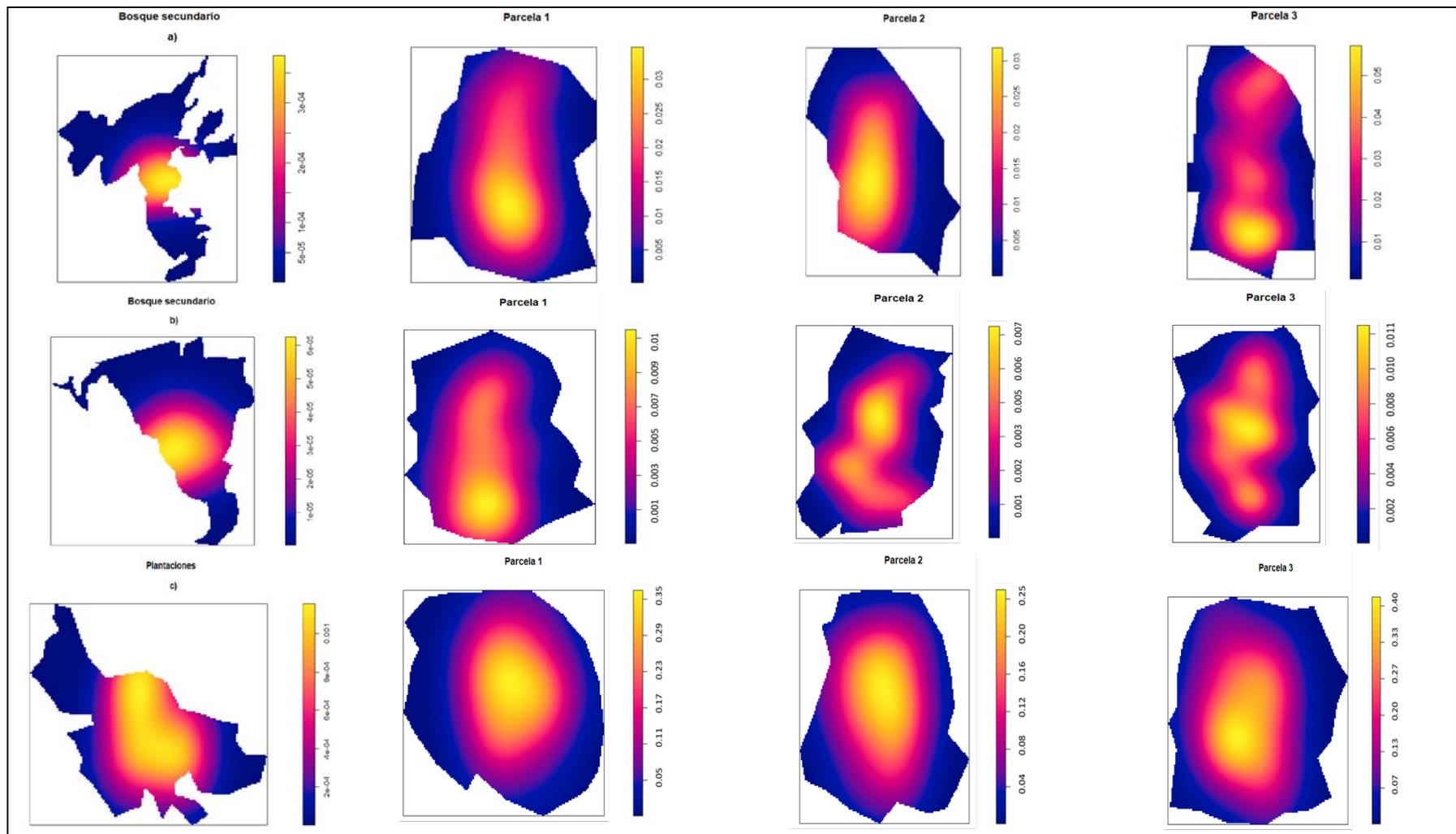


Gráfico 3-6: Estimación superficie de probabilidad o el mapa de calor de la biomasa forestal aérea.

Realizado por: Narvaez Juan, 2020.

3.2.5. Mapa de superficie de concentración

El mapa de superficie de la concentración de biomasa forestal aérea en la los casos uno, dos , tres del bosque secundario, primario, plantaciones y sus respectivas parcelas, muestra que a mayor altitud mayor concentración de biomasa forestal aérea , mientras que existe menos probabilidad de que exista una mayor concentración de la biomasa en las regiones bajas (Grafica 3-7).

3.2.6. Función de Patterson – Fry

Esta función muestra una información adicional acerca de los espacios en un patrón puntual, matemáticamente da un resultado de la gráfica conocida como scatter-plot o de dispersión de las distancias en todos los pares de puntos del patrón. En tal manera la figura explica que se debe situar en el centro para observar cómo están distribuidos los puntos alrededor de él, si hay una ausencia de puntos hasta cierta distancias es considerado como un radio de inhibición, en cambio si los puntos se están distribuyendo aleatoriamente alrededor de este, se supone que es tiene aleatoriedad espacial completa, mientras que si hay acumulación de puntos en el centro, es considerado un patrón de agregado o clúster.

En este caso con la función **fryplot()** se observó que los datos de biomasa forestal aérea del bosque secundario, primario, plantaciones y sus respectivas parcelas se encuentran agrupados o concentrados mucho más en el centro (Grafica 3-8), esto da como resultado que es un patrón de agregado.

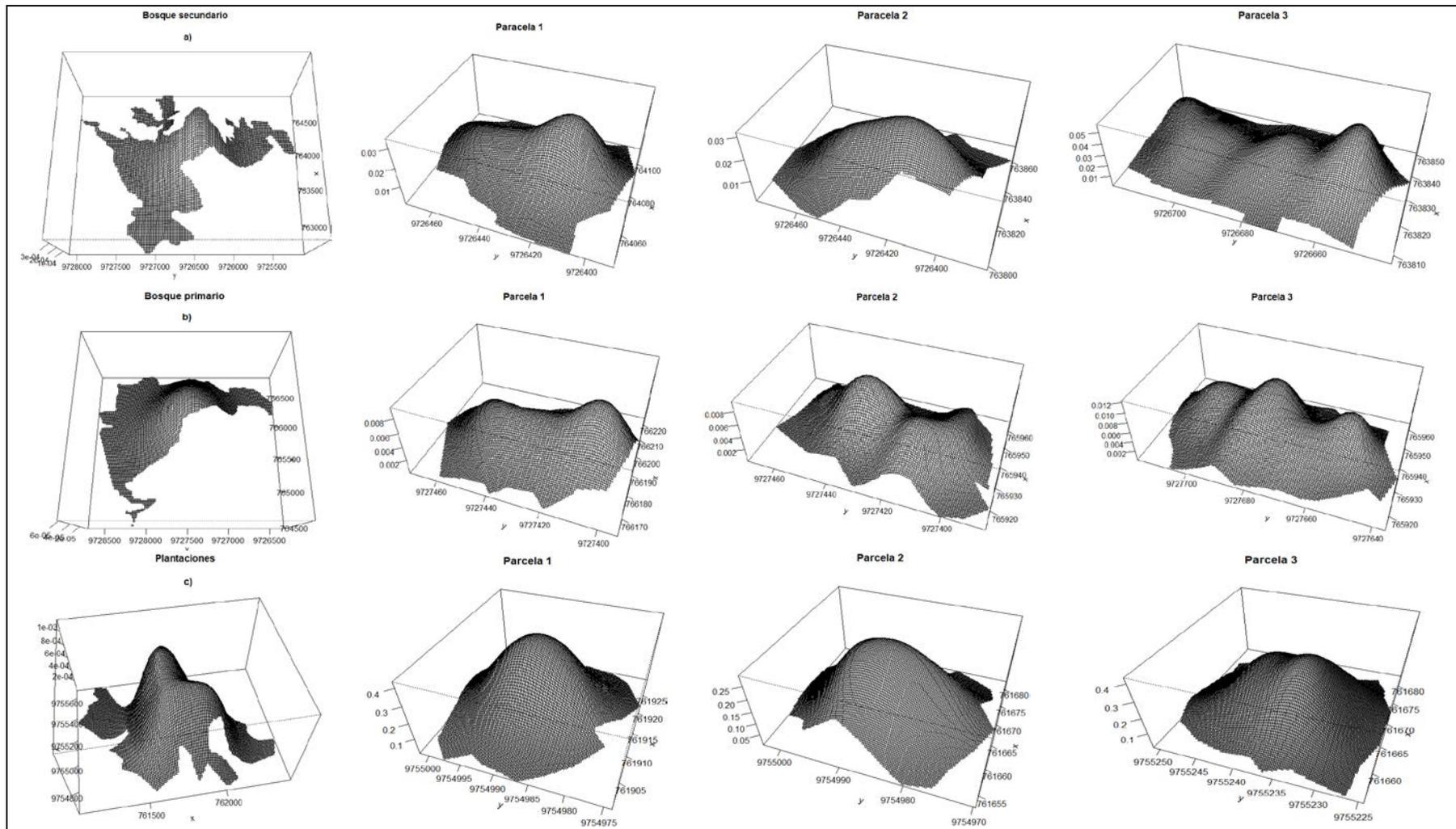


Gráfico 3-7: Superficie de la concentración de biomasa forestal aérea de los conglomerados y sus parcelas.
Realizado por: Narvaez Juan, 2020.

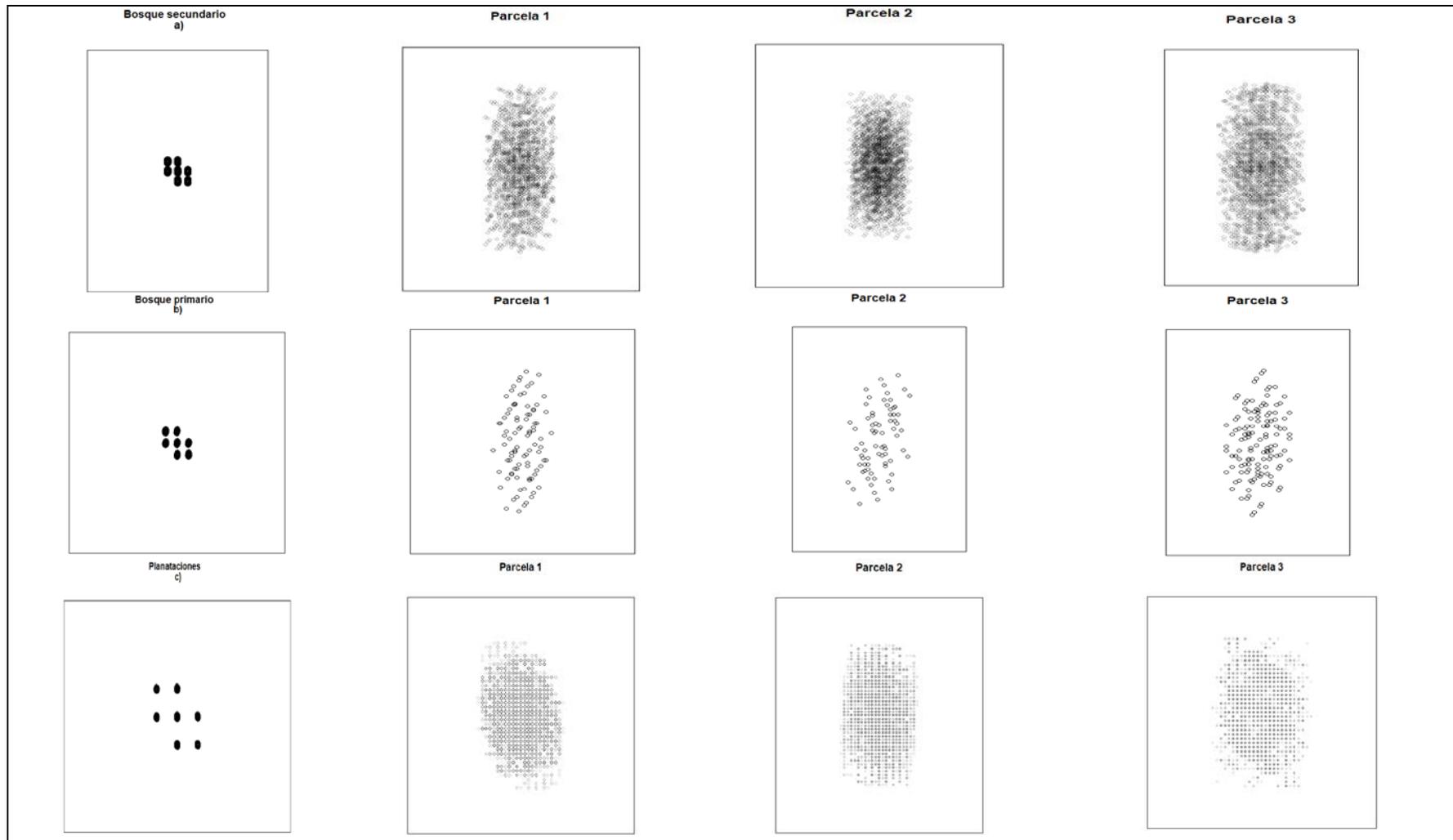


Gráfico 3-8: Análisis de Patterson – Fry de los puntos de biomasa forestal aérea del bosque secundario, primario, plantaciones con sus respectivas parcelas.

Realizado por: Narvaez Juan, 2020.

3.2.7. *Función K de Ripley*

Esta es una técnica muy popular para el análisis de correlación en patrones puntuales, una de las preguntas más frecuentes al observar un el patrón puntual es la medida de las distancias entre dos puntos i y j del patrón, sea d_{ij} tal distancias. Las distancias capturan mucha información del patrón que estamos observando, si esta distancia son muy pequeñas entre si es un patrón agregado, mientras que el patrón regular deben tener muy pocas distancias pequeñas. Nótese que el valor teórico de esta función no depende de la intensidad o concentración así que se puede comparar patrones con número de puntos y ventanas completamente diferentes en forma y tamaño, también se toma como referencia aquellos procesos que sean aleatorios espaciales completos para la función K, siempre tiene el valor de πr^2 .

En el paquete **spatstat** hay la función **kest()**, **kinhom()**, que estima la función $K(r)$ homogéneo y no homogéneos de segundo momento reducida de Ripley a partir de un patrón de puntos en una ventana de forma arbitraria, da como resultado en los datos de biomasa forestal aérea, con el análisis previo se dedujo que las existen distancias muy pequeñas entre sí, esto significa que sigue un patrón agregado para los casos uno, dos , tres del bosque secundario, primario, plantaciones y sus respectivas parcelas (Grafica 3-9).

3.2.8. *Función Correlaciones de pares*

Esta Función denominada $g(r)$ que contiene contribuciones únicamente de los puntos a una distancias r , en términos geométricos, esta función es la pendiente a la recta tangente a la curva $K(r)$ en un punto fijo en r , normalizada por el valor teórico de $K(r)$ bajo un proseo AEC así el valor de g en un proceso AEC es 1, este también cuando toma un valor menor que 1 es un proceso regular o inhibición y cuando es mayor que 1 se es de agregación, es más fácil interpretar que la función K , ya que tiene un valor fijo de referencia que es uno. Una nota muy importante es que la función pair-correlation (g) no es una correlación en el sentido estadístico clásico, pues no se encuentra en -1 y 1 como suele suceder en la estadística clásica y tampoco llega hacer cero en esta función es precisamente 1 la referencia para que no haya correlación.

La función **pcf()**, **pcfinhom()**, calculó la estimación de la función pair-correlation homogéneo y no homogéneo ya que se usó diferentes correctores de borde que son: Ripley y Trans , como también se resaltó la línea $g = 1$ como una referencia de AEC del valor teórico, que dio como resultado que son mayores que uno, por tal motivo sigue un proceso de agregación el bosque secundario, primario, plantaciones forestales y sus parcelas (Grafica 3-10).

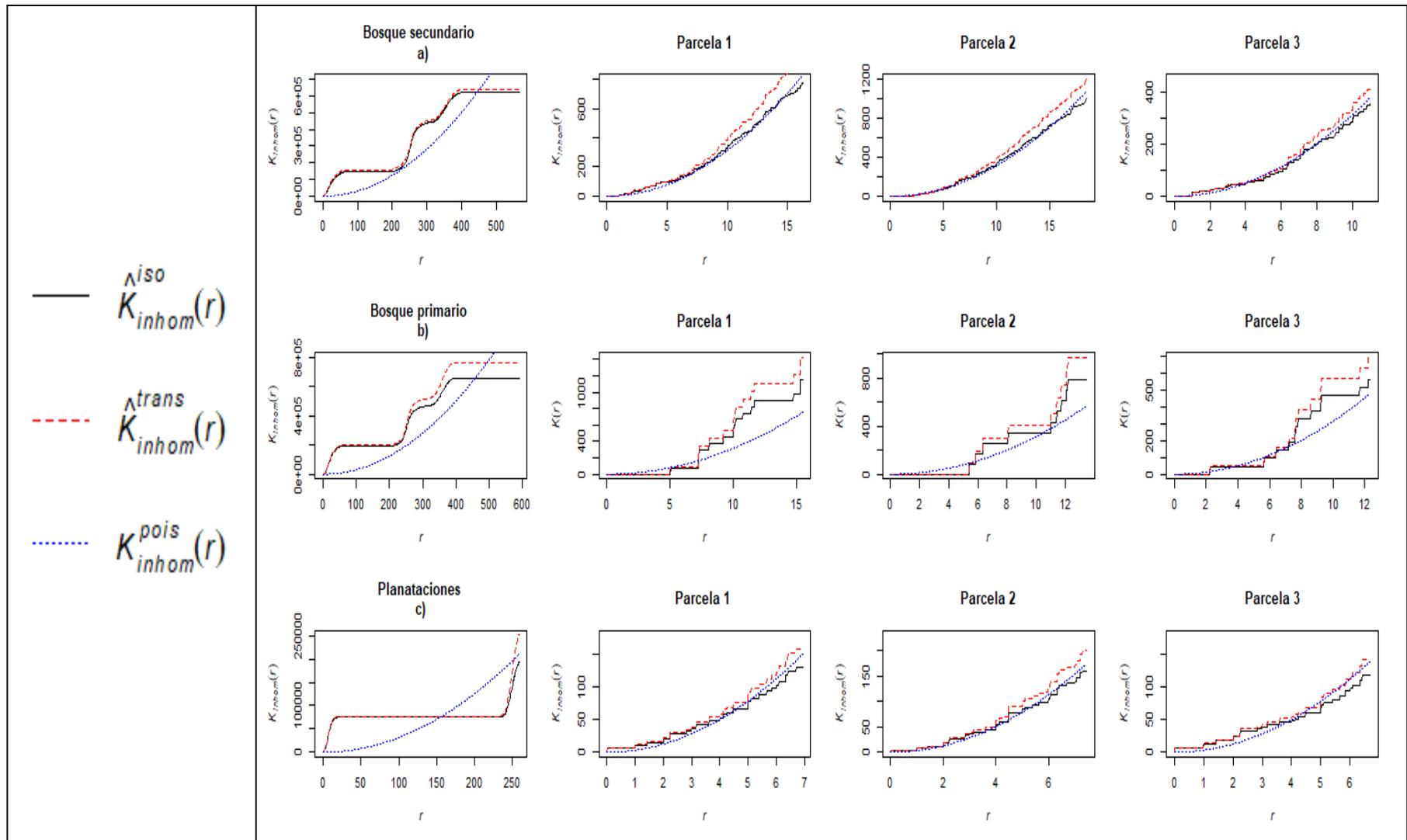


Gráfico 3-9: Estimación de la función K homogénea (b) y no homogénea (a, c), usando dos correctores de borde: iso, trans el bosque secundario, primario, plantaciones y sus parcelas.

Realizado por: Narvaez Juan, 2020.

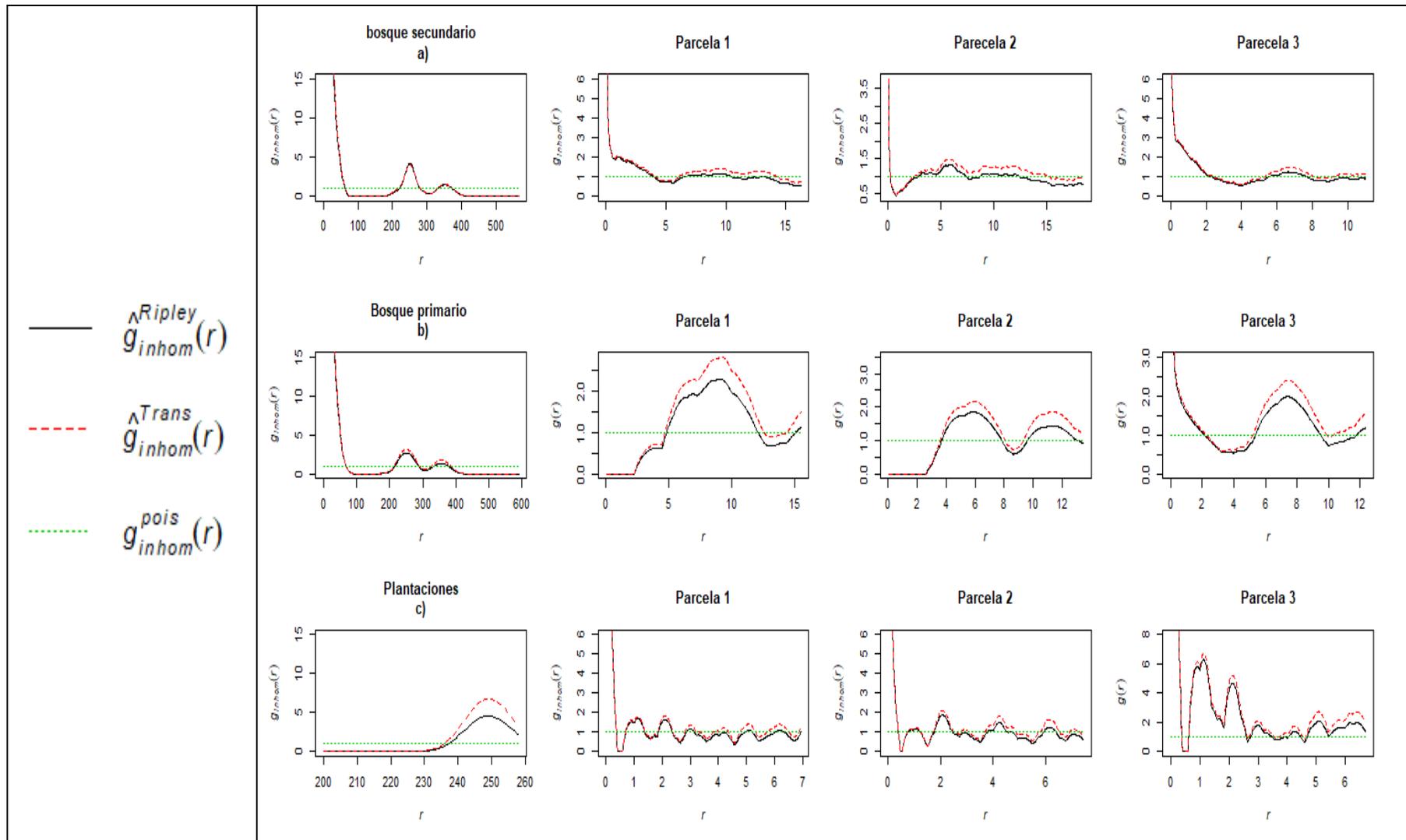


Gráfico 3-10: Estimación de la función pair-correlation g homogéneo b) y no homogéneo (a, c), con correctores de borde son: Ripley, Trans, correspondiente a la biomasa forestal aérea de los tres caso y sus parcelas.

Realizado por: Narvaez Juan, 2020.

3.2.9. *Análisis de sobres de simulación (Pointwise Envelopes)*

Este método trata de saber qué cantidad de variabilidad se estaría estimando de K o de g bajo un patrón AEC, con estos se simulan varios procesos AEC con el mismo número de puntos en la misma venta del patrón original, después se calcula las respectivas K o g también denominadas como descriptores de segundo orden homogéneos y no homogéneos, se dibuja todas en el mismo plano sobreponiendo el valor de la K o de la g que se tiene del patrón original, si este valor que es el original se desvía de la región determinada por las curvas de los procesos simulado, entonces se rechaza la hipótesis de AEC.

En el paquete spatstat se encuentra la función `envelope()` con esta es posible el cálculo de Pointwise Envelopes (sobres de simulación), donde se usaron varias simulaciones **nsim = 39**, ya que este es por defecto, se procedió al análisis que muestra la curva estimada para los descriptores K o g homogéneos y no homogéneos, el valor teórico del AEC, donde se dedujo que se rechaza la hipótesis nula de AEC, ya que la curva estimada está por fuera de los límites del proceso que fue simulado, por ende los datos de la biomasa forestal aérea, posee un proceso de agregación (Grafica 3-11, Grafica 3-12).

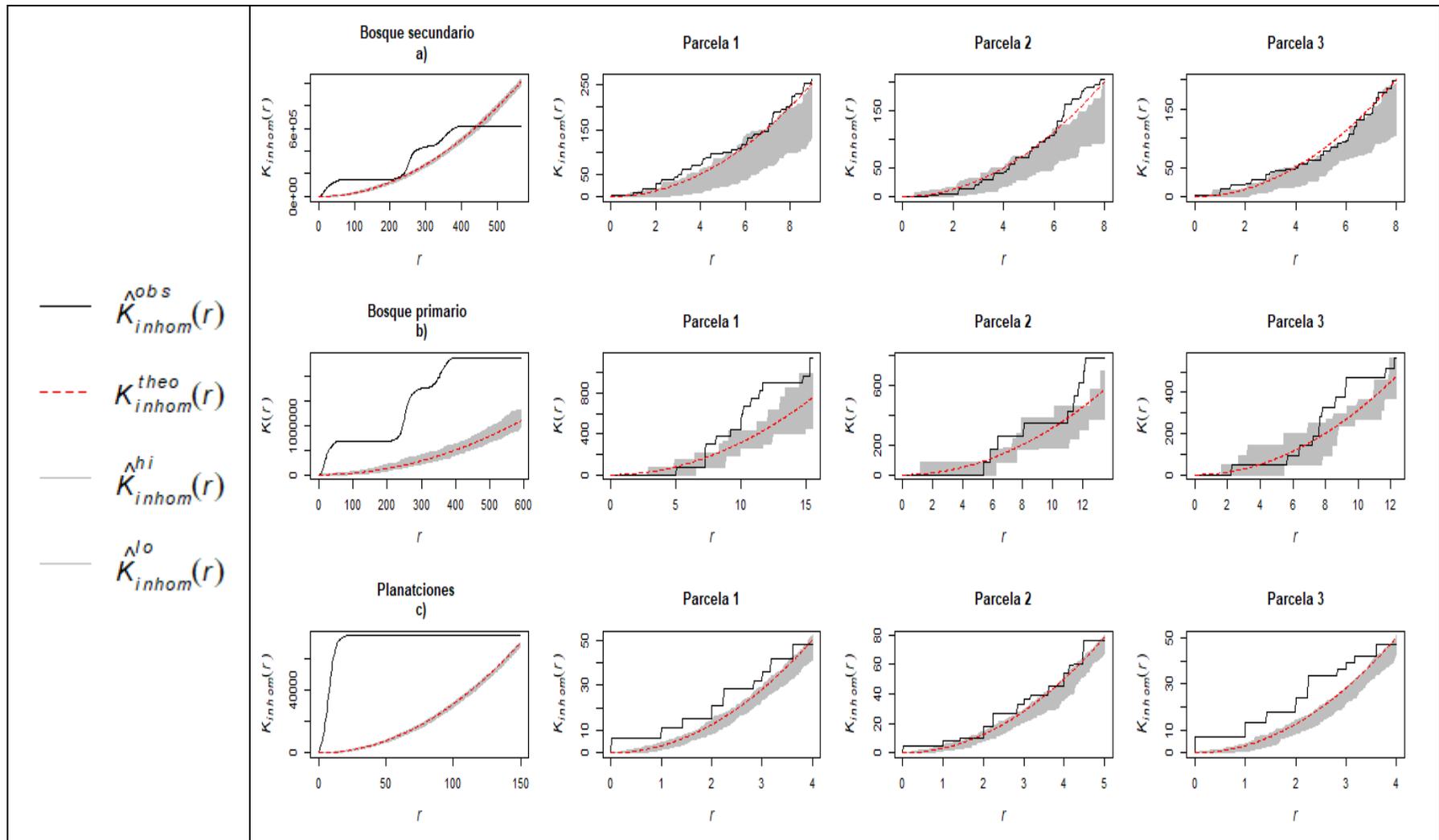


Gráfico 3-11: Pointwise envelopes, caso homogéneo b), no homogéneo a), c), para la base de datos de biomasa forestal aérea del bosque secundario, primario, plantaciones y sus distintas parcelas usando K .

Realizado por: Narvaez Juan, 2020.

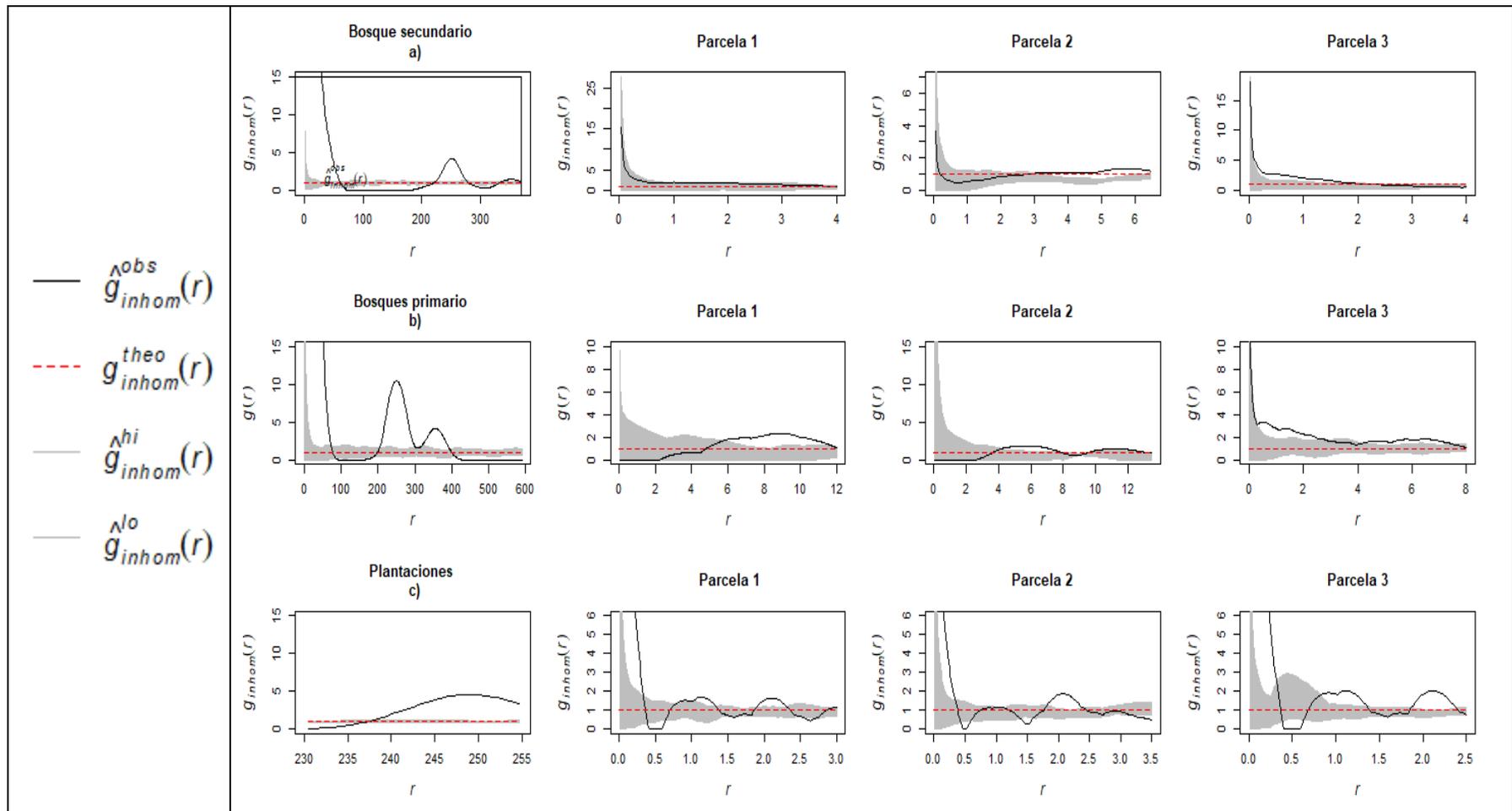


Gráfico 3-12: Pointwise envelopes, caso homogéneo b), no homogéneo a), c), para la base de datos de biomasa forestal aérea del bosque secundario, primario, plantaciones y sus distintas parcelas usando g .

Realizado por: Narvaez Juan, 2020.

3.3. Análisis concentración de biomasa forestal aérea

3.3.1. Entre conglomerados

En este análisis se realizar cual tiene la mayor cantidad de concentración de biomasa forestal aérea cuál de los conglomerados bosque secundario, primario y plantaciones forestales:

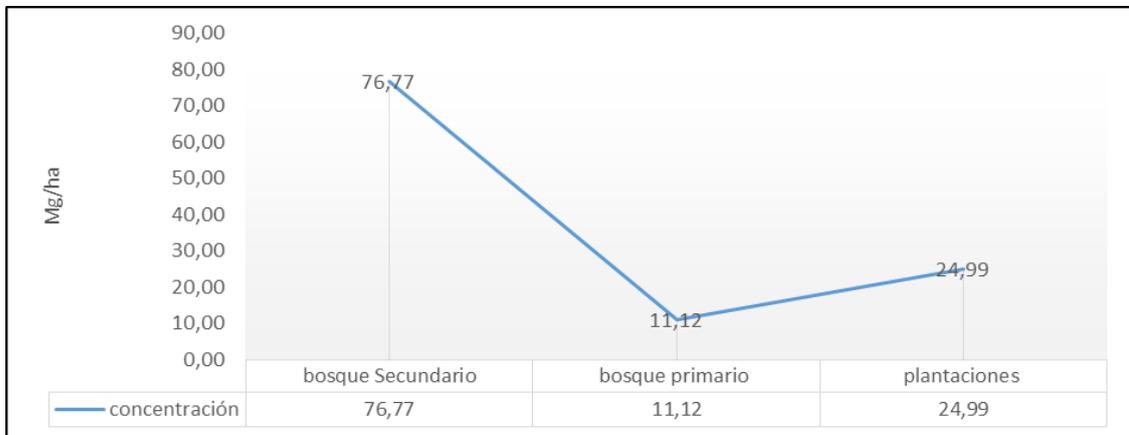


Gráfico 3-13: Concentración de biomasa forestal aérea de los conglomerados bosque secundario, primario y plantaciones.

Realizado por: Narvaez Juan, 2020.

En este caso se puede notar que la mayor contracción de biomasa forestal aérea de los tres conglomerados, es el bosque secundario con un valor de 76.77 Mg/ha y con una menor concentración de carbono aéreo es de bosque primario con 11,11 Mg/ha (Grafica 3-13).

3.3.2. Entre parcelas

En este análisis se identificó cual tiene la mayor cantidad de concentración de biomasa forestal aérea entre: conglomerados bosque secundario, primario y plantaciones de sus respectivas parcelas:

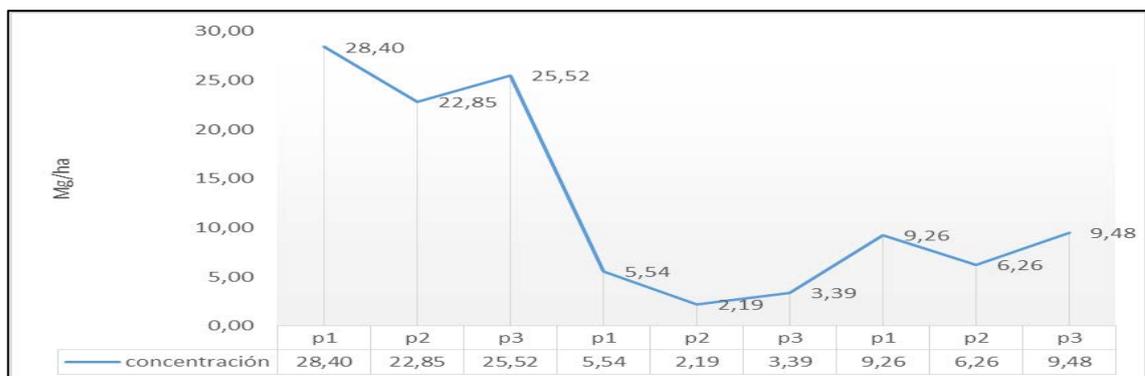


Gráfico 3-14: Concentración de biomasa forestal aérea entre las 3 parcelas de cada conglomerado.

Realizado por: Narvaez Juan, 2020.

El la Grafica 3-14 muestra que en las parcelas del boques secundario la mayor concentración de biomasa forestal aérea es la primera con un valor de 28,40 Mg/ha, la menor concentración es la parcela dos con 22,85 Mg/ha, como también podemos observar en las parcelas de bosque primario que la parcela 1 es la que tiene la mayor concentración de biomasa forestal aérea con 5,54 Mg/ha, la de menor concentración es de parcela dos con 2,19 Mg/ha, también se visualizó las parcelas de las plantaciones donde la mayor concentración de biomas se encuentra en la parcela 3 con un valor de 9,48 Mg/ha y la mínima en la parcela dos con 6,26 Mg/ha

3.4. Patrón de puntos de comportamiento de la biomasa forestal aérea

Con el análisis previamente realizado para los conglomerados de bosque secundario, bosque primario, plantaciones y de todas las parcelas, se estimaron las curvas de los descriptores, viendo que estos a veces se sitúan dentro de las regiones determinadas por los envelopes, su tendencia a salir de tales regiones prueba que se rechaza la hipótesis nula de aleatoriedad espacial completa, se demostró que sigue un patrón o proceso agregado para todos los casos en estudio, esta sospecha es confirmada por las gráfica de **Fry** que muestran alta aglomeración de puntos en el centro, grafica de **función K de Ripley**, que sus distancias son muy pequeñas entre si y la gráfica de la **función de correlaciones de pares** donde se muestra que sus curvas se sitúan por encima de $g = 1$. Esto quiere decir que hay un comportamiento de atracción entre la biomas forestal aérea no explicada por la geografía de la región, por lo que se podría atribuir a factores externos obligados a que la biomasa forestal aérea se atraigan, esto es trabajo de los investigadores propios de la aérea determina cuales son estos factores.

CONCLUSIONES

Con la información que fue proporcionada por el GIDAC se identificó las coordenadas de longitud, latitud, y la biomasa forestal aérea considerada en una matriz que están subdivididas por conglomerados denominados bosque secundario, bosque primario, plantaciones, donde cada una de ellas está formada por tres parcelas que para cada una de estas se realizó el respectivo análisis de los procesos puntuales.

En el análisis descriptivo espacial del bosque secundario, bosque primario y plantaciones forestales, apoyándose del cálculo por cuadrantes se analizaron los conglomerados con la finalidad de rechazar o no rechazar de la hipótesis de concentración homogénea (AEC), para el número de cuadrantes 26, 25, 13, se obtuvo un p que es menor que nuestro nivel de significancia de 0.05, mientras que las parcelas que son del BS y PF, con número de cuadrantes de 16, 15, se rechaza la hipótesis nula, y las parcelas del bosque primario en el cuadrante de 16 en las 3 parcelas, el p es: 0.7728, 0.1294, 0.9566 respectivamente mayores que el nivel de significancia del 5% no se rechazó la hipótesis nula.

Con el análisis de la función **density**, ayudo a representar el mapa de superficie que muestra la probabilidad estimada de un punto en un lugar en particular, se observó que existen zonas con alta y baja probabilidad de ocurrir el mismo evento, en el BS la mayor concentración de biomasa forestal aérea es la de color amarillo, este se encuentran en la parte alta con una altitud de 3260 msnm, sus parcelas con una altitud de 3241, 3256, 359 msnm respectivamente, la zonas bajas de color violeta se encuentra menor concentración de biomasa forestal aérea en el BS y sus parcelas con altitudes de 3235, 3241, 3256, 3259 msnm respectivamente en las zonas de color azul no se encuentra concentración de carbono aéreo. El BP y sus parcelas, la zona amarilla presenta mayor concentración de biomasa forestal aérea que encuentran a altitudes de 2798, 2739, 2674, 2796 msnm correspondientemente; la parte más baja de poca concentración de carbono aéreo es de color violeta y sus altitudes del sitio de análisis son: 2663, 2710, 2630, 2750 msnm. Así también para las PF y sus distintas parcelas, la zona con mayor concentración de biomasa forestal aérea es la de color amarillo con altitudes de 3885, 3796, 3880, 3876 respectivamente y la concentración menor de carbono aéreo es la zona violeta con altitudes de 3793, 3781, 3822, 3852 msnm.

Se realizó el análisis de la función **kest** y **kinhom** de R – Studio que calcula la estimación de K-función ($K(r)$) homogénea y no homogénea, donde se evidenció que las curvas están con una distancia muy cercanas entre sí, se rechaza la hipótesis de nula de aleatoriedad completa, donde se pudo observar que los datos biomasa forestal aérea de los conglomerados y todas las parcelas en estudio siguen un patrón agregado.

El análisis de la función **pcf** y **pcfinhom** de R – Studio que estima la función pair – correlation $g(r)$ homogéneo y no homogéneo, ayudo a deducir que patrón espacial siguen cada una de parcelas de los distintos conglomerados denominados bosque secundario, bosque primario, plantaciones se evidenció que las curvas estimadas son mayores que uno, esto se deduce el rechazo de la hipótesis, dando como resultado que sigue un patrón o proceso agregado.

En el análisis de la concentración de biomasa forestal aérea se determinó que la mayor concentración de biomasa forestal aérea de los tres conglomerados, es el bosque secundario con un valor de 76,77 Mg/ha y con una menor concentración de carbono aéreo es de bosque primario con 11,11 Mg/ha. Se puede observar también que las parcelas del bosque secundario la mayor concentración de biomasa forestal aérea es la primera con un valor de 28,40 Mg/ha, la menor concentración es la parcela dos con 22,85 Mg/ha, como también se pudo observar en las parcelas de bosque primario que la parcela 1 es la que tiene la mayor concentración de biomasa forestal aérea con 5,54 Mg/ha, la de menor concentración es de parcela dos con 2,19 Mg/ha, también se visualizó las parcelas de las plantaciones donde la mayor concentración de biomasa se encuentra en la parcela 3 con un valor de 9,48 Mg/ha y la mínima en la parcela dos con 6,26 Mg/ha

Para los conglomerados de bosque secundario, bosque primario, plantaciones forestales y de todas las parcelas, se estimaron las curvas de los descriptores, viendo que estos a veces se sitúan dentro de las regiones determinadas por los envelopes, su tendencia a salir de tales regiones esto prueba que se rechaza la hipótesis nula de aleatoriedad espacial completa, se demostró que sigue un patrón o proceso agregado para todos los casos en estudio, esta sospecha es confirmada por las gráficas de **Fry** que muestran alta aglomeración de puntos en el centro, la **función K de Ripley**, donde sus distancias son muy pequeñas entre sí, y de la **función de correlaciones de pares**, se mostró que sus curvas se situaron por encima de $g = 1$ o son mayores que 1. Esto quiere decir que hay un comportamiento de atracción entre la biomasa forestal aérea no explicada por la geografía de la región, por lo que se podría atribuir a factores externos obligados a que la biomasa forestal aérea se atraigan.

RECOMENDACIONES

El GIDAC recolecte una mayor cantidad de datos por cada una de las parcelas para poder obtener gráficos más precisos de los métodos de datos espaciales utilizados.

Intensificar el análisis en datos de biomasa forestal aérea y en las demás variables forestales como: biomasa subterránea, entre otras, mediante datos espaciales de procesos o patrones puntuales, con el fin de identificar la distribución espacial: proceso de aleatoriedad completa, inhibición, agregado así como estudios geoespaciales.

Que los docentes e investigadores promuevan a los estudiantes la realización de prácticas pre-profesionales y trabajos de titulación con datos espaciales debido a su aplicabilidad y optimización en la presentación de los resultados en cualquier área de estudio.

Realizar nuevos estudios relacionados con el tema expuesto en este trabajo, por su gran aplicabilidad.

Que se realicen estudios en el ámbito espacio temporal con los métodos analizados en esta investigación.

Realizar las validaciones de las metodologías utilizadas en la distribución espacial.

Se mantenga en la carrera de Estadística la asignatura denominada Sistemas de Información Geográfica con el fin de aplicar los conocimientos de los estudiantes en cuanto a nuevas metodologías para el tratamiento de datos espaciales.

En la carrera de Estadística se cree una electiva sobre el análisis de datos espaciales sobre patrones de puntuales, con el fin de aprender nuevas técnicas y metodologías para el tratamiento estadístico datos espaciales.

GLOSARIO

Biomasa: Existen distintos tipos de biomasa, estas suelen clasificarse en Biomasa primaria y biomasa secundaria. La primaria es aquella que es obtenida directamente del ecosistema natural, la secundaria también conocida como residual, es la que se obtiene como residuos o subproducto de una actividad humana (Nogués, 2010, pp. 20-21).

Estadística espacial: La Estadística Espacial trata con el análisis de realizaciones de procesos estocásticos $\{Z(s): s \in D\}$, en el que $s \in \mathbb{R}^d$ representa una ubicación en el espacio euclidiano d-dimensional, $Z(s)$ es una variable aleatoria en la ubicación s , y s varía sobre un conjunto de índices $D \subset \mathbb{R}^d$ (Rosero, 2015).

Función g –Correlación por pares: La función de correlación por pares contiene contribuciones solo de distancias entre puntos iguales a r (Ramírez y Pineda, 2019, pp. 7-8).

Función K de Ripley: Si un grupo de puntos se distribuye mediante un proceso de Poisson con densidad λ , el número esperado de puntos en un círculo de radio r es $\lambda \pi r^2$. Donde la desviación con respecto a AEC se cuantifica mediante la $K(r)$ (Rozas y Camarero, 2006).

Función de Patterson – Fry: El método de autocorrelación espacial fue desarrollado por Norman Fry a finales de la década de los 70, fue creado como una vía para medir la deformación en rocas a partir de patrones de objetos que inicialmente mostraban una distribución aleatoria. Así para n puntos hay una relación espacial de $n(n-1)$ (Guillermo y Susana, 2015, pp. 8-9)

Geoestadística: Las ubicaciones s provienen de un conjunto D de procesos estocásticos que es continuo y son seleccionadas a juicio del investigador (D fijo) (Rosero, 2015).

Patrones espaciales de puntos: Los patrones de puntos espaciales se aplican en ciencias como agricultura, astronomía, entre otros (Fuentes, 2009). La forma más eficiente en la que se expresa la estructura espacial en la población o de cualquier fenómeno ecológico es la escala de estudio, estos elementos se describen mediante sus coordenadas espaciales (x, y) , creándose así un conjunto de datos. (Diggle, 2013)

BIBLIOGRAFÍA

ALVAREZ, G., *Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba , Bolivia. (Tesis de Maestría)* [en línea]. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE. Turrialba Costa Rica, 2008, Disponible en: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=orton.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=084620>.

BADDELEY, A., et al., *Spatial Point Patterns: Methodology and Applications with R* [en línea]. S.l.: CRC Press. Chapman & Hall/CRC Interdisciplinary Statistics., 2015, ISBN 9781482210217. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=rGbmCgAAQBAJ>.

BLASCO, T. & ORTERO, H., *Técnicas conversacionales ára la recogida de datos en investigación cualitativa: La entrevista (I)*. NURE Investigación, 2008, ISSN 1697-218X.

BROWN, S., *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: A Primer* [en línea]. 1997, ISBN 9251039550, 9789251039557. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=uv-ISEzvitwC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Estimating+Biomass+and+Biomass+Change+of+Tropical+Forests&ots=Ocf9Wn30EF&sig=wVCsUCXdXJP15TwWWiBGtwRJuW4#v=onepage&q=Estimating+Biomass+and+Biomass+Change+of+Tropical+Forests&f=f>.

CARGUA, F.E., et al., *Cuantificación del Contenido de Carbono en una Plantación de Pino Insigne (Pinus radiata) y en Estrato de Páramo de Quantification of Carbon in a Forest Plantation of Pine Insigne (Pinus radiata) and Moor Stratum of Low Ozogoché , Sangay, Ecuador.* [en línea]. 2014, vol. 25, no. 3, pp. 83-92. DOI 10.4067/S0718-07642014000300011. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642014000300011&script=sci_arttext.

CRUZ ROT, M., *Introducción al análisis de datos mapeados o algunas de las (muchas) cosas que puedo hacer si tengo coordenadas.* [en línea]. 2006, vol. 15, no. 3, pp. 19-39. Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/159>.

DIGGLE, P.J., *Statistical analysis of spatial point patterns*. [en línea]. S.l.: Edward Arnold., 2003, ISBN 0340740701. Disponible en: [http://www.research.lancs.ac.uk/portal/en/publications/statistical-analysis-of-spatial-point-patterns\(63462615-c1a3-4be5-89d7-18b8cb69c358\)/export.html](http://www.research.lancs.ac.uk/portal/en/publications/statistical-analysis-of-spatial-point-patterns(63462615-c1a3-4be5-89d7-18b8cb69c358)/export.html).

DIGGLE, P.J., *Statistical Analysis of Spatial and Spatio-Temporal Point Patterns* [en línea]. S.l.: CRC Press. Chapman & Hall/CRC Monographs on Statistics & Applied Probability., 2013, ISBN 9781466560246. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=5FHSBQAAQBAJ>.

FAO, *La deforestación mundial disminuye, pero sigue siendo alarmante en muchos países*. [en línea]. 2010, [Consulta: 19 septiembre 2019]. Disponible en: <http://www.fao.org/news/story/en/item/40893/icode/>.

FAO, *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015* [en línea]. 2015, ISBN 9789253092833. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i4793s.pdf>.

FAO, *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015 ¿Cómo están cambiando los bosques del Mundo? (2nd ed.) Roma, Italia: organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura* [en línea]. 2016., ISBN 9789253092833. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i4793s.pdf>.

FUENTES, I., *Inferencia estadística en procesos puntuales espaciales. Aplicación al análisis de incendios forestales en Galicia* [en línea]. Univercid De Coruña, Universidade De Santiago De Compostela, Universidade de Vigo., 2009, Disponible en: http://eio.usc.es/pub/mte/descargas/ProyectosFinMaster/Proyecto_296.pdf.

GALINDO, G., et al. 2011. *Estimación de la biomasa aérea usando datos de campo e información de sensores remotos Versión 1.0. Bogotá: Ideam. 50p.* [en línea]. Bogotá, 2011, ISBN 9789588067506. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/13257/13548/Biomasa+Sensores.pdf/1ad2a058-1b6f-48c1-b826-f2625eed610e>.

GIBBS, H., et al. *Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality*. [en línea]. 2007, vol. 045023, pp. 1-14. DOI 10.1088/1748-9326/2/4/045023. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/2/4/045023#references>.

GONZÁLEZ, Y. & CUADRA CRUZ, M., *Estandarización de unidades de medidas y cálculo de volúmenes de madera*. Gobierno De Nicaragua [en línea]. Nicaragua, 2004, Disponible en: http://www.adimau.com.uy/articulos/06_estandarizacion_de_unidades_de_medida.pdf.

GUILLERMO, R. & SUSANA, M., *Análisis de Fry en el estudio de la génesis del distrito metalogénico Santa Lucía-Matahambre*. *Minería y Geología* [en línea]. 2015, vol. 31, no. 2, pp. 34-47. ISSN 1993-8012. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2235/223539558003.pdf>.

GUTIERREZ, E. & CAMARERO, J.J., *Patrón espacial de un ecotono bosque subalpino-pastos alpinos (las cutas, ordesa, pirineos centrales)*., 1999, vol. 8, no. 1, pp. 1-35.

GUTIÉRREZ FLORES, M.E., *Evaluación del carbono en la biomasa de 3 especies forestales nativas (Miconia Aspergillaris, Vallea Stipularis, Oreocallis Grandiflora) en el bosque Aguarongo* [en línea]. S.l.: Universidad Politécnica Salesiana., 2016, Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/11653>.

HAASE & PETER, *Spatial pattern analysis in ecology based on Ripley 's K -function : Introduction and methods of edge correction.*, 1995, pp. 575-582. DOI <https://doi.org/10.2307/3236356>.

HANNA, S.S. & FRY, N., *A comparison of methods of strain determination in rocks from southwest Dyfed (Pembrokeshire) and adjacent areas*. *Journal of Structural Geology* [en línea]. 1979, vol. 1, no. 2, pp. 155-162. ISSN 01918141. DOI 10.1016/0191-8141(79)90052-X. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/019181417990052X>.

HERRÁN, C., *El cambio climático y sus consecuencias para América Latina*. [en línea]. 2012, pp. 6-10. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_sp.pdf.

HOUGHTON, R.A., et al. *The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon : a comparison of estimates*. [en línea]. 2001, pp. 1-16. DOI <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2001.00426.x>. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2001.00426.x>.

IPCC, *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger], A.* [en línea]. Ginebra, Suiza, 2007, ISBN 9291693227. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_sp.pdf.

IPCC, *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [en línea]. Ginebra, Suiza, 2014, ISBN 9789291693436. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf.

JADÁN, O., et al. *Influencia del uso de la tierra sobre almacenamiento de carbono en sistemas productivos y bosque primario en Napo, Reserva de Biosfera Sumaco, Ecuador*. [en línea], Ecuador, 2012, vol. 1, no. 3, pp. 173-186. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642014000300011&script=sci_arttext.

JANDL, R., *Secuestro de Carbono en bosques, su papel en el ciclo global*. [en línea], Revista forestal Iberoamericana, 2002, vol. 1, pp. 57-62. Disponible en: <http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/6796/DOC7.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

MAE, *Aprovechamiento de los Recursos Forestales en Ecuador 2007-2009*. [en línea], Ecuador, 2010, pp. 1-9. Disponible en: http://suia.ambiente.gob.ec/hr/documentos?p_p_id=20&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_20_struts_action=%2Fdocument_library%2Fview_file_entry&_20_fileEntryId=243145.

MARTIN, R., *Deforestación, cambio de uso de la tierra y REDD*. Revista internacional de silvicultura e industrias forestales [en línea], Roma: Economía y Políticas Forestales, Departamento Forestal de la FAO, 2008, vol. 59, pp. 1-12. Disponible en: https://distritoforestal.es/images/Unasy1va_230_El_uso_de_tierras.pdf#page=3.

MARTÍNEZ H., et al. *Carbono orgánico y propiedades del suelo*. Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal [en línea], Santiago de Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Producción Agrícola., 2008, vol. 8, no. 1, pp. 68-96. [Consulta: 22 enero 2020]. ISSN 0717635X. DOI 10.4067/S0718-27912008000100006. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

MELO, O.R. & LIZARAZO, I., *Estimating the volume of the wood of trees through the unique taper polynomial*. Colombia Forestal [en línea], Colombia, 2017, vol. 20, no. 1, pp. 55-62. ISSN 2256-201X. DOI 10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.1.a05. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-07392017000100005.

MEZA MURILLO, E.A., *Efecto de la Calidad de Sitio Forestal en el Incremento Medio Anual de Ochroma Pyramidale (Balsa), Provincia De Manabí, Año 2015. Propuesta de Reforestación* [en línea]. S.l.: Universidad Técnica Estatal de Quevedo., 2016, Disponible en: <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/1678>.

NOGUÉS, F.S., *Energía de la Biomasa (volumen I)* [en línea]. S.l.: Prensas Universitarias de Zaragoza. Colección de textos docentes: Serie Energías renovables Energía de la biomasa, Javier Ábrego Garrués Volumen 173 de Textos docentes (Prensas Universitarias de Zaragoza).: Energías renovables Volumen 173 de Textos docentes., 2010, ISBN 9788492774913. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=P58rcPu5O90C>.

OCAÑA, F., *Tratamiento estadístico de outliers y datos faltantes.* [en línea]. New York, 2017, Disponible en: <http://www.ugr.es/~fmocan/MATERIALES DOCTORADO/Tratamiento de outliers y missing.pdf>.

PALMER, T.M., et al., *Spatial Pattern Enhances Ecosystem Functioning in an African Savanna.* PLoS Biol 8(5): e1000377. [en línea] Canada: McGill University., 2010, vol. 8, no. 5, pp. 1-12. DOI 10.1371/journal.pbio.1000377. Disponible en: <https://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.1000377>.

PEARSON, T., et al. *Sourcebook for Land Use , Land-Use Change and Forestry Projects.* [en línea]. 2013, vol. 1, pp. 1-64. Disponible en: <http://documents.worldbank.org/curated/en/285391468335978463/Sourcebook-for-land-use-land-use-change-and-forestry-projects>.

PEREA ARDILA, M.A., *Estimación de Biomasa Aérea y Carbono con Teledetección en Bosques Alto-Andinos de Boyacá, Colombia. Estudio de caso: Santuario de Fauna y Flora "Iguaque"* [en línea]. Colombia: UNIGIS., 2018, Disponible en: https://issuu.com/unigis_latina/docs/masterthesis_perea_ardila2015a1.

PHUA, M. & SAITO, H., *Estimation of biomass of a mountainous tropical forest using Landsat TM data.* [en línea], 2003, vol. 29, no. 4, pp. 429-440. DOI <https://doi.org/10.5589/m03-005>. Disponible en: <https://doi.org/10.5589/m03-005>.

QUISPE, B., “*Modelos estadísticos en procesos puntuales espaciales poisson para evaluar la distribución espacial de los hechos delictivos en Lima, Perú*” [en línea]. Lima Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina., 2016, Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2806/E10-Q8-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

RAMÍREZ, L. & PINEDA, W., *Modelos de procesos puntuales para la identificación espacial de los sismos ocurridos en Colombia*. [en línea]. Colombia: Universidad Santo Tomas. 2019, Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/17617/2019lauraramirez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

RAZO, R., et al. *Estimación de biomasa y carbono almacenado en árboles de oyamel afectados por el fuego en el Parque nacional “el chico”*. Madera bosques [en línea]. Hidalgo Mexico, 2013, vol. 19, no. 2, pp. 73-86. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-04712013000200005&script=sci_arttext.

ROSERO, M., *Aplicación de Técnicas Espaciales para el análisis de patrones y modelación del delito en la provincia de Pichincha, utilizando herramientas Geo estadísticas, aplicaciones para el SIS-Ecu-911 Quito*. [en línea]. Quito: Escuela Politécnica Nacional., 2015, Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/9146>.

ROZAS, V. & CAMARERO, J., *Técnicas de análisis espacial de patrones de puntos aplicadas en ecología forestal.*, 2005, vol. 14, pp. 79-97.

ROZAS, V. & CAMARERO, J., *Técnicas de análisis espacial de patrones de superficies y detección de fronteras aplicadas en ecología forestal Introducción.*, 2006., vol. 15, pp. 66-87.

RUIZ ROLANDOZ, J.E. & GONZALEZ DALILA, L.A., “*Producción de biomasa y fijación de carbono en plantaciones de teca (Tectona grandis Linn F.) en la Espol Campus “Ing. Gustavo Galindo”*” [en línea]. Escuela Superior Politecnica del Litoral. 2016. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/31741>.

SEABLOOM, E.W., et al. *The spatial signature of environmental heterogeneity, dispersal, and competition in successional grasslands*. [en línea]. 2005, vol. 75, no. 2, pp. 199-214. DOI <https://doi.org/10.1890/03-0841>. Disponible en: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1890/03-0841>.

VINICIO, M., et al. *Forest biodiversity in Andean brow and its relation to the carbon content in the above-ground biomass.* [en línea]. 2017, vol. 66, pp. 35-41. DOI <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v66n1.52744>. Disponible en: http://scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122017000100035.

WADSWORTH, F.H., et al. *Producción forestal para América tropical* [en línea]. Departamento de Agricultura de los EE.UU., Servicio Forestal. Agriculture handbook. 2000, ISBN 9783901347283. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=i6b9gDGCZ68C>.

WIEGAND, T., et al. *Using pattern-oriented modeling for revealing hidden information : a key for reconciling ecological theory and application.* [en línea]. 2003, vol. 65, no. August 2002, pp. 209-222. DOI 10.1034/j.1600-0706.2003.12027.x. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Using-pattern-oriented-modeling-for-revealing-a-key-Wiegand-Jeltsch/58d650ec7274b8e1dcfb14966375ddd97bae17a2>.